

Fuentes sismogénicas y patrón de esfuerzos en Costa Rica a partir de mecanismos focales durante 2025

Seismogenic sources and stress pattern in Costa Rica inferred from focal mechanisms during 2025

Lepolt Linkimer*, Carolina Fallas e Ivonne G. Arroyo

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

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

(Recibido: 10-01-2026; aceptado: 20-02-2026)

RESUMEN: Este trabajo presenta un análisis de los patrones de la sismicidad, los mecanismos focales y el campo de esfuerzos regional inferido a partir de la actividad sísmica registrada durante el 2025. Durante el año, la Red Sismológica Nacional (RSN) localizó 5781 sismos, cuya energía sísmica acumulada es equivalente a un evento de magnitud momento (M_w) 6,6. De este total, 181 sismos (~3,1%) fueron percibidos por la población. Se calcularon 125 nuevos mecanismos focales, los cuales, junto con la distribución espacial y profundidad de los eventos, permitieron agrupar su origen en cuatro categorías principales: fallamiento cortical superficial (<35 km) en las placas cabalgantes Caribe y Panamá, zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Coco, deformación interna de la placa Coco subducida y fallamiento asociado al límite entre las placas Coco y Nazca. Los sismos en fallas corticales estuvieron dominados por mecanismos transcurrentes, mientras que los eventos interplacas mostraron mecanismos inversos consistentes con la geometría de la interfaz de subducción. El análisis de los ejes P y T sub-horizontales indica un campo de esfuerzos regional coherente, caracterizado por compresión máxima con dirección dominante noreste-suroeste y extensión máxima aproximadamente noroeste-sureste, con rotaciones locales asociadas a la complejidad tectónica del país. Los sismos de mayor magnitud alcanzaron M_w 6,1 y se originaron tanto en la zona interplacas como en el límite Coco-Nazca. La intensidad máxima documentada fue de VI (IMM), observada únicamente para el sismo de Quepos del 21 de octubre, mientras que el resto de los eventos sentidos generaron intensidades moderadas y efectos localizados.

Palabras clave: sismicidad de Costa Rica; mecanismos focales; fuentes sismogénicas; campo de esfuerzos; subducción.



ABSTRACT: This study presents an analysis of seismicity patterns, focal mechanisms, and the regional stress field inferred from seismic activity recorded in Costa Rica during 2025. Throughout the year, the National Seismological Network (RSN) located 5,781 earthquakes, whose cumulative seismic energy release is equivalent to a moment magnitude (M_w) 6.6 event. Of this total, 181 earthquakes (~3.1%) were perceived by the population. A total of 125 new focal mechanisms were calculated and, together with the spatial and depth distribution of the events, allowed their tectonic origin to be classified into four main categories: shallow (<35 km) crustal faulting within the overriding Caribbean and Panama plates, the interplate seismogenic zone of the Cocos Plate subduction, internal deformation of the subducting Cocos Plate, and faulting associated with the boundary between the Cocos and Nazca plates. Earthquakes related to crustal faulting were predominantly characterized by strike-slip mechanisms, whereas interplate events exhibited reverse faulting consistent with the geometry of the subduction interface. Analysis of sub-horizontal P and T axes indicates a coherent regional stress field, characterized by maximum compression oriented predominantly northeast-southwest and maximum extension approximately northwest-southeast, with local rotations reflecting the tectonic complexity of the region. The largest earthquakes reached M_w 6.1 and originated both within the interplate zone and along the Cocos–Nazca plate boundary. The maximum documented intensity was VI (MMI), observed only for the Quepos earthquake on October 21, while the remaining felt events produced moderate intensities and localized effects.

Keywords: Costa Rica seismicity; focal mechanisms; seismogenic sources; stress field; subduction.

Introducción y marco tectónico

Como parte de las labores permanentes del proyecto de Vigilancia Sísmica del programa de investigación Red Sismológica Nacional (RSN) de la Universidad de Costa Rica (UCR), cada año se localizan, analizan y reportan los sismos percibidos por la población del país. Además de los parámetros básicos de localización, como las coordenadas epicentrales, la profundidad hipocentral y la magnitud momento (M_w), la RSN determina de manera sistemática el mecanismo focal de estos eventos. A partir de dicha solución es posible estimar la orientación de los ejes de presión (P) y tensión (T), los cuales constituyen un indicador directo de la dirección de los esfuerzos principales compresivos y extensivos que actúan en la corteza y la litosfera superior.

Desde el inicio del catálogo sísmico en 1976, la RSN ha mantenido un registro continuo y sistemático de la actividad sísmica en Costa Rica (Linkimer et al., 2018), gracias a una alianza institucional entre la UCR y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) que se mantiene vigente mediante un acuerdo de cooperación científica y técnica. De esta manera, la RSN opera actualmente una red densa de estaciones sismológicas a lo largo del territorio nacional y recibe señales en tiempo de real de estaciones de los países vecinos (Fig. 1). Este seguimiento instrumental continuo y de alta resolución permite caracterizar con mayor detalle los patrones espaciales y temporales de la sismicidad y constituye un insumo fundamental para la evaluación de la amenaza sísmica y la gestión del riesgo sísmico en el país.

La elevada sismicidad de Costa Rica responde a su localización en un entorno tectónico particularmente complejo, donde interactúan cinco bloques tectónicos principales: las placas Cocos, Caribe, Nazca y Panamá, así como el Bloque Antearco Centroamericano (LaFemina et al., 2009; Fig. 1). A lo largo del

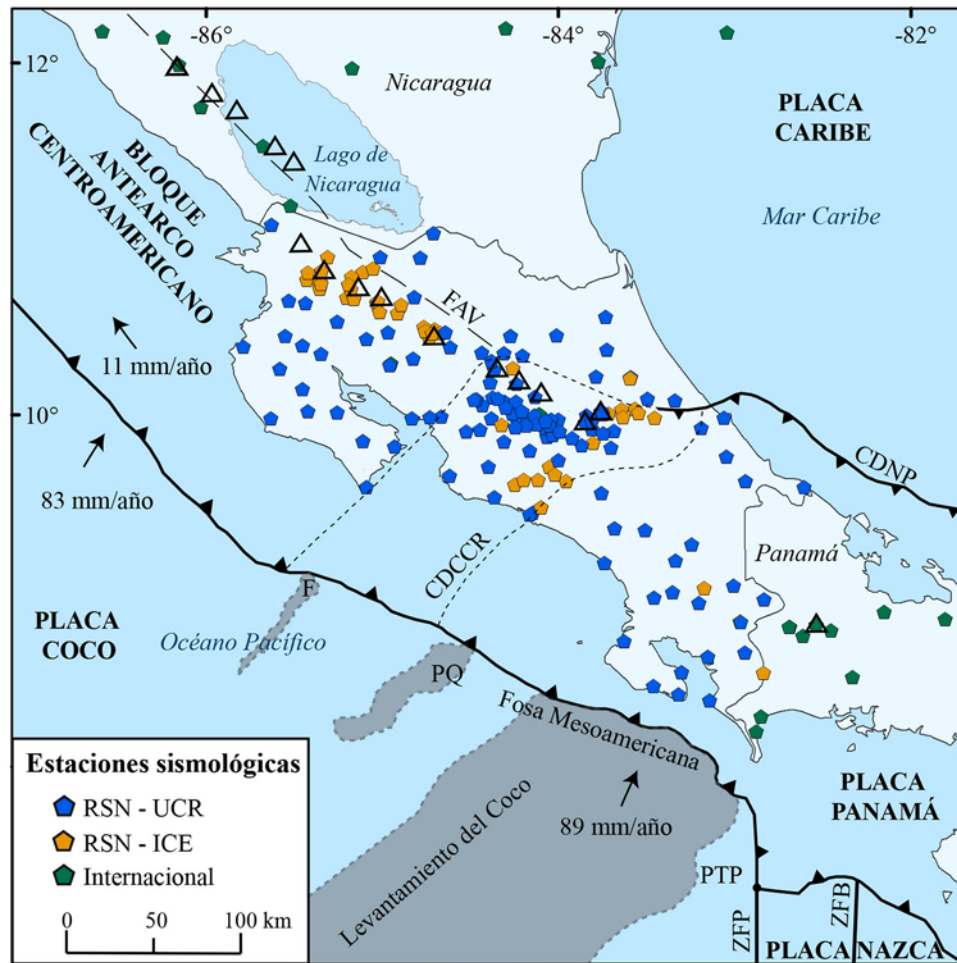


Fig. 1: Mapa de ubicación de las estaciones sismológicas utilizadas por la Red Sismológica Nacional (RSN), diferenciadas según su afiliación institucional (RSN–UCR, RSN–ICE e internacionales), junto con los principales rasgos tectónicos que controlan la sismicidad de Costa Rica y regiones adyacentes. Se indican los límites de placas, zonas de deformación y estructuras tectónicas relevantes, señaladas con las siguientes abreviaturas: CDCCR (Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica), CDNP (Cinturón Deformado del Norte de Panamá), F (monte submarino Fisher), FAV (Fallas del Arco Volcánico), PQ (plateau de Quepos), PTP (punto triple de Panamá), ZFP (Zona de Fractura de Panamá) y ZFB (Zona de Fractura de Balboa). Las flechas negras muestran las direcciones y velocidades relativas de convergencia y desplazamiento de las placas tectónicas expresadas en mm/año y los triángulos abiertos, los volcanes del Cuaternario.

margen Pacífico, la subducción de la placa Coco bajo las placas Caribe y Panamá ha generado de manera recurrente terremotos de gran magnitud ($M_w \geq 7,0$). En el Caribe sur, la convergencia entre las placas Caribe y Panamá, que se inicia en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP; Adamek et al., 1988; Arroyo y Linkimer, 2021b), también ha sido responsable de terremotos significativos y tsunamis históricos.

Además de la sismicidad asociada directamente a estos procesos de subducción, una fracción importante de los sismos ocurre en otras zonas de deformación cortical vinculadas al contacto entre bloques y al desplazamiento relativo del Bloque Antearco Centroamericano. Destacan en este contexto el

Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR; Marshall et al., 2000; Montero, 2001), así como las fallas del arco volcánico de Guanacaste y de la cordillera de Talamanca, relacionadas con el movimiento hacia el noroeste de dicho bloque (Montero et al., 2017). Finalmente, en la región del punto triple de Panamá convergen la Fosa Mesoamericana (FMA), la Zona de Fractura de Panamá (ZFP) y el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP), junto con la Zona de Fractura de Balboa (ZFB) y la Zona de Fractura de Coiba (ZFC), conformando uno de los sectores tectónicamente más activos del sur de América Central (Kolarsky y Mann, 1995; Westbrook et al., 1995; Adamek et al., 1988).

La combinación de una elevada tasa de sismicidad, una amplia variedad de estilos de fallamiento y la disponibilidad de una red instrumental densa convierten a Costa Rica en un laboratorio natural idóneo para el análisis de mecanismos focales y del campo de esfuerzos regional. El estudio sistemático de la sismicidad anual realizado por la RSN contribuye de manera directa a la actualización periódica de las estimaciones de amenaza sísmica (e.g., Hidalgo-Leiva et al., 2022), un aspecto particularmente relevante para un país que ha experimentado cerca de 70 terremotos documentados a lo largo de su historia (Linkimer y Alvarado, 2014; Montero, 1989; Peraldo y Montero, 1994).

En este contexto, el presente trabajo muestra los mecanismos focales y la orientación de los ejes P y T de la mayoría de los sismos sentidos por la población durante el año 2025. Asimismo, se describen las características espaciales y temporales de la sismicidad registrada, su distribución por magnitud y profundidad, el mapa de isosistas del evento más relevante del año y una estimación de la energía sísmica liberada por el conjunto de sismos localizados durante el periodo de estudio.

Datos y metodología

El análisis de la sismicidad presentada en este trabajo se basó en el registro instrumental continuo de la RSN durante el año 2025 complementado con datos provenientes de otras redes sísmicas nacionales e internacionales. La red instrumental de la UCR forma parte del proyecto de investigación Vigilancia Sísmica de Costa Rica que durante el 2025 contó con 123 estaciones distribuidas en el territorio costarricense. A esta cobertura se suma la señal de 50 estaciones pertenecientes al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en el marco de un convenio de cooperación vigente.

Adicionalmente, la RSN tiene acceso, de forma directa o mediante los sistemas de adquisición de SAGE (Seismological Facility for the Advancement of Geoscience), a datos de 48 estaciones operadas por otras instituciones dentro y fuera de Costa Rica, entre ellas el Ineter (Nicaragua), el Ovsicori-UNA, la red sísmica de Chiriquí y la Universidad de Panamá. En conjunto, este arreglo instrumental comprende 221 estaciones, que incluyen 73 sensores de banda ancha, 140 de período corto y 8 acelerógrafos (Fig. 1).

La detección inicial de los eventos sísmicos y la asociación de fases entre estaciones se realizó de manera automática mediante los programas del sistema SeisComp4 (Gempa, 2019), implementados en el Laboratorio de Sismología de la RSN, ubicado en la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR. Posteriormente, todas las localizaciones preliminares fueron revisadas por especialistas en sismología mediante los programas Mulplt y Hyp (Lienert y Havskov, 1995) del paquete Seisan (Havskov et al., 2020). Durante esta etapa se identifican manualmente los arribos de las ondas P y S en los sismogramas, asignándoles un esquema de cinco pesos de acuerdo con la claridad de la señal y el nivel de ruido. La localización final se calculó utilizando un modelo unidimensional de velocidad para la onda P basado en

Matumoto et al. (1977) y una razón V_p/V_s de 1,75. Los sismos presentados en este artículo corresponden exclusivamente a estas localizaciones revisadas.

La magnitud momento (M_w) de cada evento se determinó durante la revisión manual, a partir del análisis espectral de los registros de desplazamiento en cada estación, empleando el programa Mulplt. Para cada estación se estimó la frecuencia de esquina y el nivel espectral plano, y la M_w final para cada evento se calculó como un promedio aritmético de las estimaciones individuales.

La determinación de los mecanismos focales se realizó a partir de la selección cuidadosa de las polaridades del primer movimiento de la onda P en cada estación. Las soluciones se obtuvieron mediante el programa Focmec (Snoke, 1984), que combina las polaridades observadas con los ángulos de despegue calculados a partir del modelo de velocidades empleado en la localización. El procedimiento consistió en una búsqueda sistemática de soluciones con incrementos de cinco grados en el rumbo y el buzamiento, identificando aquellos planos nodales que separaron adecuadamente las polaridades positivas y negativas.

Para garantizar la calidad de las soluciones, en este artículo solo se incluyeron mecanismos focales con entre 13 y 123 polaridades bien distribuidas sobre la esfera focal, con un promedio de 41 polaridades por evento. Adicionalmente, se impuso una variación máxima de 20° en el rumbo y el buzamiento entre las soluciones permisibles, y se aceptó un máximo de tres errores de polaridad únicamente cuando estos se ubicaron a menos de 5° de los planos nodales. La solución final de cada evento correspondió al promedio geométrico de los polos de los planos nodales aceptados. A partir de esta solución se derivaron los ejes de presión (P) y tensión (T), seleccionándose para su análisis únicamente aquellos ejes subhorizontales ($< 20^\circ$), por su relación directa con la orientación de los esfuerzos principales de compresión y extensión.

El origen tectónico de cada sismo se determinó integrando la ubicación epicentral, la profundidad hipocentral, la geometría de los planos nodales, y la distribución de los principales límites de placas y fallas corticales (Denyer et al., 2003). Asimismo, se consideró la ubicación de la zona sismogénica interplacas del margen Pacífico (DeShon et al., 2006; Arroyo et al., 2014; Arroyo y Linkimer, 2021a) y la geometría del techo de la placa Coco bajo Costa Rica (Lücke y Arroyo, 2015). Con base en estos criterios, los sismos del año 2025 se clasificaron en las cuatro fuentes sismogénicas: fallamiento en las placas cabalgantes Caribe y Panamá, zona sismogénica interplacas superficial (< 40 km), fallamiento en la placa Coco subducida a profundidades mayores a 30 km (incluyendo la Zona de Wadati–Benioff), y el límite entre las placas Coco y Nazca, que comprende las zonas de fractura de Panamá, Balboa y Coiba.

Finalmente, la intensidad sísmica se evaluó mediante la escala Mercalli Modificada (IMM), a partir de observaciones macrosísmicas recopiladas por la RSN a través del cuestionario en línea “¿Lo sentiste?” (Linkimer y Arroyo, 2020). Esta herramienta, basada en desarrollos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Wald et al., 2011), consta de 12 preguntas que permiten asignar un valor de intensidad a cada ubicación reportada por los usuarios. Estos datos permitieron la elaboración de un mapa de isosistas que representa la distribución espacial de los efectos del sismo más relevante del año.

Panorama general de la sismicidad del 2025

Durante el año 2025, la Red Sismológica Nacional (RSN) localizó un total de 5 781 sismos ocurridos en el territorio de Costa Rica y en regiones adyacentes (Fig. 2). De este conjunto, 181 eventos fueron

reportados como sentidos por la población, lo que corresponde aproximadamente al 3,1 % del total de sismos registrados durante el año.

Al analizar la variabilidad interanual de la sismicidad desde el año 2012, periodo que coincide con una expansión significativa de la red instrumental y la implementación de herramientas digitales para el reporte de sismos sentidos (Linkimer et al., 2018), se observa que la cantidad anual de sismos localizados por la RSN ha oscilado entre un mínimo de 2 547 eventos en 2013 y un máximo de 6 989 en 2015. Para el periodo 2012–2025, el promedio anual de sismos localizados es de aproximadamente 4 512 eventos. En este contexto, el año 2025 presenta una actividad sísmica superior al promedio histórico reciente y se ubica entre los años con mayor número de sismos registrados desde el inicio de dicho periodo.

En contraste, la cantidad de sismos sentidos por la población muestra una variabilidad distinta. Entre 2012 y 2025, el número anual de eventos percibidos ha fluctuado entre 153 sismos en 2023 y 285 en 2018, con un promedio de 217 sismos sentidos por año. El valor correspondiente al 2025 (181 eventos) se sitúa por debajo de este promedio, lo que permite caracterizar al 2025 como un año con una percepción sísmica relativamente baja en comparación con otros años del mismo periodo, a pesar del elevado número de sismos registrados instrumentalmente.

Esta diferencia entre la actividad sísmica registrada y la sismicidad percibida por la población pone de manifiesto que un aumento en el número total de sismos no implica necesariamente un incremento proporcional de los eventos sentidos, y refleja la influencia combinada de factores como la magnitud, la profundidad y la ubicación de los sismos. Las características específicas de la sismicidad del 2025 se analizan con mayor detalle en las secciones siguientes, considerando su distribución espacial y temporal, así como su magnitud, profundidad y origen tectónico.

Patrones espaciales de la actividad sísmica registrada y sentida

La distribución espacial de la sismicidad registrada y sentida durante el año 2025 se analiza con base en los mapas de epicentros presentados en las Figs. 2 y 3. A escala regional, la sismicidad muestra una cobertura amplia del territorio nacional y áreas oceánicas adyacentes, con una clara relación entre la ubicación de los eventos, su profundidad y los principales elementos tectónicos que controlan la deformación en Costa Rica y regiones vecinas.

Si se analiza el patrón espacial desde el punto de vista de la profundidad hipocentral (Fig. 2), los sismos más superficiales (< 30 km; color rojo; Fig. 2) se distribuyen de manera relativamente homogénea en el país, aunque con una mayor concentración a lo largo del margen Pacífico, el Caribe sur y en sectores asociados con las zonas de fractura de Panamá y Balboa. Esta sismicidad somera refleja principalmente procesos de fallamiento cortical tanto en las placas cabalgantes como en regiones oceánicas cercanas a los límites de placa.

Los sismos con profundidades intermedias (30–60 km; color naranja; Fig. 2) presentan un patrón más localizado, formando una franja con orientación noroeste–sureste que se extiende desde Nicaragua hasta Panamá, paralela a la costa Pacífica. En este intervalo destaca una zona de baja sismicidad al norte de la península de Osa, característica que ha sido documentada de manera recurrente en años recientes. Por su parte, los eventos con profundidades entre 60 y 120 km (color verde claro; Fig. 2) se concentran principalmente bajo el arco volcánico de Costa Rica y el Pacífico de Nicaragua, estando prácticamente

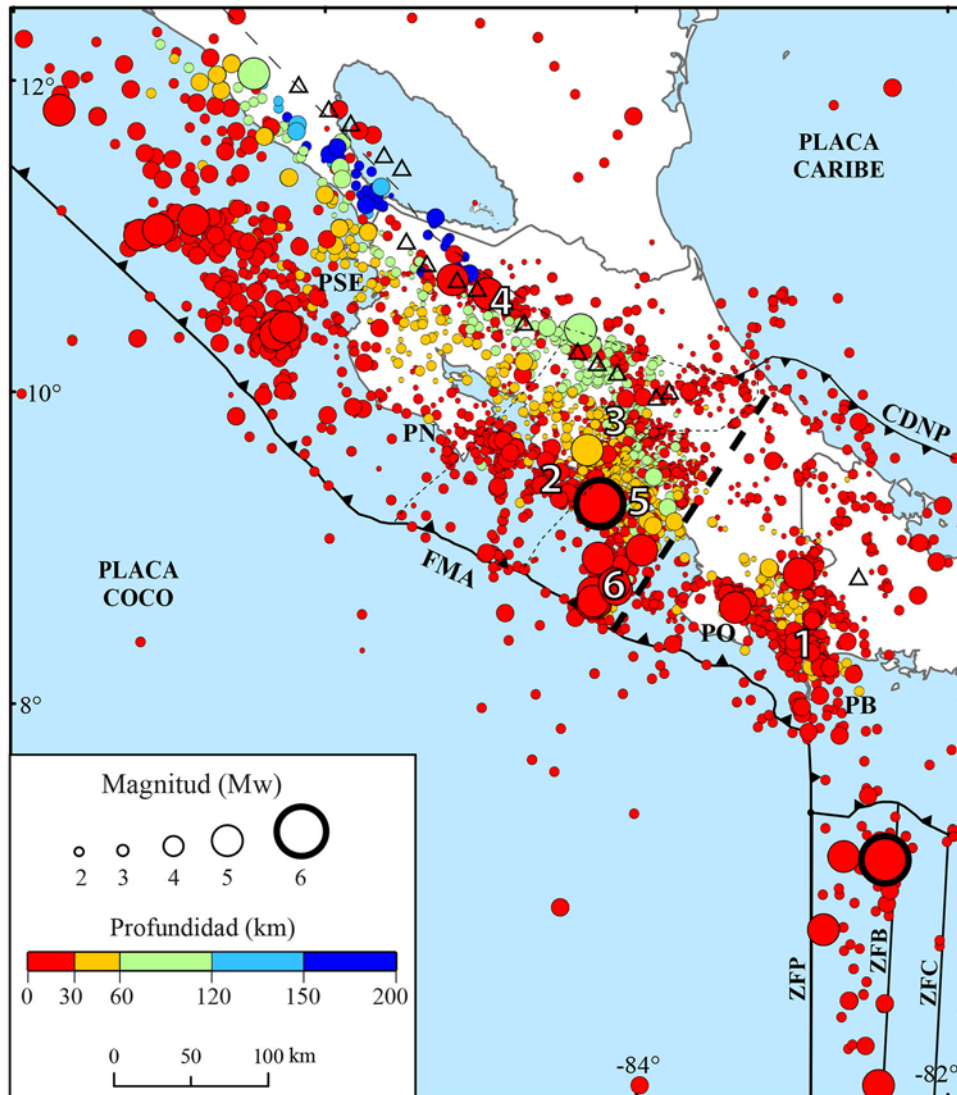


Fig. 2: Epicentros (círculos) de los sismos localizados por la Red Sismológica Nacional (RSN) durante el año 2025 en la región de Costa Rica. El tamaño de los círculos es proporcional a la magnitud momento (M_w) y el color indica la profundidad del hipocentro. Los dos sismos de mayor magnitud del año se resaltan con un borde más grueso y corresponden a eventos rotulados en la Fig. 3. Las zonas con la sismicidad más relevante se indican con los números del 1 al 6. La línea negra discontinua muestra el límite abrupto en la sismicidad mencionado en el texto. Las abreviaturas tectónicas son las mismas indicadas en la Fig. 1. FMA es la Fosa Mesoamericana y ZFC es la Zona de Fractura de Coiba. Las penínsulas de la costa Pacífica están rotuladas como: PB (Burica), PN (Nicoya), PO (Osa) y PSE (Santa Elena).

ausentes en la Zona Sur del país. Los sismos más profundos (120–200 km; colores celeste y azul; Fig. 2) se restringen a una franja localizada al noreste de los volcanes de Guanacaste y bordeando el lago de Nicaragua, asociada a la porción sismogénica más profunda de la placa Coco subducida.

Dentro de este marco general, se identifican varios sectores geográficos que concentraron una actividad sísmica mayor que las regiones circundantes durante el 2025 (Fig. 2). Entre estas zonas destacan: (1)

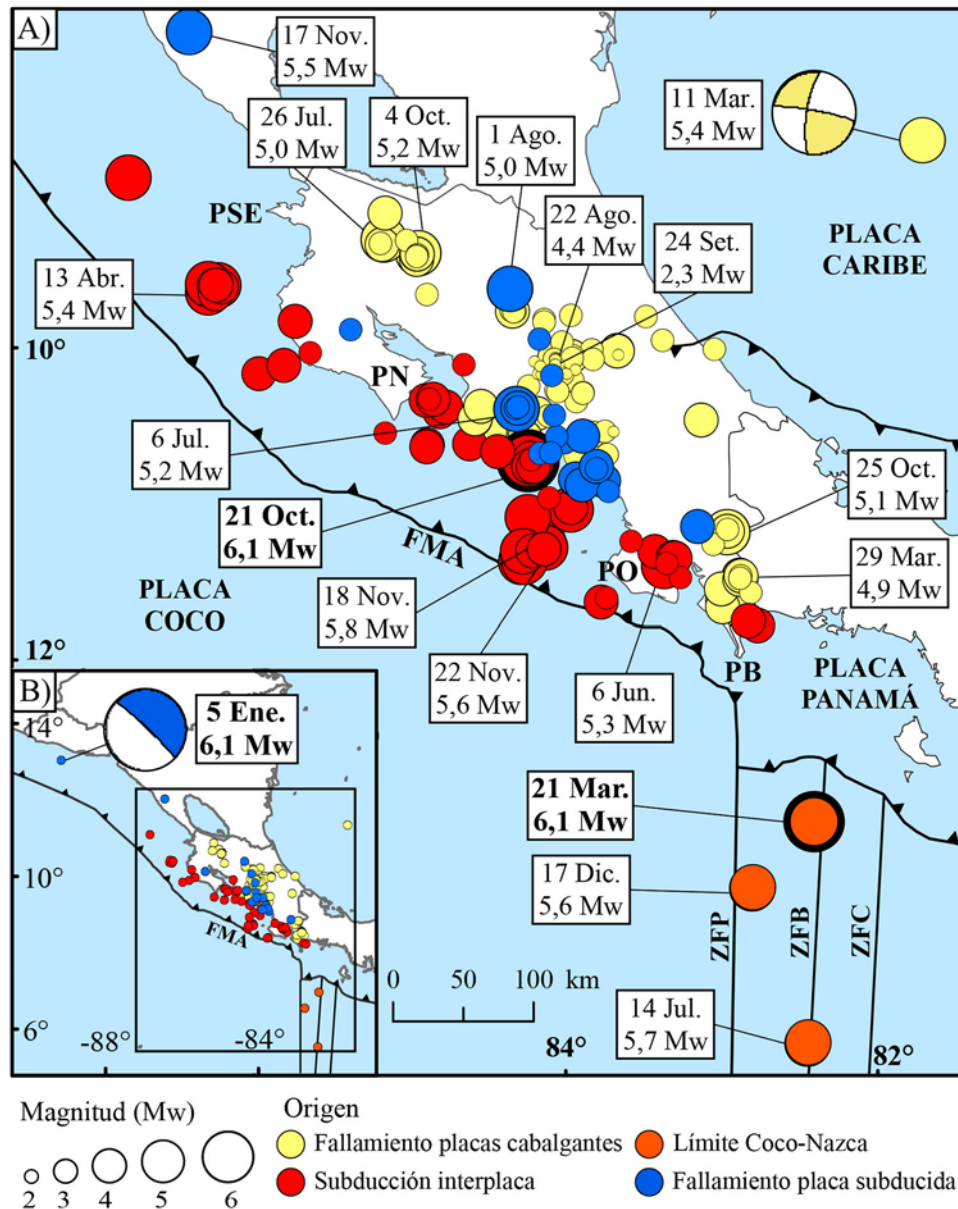


Fig. 3: Mapa de los sismos sentidos en Costa Rica durante el año 2025. Los eventos mencionados en el texto y en el Cuadro 1 se rotulan con su magnitud momento (Mw) y la fecha de ocurrencia. El origen de los sismos se indica mediante el color de los círculos, de acuerdo con la simbología mostrada. Los elementos tectónicos señalados con abreviaturas se explican en las Figs. 1 y 2. A) Detalle de los epicentros de los sismos sentidos en el territorio costarricense y regiones adyacentes y mecanismo focal del sismo del 11 de marzo en la placa Caribe. B) Vista a escala centroamericana que muestra los sismos sentidos en Costa Rica, incluyendo un evento ocurrido frente a la costa de El Salvador, junto con su mecanismo focal.

el área de Paso Canoas en la frontera entre Costa Rica y Panamá, (2) el sector de Parrita en el Pacífico Central, (3) el Área Metropolitana de San José, (4) la falda sureste del volcán Tenorio, (5) la región de Quepos y (6) una zona oceánica al oeste de Drake, en la península de Osa. El origen tectónico y las características de la sismicidad en cada uno de estos sectores se analizan en una sección posterior.

En contraste, se reconocen regiones con escasa o nula actividad sísmica durante el año, definidas aquí como áreas con menos de cinco eventos localizados. Estas incluyen porciones de las penínsulas de Osa y Nicoya, sectores del norte del país cercanos a la frontera con Nicaragua y un segmento de la cordillera de Talamanca hacia el Caribe sur (Figs. 2 y 3). La persistencia de estas zonas de baja sismicidad (e.g., Linkimer et al., 2025) sugiere la presencia de condiciones tectónicas o estructurales particulares que limitan la ocurrencia de rupturas sísmicas detectables durante el periodo de tiempo analizado.

A escala interanual, la distribución espacial de la sismicidad del 2025 mantiene patrones consistentes con los observados en años recientes (Linkimer et al., 2025). En particular, se reconocen nuevamente varios nidos de sismicidad recurrentes y un contraste marcado en la densidad de eventos a través de un sector con rumbo noreste–suroeste que se extiende desde la Fosa Mesoamericana hasta el centro del país (Fig. 2, línea punteada). Este límite abrupto en la cantidad de sismos se manifiesta tanto en eventos interplacas como en sismos corticales y en la sismicidad de la placa Coco subducida, lo que sugiere un control tectónico profundo y persistente sobre la distribución de la deformación sísmica.

Otros rasgos relevantes observados durante el 2025 incluyen la continuidad de una zona de baja sismicidad en el interior de la cordillera de Talamanca y la presencia de un grupo de eventos al noreste de Parismina, asociados a la placa Caribe (Figs. 2 y 3), características que han sido documentadas de manera consistente en los análisis anuales de la sismicidad reciente (Linkimer et al., 2025).

En cuanto a la distribución espacial de los 181 sismos reportados como sentidos por la población (Fig. 3), la mayor proporción de eventos (78 sismos; 43 %) se concentró en la región central terrestre del país, incluyendo el Valle Central y áreas adyacentes. Un segundo grupo significativo corresponde a la zona oceánica del Pacífico Central, entre las penínsulas de Nicoya y Osa, donde se registraron 35 eventos (19 %). La región sureste del país, que incluye las penínsulas de Osa y Burica, concentró 32 sismos sentidos (18 %). Adicionalmente, se registraron 14 sismos sentidos (8 %) en la cordillera volcánica de Guanacaste y 14 eventos más en la península de Nicoya y sectores mar adentro al oeste de Guanacaste. En contraste, únicamente cuatro sismos sentidos presentaron epicentros en la región Caribe, lo que refleja una baja percepción sísmica en esta zona durante el año 2025.

Distribución temporal

La actividad sísmica registrada durante el año 2025 mostró una marcada variabilidad mensual (Fig. 4A). El mes con la mayor cantidad de sismos localizados fue octubre, con un total de 1408 eventos, lo que lo convierte en el mes más activo del año y en uno de los picos más altos de sismicidad registrados desde septiembre de 2012, cuando ocurrió el terremoto de Nicoya. Este aumento abrupto en octubre domina claramente la distribución temporal anual.

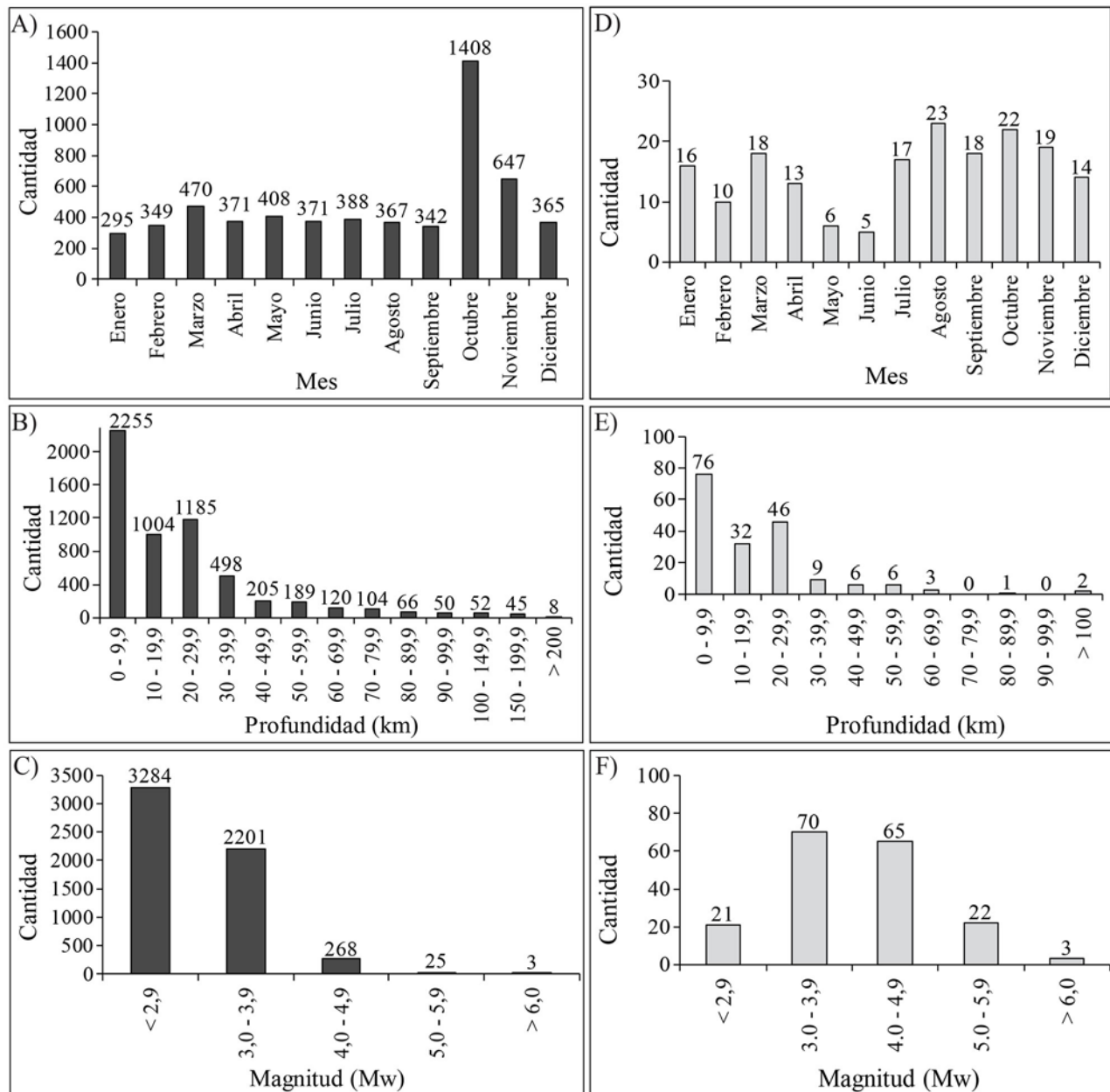


Fig. 4: Distribución de la sismicidad registrada por la RSN durante el año 2025. Los histogramas correspondientes al total de sismos localizados se muestran según A) mes del año, B) profundidad del hipocentro y C) magnitud momento (Mw). La distribución de los sismos reportados como sentidos por la población, se presenta de acuerdo con D) mes del año, E) profundidad y F) magnitud momento (Mw). En todos los casos, la cantidad de eventos se indica sobre las barras de cada histograma.

Después de octubre, los meses con mayor número de sismos fueron noviembre, con 647 eventos, y marzo, con 470. En contraste, enero presentó la menor actividad sísmica del año, con 295 sismos localizados, seguido por septiembre y febrero, con 342 y 349 eventos, respectivamente. Considerando el conjunto del año, el promedio mensual de sismos localizados fue de 482 eventos.

La distribución mensual de los sismos percibidos por la población (Fig. 4D) muestra un patrón distinto al de la sismicidad total. Los meses con mayor cantidad de sismos sentidos fueron agosto, con 23 eventos, y octubre, con 22, seguidos por noviembre, con 19. En contraste, mayo y junio registraron la menor cantidad de sismos percibidos, con seis y cinco eventos, respectivamente. El promedio mensual de sismos sentidos durante el año 2025 fue de 15 eventos.

En conjunto, estas diferencias entre la sismicidad total y la sismicidad percibida reflejan que los picos en el número de eventos registrados no necesariamente se traducen en un aumento proporcional de sismos sentidos, lo cual depende de factores adicionales como la magnitud, la profundidad y la ubicación epicentral de los eventos.

Distribución por profundidad

La distribución de la sismicidad del año 2025 en función de la profundidad hipocentral muestra un claro predominio de eventos someros (Fig. 4B). Del total de 5781 sismos localizados, 4444 eventos (aproximadamente el 77 %) ocurrieron a profundidades menores de 30 km, concentrándose principalmente en los intervalos de 0–10 km (39%) y 20–30 km (20,5 %). Esta distribución es consistente con el predominio de fallamiento cortical en las placas superiores y con la actividad sísmica asociada a la zona sismogénica interplacas del margen Pacífico.

La fracción restante de la sismicidad (1337 eventos) corresponde a sismos con profundidades mayores de 30 km, los cuales se distribuyen progresivamente en intervalos más profundos hasta superar los 200 km, aunque con una disminución marcada en la cantidad de eventos a medida que aumenta la profundidad. Los sismos más profundos (>100 km) representan menos del 3% del total de la sismicidad localizada y se asocian con la deformación interna de la placa Coco subducida.

La sismicidad percibida por la población presenta un patrón aún más sesgado hacia eventos someros (Fig. 4E). De los 181 sismos sentidos durante el año, 154 eventos (85 %) tuvieron hipocentros a profundidades menores de 30 km, destacándose nuevamente los intervalos de 0–10 km (42 %) y 20–30 km (25,4 %). En contraste, únicamente 27 sismos sentidos ocurrieron a profundidades mayores de 30 km, lo que confirma que la profundidad es un factor determinante en la percepción de los eventos sísmicos, junto con la magnitud y la distancia epicentral.

El sismo sentido más profundo con epicentro dentro del territorio costarricense ocurrió el 1 de agosto en la región de Aguas Zarcas, San Carlos, con una profundidad de 110 km y una magnitud Mw 5,0 (Fig. 3A). Fuera del país, el sismo más profundo percibido por la población costarricense tuvo su epicentro en Nicaragua, con una magnitud Mw 5,5 y una profundidad de 107 km (Fig. 3A). Asimismo, un sismo de Mw 6,1 localizado en El Salvador a una profundidad de 49 km, fue reportado como sentido en Costa Rica (Fig. 3B), evidenciando que eventos moderadamente profundos y de magnitud considerable pueden generar percepción a grandes distancias. Por su parte, el sismo más superficial, a solo 1 km ocurrió el 26 de julio en Mogote de Bagaces y tuvo una Mw de 5,0 (Fig. 3A).

Distribución por magnitud y energía sísmica liberada

Durante el año 2025, la magnitud momento máxima registrada en la región fue de Mw 6,1. Este valor fue alcanzado por tres sismos ocurridos el 5 de enero frente a la costa de El Salvador, el 21 de marzo al suroeste de la isla de Coiba (Panamá) y el 21 de octubre al sur de Quepos, en el Pacífico Central de Costa Rica (Fig. 3). A estos eventos les siguen en magnitud un sismo de Mw 5,8 ocurrido el 18 de noviembre al oeste de Drake de Osa y otro de Mw 5,7 registrado el 14 de julio al suroeste de la isla de Coiba. De este conjunto de cinco sismos mayores, únicamente el evento de Quepos presentó un epicentro cercano a centros de población costarricenses, siendo el responsable de las mayores intensidades observadas durante el año, como se discute en la sección siguiente. Los otros eventos, a pesar de su magnitud significativa, ocurrieron mar adentro o fuera del territorio nacional, por lo que fueron percibidos en Costa Rica con intensidades bajas.

Dentro del territorio costarricense, los sismos de mayor magnitud alcanzaron valores de Mw 5,3 y Mw 5,2. El primero ocurrió el 6 de junio al norte de Puerto Jiménez y se originó en la zona sísmogénica interplacas del margen Pacífico, mientras que el segundo tuvo lugar el 6 de julio al norte de Parrita y estuvo asociado con deformación interna de la placa Coco subducida (Fig. 3B). Adicionalmente, se registraron tres sismos con magnitudes entre Mw 5,0 y 5,2 vinculados a fallamiento en las placas cabalgantes Caribe y Panamá: el 26 de julio en Mogote de Bagaces (Mw 5,0), el 4 de octubre en Tierras Morenas de Tilarán (Mw 5,2) y el 25 de octubre en San Vito de Coto Brus (Mw 5,1).

Del total de 5 781 sismos localizados durante el año, únicamente 25 eventos (0,4 %) presentaron magnitudes entre Mw 5,0 y 5,9, mientras que solo tres sismos superaron Mw 6,0 (Fig. 4C). De estos 25 sismos, un total de 22 fueron percibidos por la población (Fig. 4F), lo que refleja la influencia determinante de la ubicación epicentral y la profundidad en la percepción sísmica, más allá del valor absoluto de la magnitud.

La mayoría de los sismos sentidos se concentró en los rangos de magnitud intermedia. En particular, 70 eventos (39 % del total de sismos sentidos) tuvieron magnitudes entre Mw 3,0 y 3,9, mientras que 65 sismos (36 %) se ubicaron en el intervalo Mw 4,0–4,9 (Fig. 4F). En contraste, aunque los sismos pequeños (Mw < 2,9) constituyeron la mayoría de los eventos localizados (57 %; Fig. 4C), solo 21 de ellos fueron percibidos por la población, lo que corresponde al 12 % del total de sismos sentidos. Estos eventos de baja magnitud fueron sentidos principalmente cuando su epicentro se localizó muy cerca de áreas urbanas. De hecho, el sismo sentido de menor magnitud del año ocurrió el 24 de septiembre, con Mw 2,3, y tuvo su epicentro en Desamparados, dentro de la zona urbana del Valle Central (Fig. 3B).

La distribución de magnitudes se refleja directamente en la energía sísmica liberada a lo largo del año. Utilizando la relación empírica clásica entre la magnitud momento y la energía sísmica, expresada como $\log_{10}E = 11,8 + 1,5Mw$, donde E corresponde a la energía en ergios (1 ergio = 1×10^{-10} kJ; Stein y Wysession, 2003), se estimó la energía liberada por cada evento. A partir de estas estimaciones, se obtuvo que la energía sísmica liberada semanalmente durante el 2025 tuvo un valor promedio de $9,50 \times 10^9$ kJ, equivalente aproximadamente a la liberación de energía de un sismo único de Mw 5,5.

Las semanas con mayor liberación de energía estuvieron dominadas por la ocurrencia de sismos de mayor magnitud. En particular, el intervalo del 16 al 22 de marzo concentró la mayor liberación energética del año, con un total de $9,22 \times 10^{10}$ kJ, asociado principalmente al sismo de Mw 6,1 ocurrido al oeste de la isla de Coiba y su secuencia de réplicas (Fig. 5). Un patrón similar se observa durante la semana del

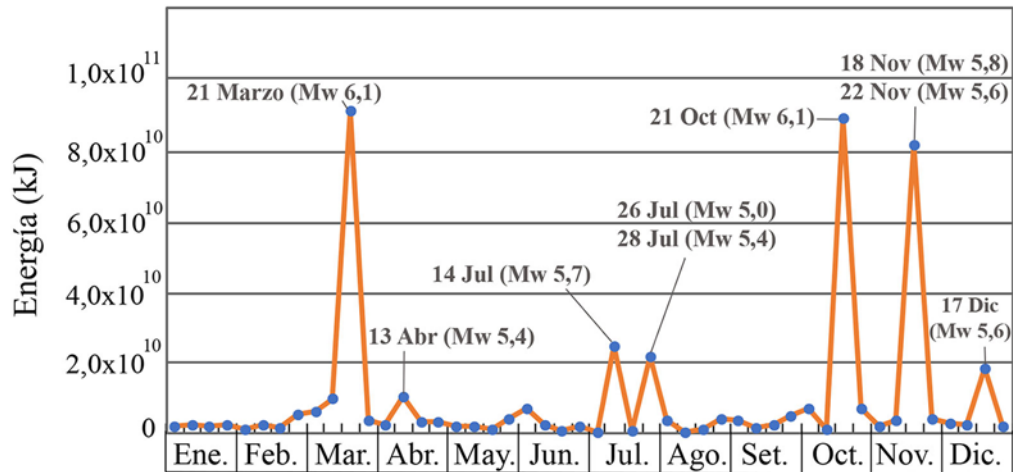


Fig. 5: Variación temporal de la sumatoria semanal de la energía sísmica liberada durante el año 2025, expresada en kilojulios (kJ), calculada a partir de la totalidad de la sismicidad mostrada en la Fig. 2. Se destacan y rotulan los sismos de mayor magnitud momento (Mw), que concentran los principales picos de liberación de energía a lo largo del año. Se excluye de este análisis el sismo de El Salvador del 5 de enero (Mw 6,1) que fue sentido en Costa Rica por considerarse muy distante del resto de eventos analizados en el territorio de costarricense y regiones adyacentes. Por su parte, se rotula el sismo del 28 de julio (Mw 5,4) que no fue percibido por ubicarse mar adentro de la costa Pacífica de Nicaragua.

16 al 22 de octubre, cuando ocurrió el sismo de Mw 6,1 al sur de Quepos, que también generó un pico destacado en la energía sísmica liberada.

La sumatoria de la energía sísmica liberada por todos los sismos localizados durante el 2025 en la región de Costa Rica (Fig. 2) alcanzó un valor de $4,56 \times 10^{11}$ kJ (equivalente a $4,56 \times 10^{21}$ ergios). Esta cantidad de energía corresponde aproximadamente a la liberada por un sismo único de Mw 6,6. Este resultado es consistente con los valores estimados para los años 2023 y 2024 (Linkimer et al., 2025), lo que indica que, por tercer año consecutivo, la región de Costa Rica liberó una cantidad total de energía sísmica anual equivalente a un evento de magnitud Mw 6,6, a pesar de las variaciones en el número total de sismos y en la cantidad de eventos sentidos por la población.

Intensidades

Durante el año 2025 no se registraron víctimas ni daños estructurales significativos asociados a la actividad sísmica. La máxima intensidad documentada fue de VI en la escala de Intensidad Mercalli Modificada (IMM), observada únicamente durante el sismo de Quepos del 21 de octubre (Mw 6,1; Fig. 6). Este evento constituyó el sismo más relevante del año desde el punto de vista de intensidades, extensión del área de percepción y respuesta de la población.

Además del evento de Quepos, se documentaron intensidades máximas de V para otros cinco sismos ocurridos a lo largo del año (Fig. 3). En orden cronológico, estos corresponden a los sismos del 6 de junio (Mw 5,3) al norte de Puerto Jiménez, el 6 de julio (Mw 5,2) al norte de Parrita, el 26 de julio en Mogote

de Bagaces (Mw 5,0), el 4 de octubre en Tierras Morenas de Tilarán (Mw 5,2) y el 25 de octubre en San Vito de Coto Brus (Mw 5,1). Para estos eventos se reportaron efectos típicos de intensidades moderadas, tales como la caída de objetos livianos desde estantes y vibración notable en viviendas. En los casos de Mogote de Bagaces y Tierras Morenas de Tilarán, algunos reportes sugieren que, de manera muy local y cerca de los epicentros, las intensidades pudieron alcanzar valores de VI. En particular, el sismo del 4 de octubre en Tilarán generó una alarma más acentuada debido a la ocurrencia de numerosas réplicas.

El sismo del 21 de octubre, con epicentro al sur de Quepos, fue el evento que generó la mayor cantidad de reportes de intensidad del año. A través del módulo ¿Lo sentiste? de la RSN se recopilaron un total de 656 observaciones, lo que permitió una caracterización detallada de la distribución espacial de las intensidades (Fig. 6). Las intensidades máximas de VI (IMM) se concentraron en un área relativamente reducida, con un diámetro inferior a ~20 km, que incluyó la ciudad de Quepos y sectores cercanos como Manuel Antonio.

Reportes periodísticos documentaron los efectos locales del sismo. En una gasolinera de Quepos se observó el colapso parcial de un cielorraso, mientras que en comercios y supermercados de la localidad se registró la caída de productos al suelo, así como la ruptura total de una puerta de vidrio ubicada en el segundo piso de una ferretería del centro de la ciudad (CRHoy, 2025). Asimismo, se documentó la caída de objetos livianos en viviendas y comercios de la Zona de Los Santos, junto con interrupciones temporales del servicio eléctrico en Jacó, Parrita y Quepos (Delfino.cr, 2025).

Más allá de la zona epicentral, el sismo de Quepos se caracterizó por un amplio radio de percepción de intensidades menores. Intensidades de IV a V se registraron en gran parte del Valle Central, donde el sismo fue descrito como fuerte y de larga duración, generando alarma generalizada en la población. En contraste, en regiones más distantes como Guanacaste, la Zona Norte, Limón y el Pacífico Sur, las intensidades oscilaron entre II y III (Fig. 6). El evento también fue percibido en zonas tan distantes como la provincia de Chiriquí en Panamá.

Otro evento destacado por la cantidad de personas que lo percibieron fue el sismo ocurrido el 22 de agosto, con una magnitud Mw 4,4 y epicentro muy cercano a la ciudad de San José. A pesar de su baja magnitud, este sismo superficial (5 km de profundidad) ocurrió a las 12:45 a.m., dentro de la región más densamente poblada del país, lo que provocó que fuera sentido por un gran número de personas. Para este evento se recopilaron 381 reportes de intensidad a través del módulo “¿Lo sentiste?”, con intensidades máximas de V. No se reportaron daños ni personas heridas. En un comunicado a medios de comunicación, la CNE indicó que no se registraron incidentes relevantes, más allá de múltiples reportes de sismo sentido como “fuerte” en la Gran Área Metropolitana (NCRNoticias, 2025). Habitantes de San José, Heredia, Alajuela y Cartago reportaron haber despertado bruscamente debido al movimiento, lo que fue ampliamente documentado en redes sociales y videos de cámaras de seguridad (NCRNoticias, 2025).

En conjunto, los sismos sentidos durante el 2025 evidencian que, si bien la magnitud es un factor clave en la generación de intensidades altas, la profundidad, la cercanía a centros urbanos y el momento del día juegan un papel determinante en la percepción del movimiento sísmico y en la respuesta de la población.

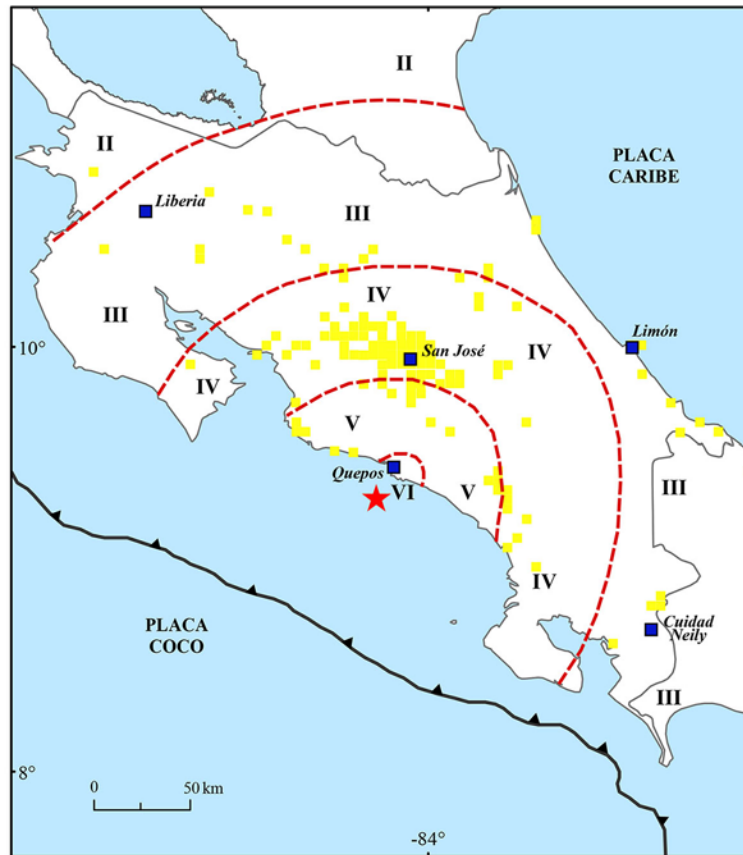


Fig. 6: Mapa de isosistas correspondiente al sismo de Quepos del 21 de octubre de 2025 (Mw 6,1). El epicentro del evento se indica mediante una estrella. Las localidades con observaciones de intensidad se representan con cuadros amarillos. Los números romanos delimitan las áreas con distintos grados de la intensidad Mercalli Modificada, construidos a partir de reportes macrosísmicos.

Fuentes sismogénicas y orientaciones de esfuerzos inferidas de mecanismos focales

El origen de los sismos sentidos del 2025 ha sido agrupado en cuatro categorías (Figs. 3, 7 y 8). La mayoría (102 eventos, ~56 % del total, Fig. 7A) fueron ocasionados por fallas corticales (< 35 km) en las placas cabalgantes Caribe y Panamá, seguido por los sismos en la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Coco, en donde ocurrieron 53 eventos (29 %, Fig. 7B). La tercera categoría con más sismos es la deformación interna de la placa Coco al subducirse debajo de las placas Caribe y Panamá, que incluye 23 (13 %, Fig. 7C). El cuarto tipo de origen es el asociado con el límite entre las placas Nazca y Coco, en donde se presentaron tres sismos sentidos (2 %, Fig. 7C).

En este trabajo se presentan 125 nuevos mecanismos focales ([Material suplementario](#)), calculados siguiendo el procedimiento descrito en la sección de metodología. Se incluyen, además, 9 mecanismos focales calculados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey [USGS], s.f.). Un conjunto de 123 mecanismos focales se muestran en la figura 7 y en la figura 3 se muestran dos mecanismos que quedaban fuera del área geográfica de la figura 7.

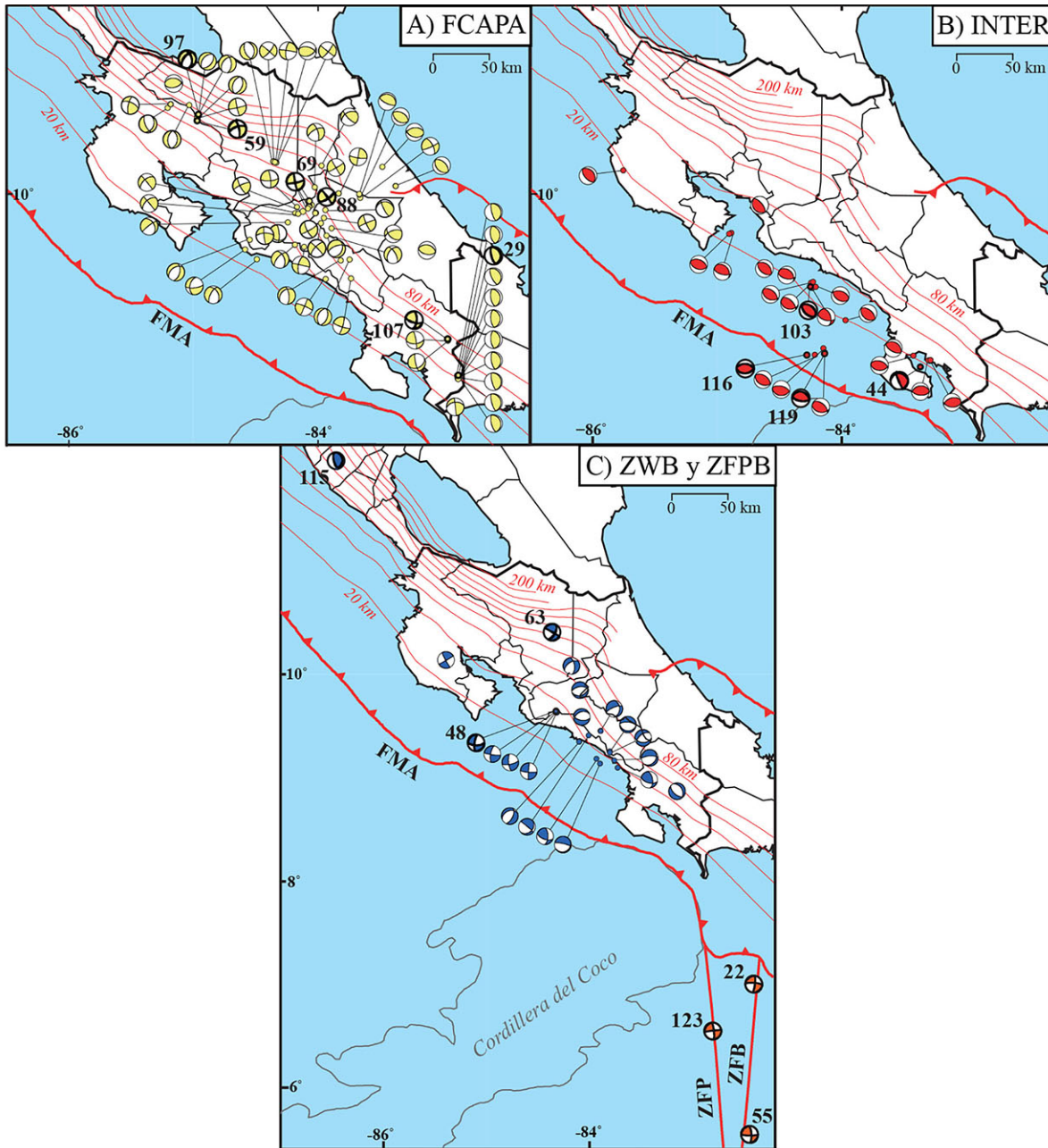
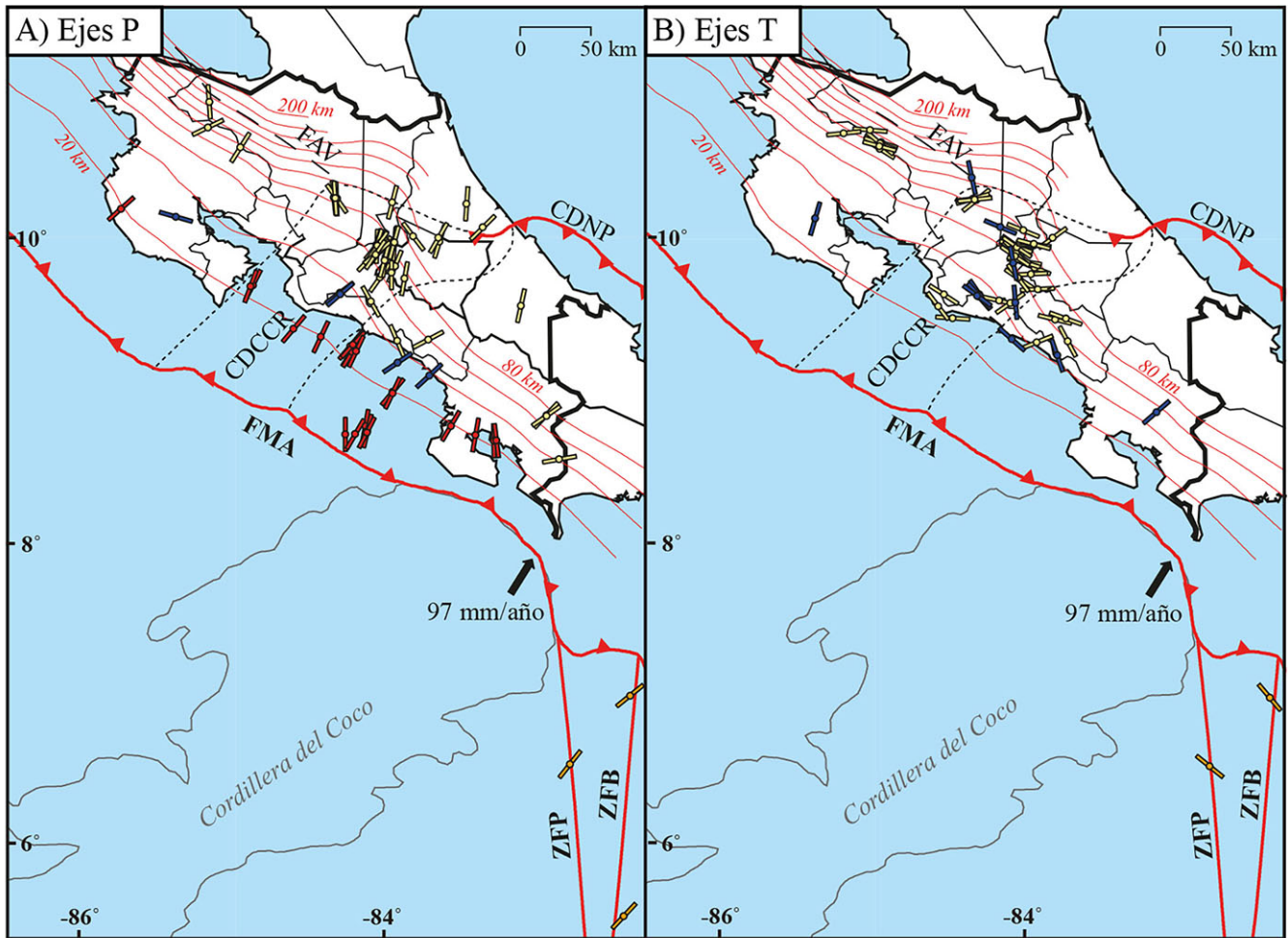


Fig. 7: Mecanismos focales de los sismos sentidos durante el año 2025, agrupados según su origen sismogénico. El color de los círculos (epicentros) y de los mecanismos focales indica el tipo de fuente, de acuerdo con la simbología mostrada en la Fig. 4, y los números corresponden a los eventos descritos en el texto y listados en el Cuadro 1. Se incluyen los principales elementos tectónicos indicados en la Fig. 1, así como los contornos del techo de la placa Coco cada 20 km, según el modelo de Lücke y Arroyo (2015). **A)** Sismos asociados con el fallamiento superficial en las placas cabalgantes Caribe y Panamá (FCAPA). **B)** Sismos originados en la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Coco (INTER). **C)** Sismos relacionados con la deformación interna de la placa Coco subducida (ZWB) y con el límite entre las placas Coco y Nazca en las zonas de fractura de Panamá y Balboa (ZFPB).



Origen

- ▬ Fallamiento placas cabalgantes
- ▬ Límite Coco-Nazca
- ▬ Subducción interplaca
- ▬ Fallamiento placa subducida

Fig. 8: Distribución espacial de los ejes de presión (P) y tensión (T) obtenidos a partir de los mecanismos focales de los sismos sentidos en Costa Rica durante el año 2025. Los ejes se muestran clasificados según el origen sismogénico de los eventos, utilizando la misma codificación de colores presentada en la Fig. 3. A) Ejes de presión (P). B) Ejes de tensión (T). En ambos paneles se representan únicamente los ejes subhorizontales, con inclinaciones menores a 20° , por ser los que mejor reflejan las direcciones de los esfuerzos principales máximo (σ_1) y mínimo (σ_3). Se incluyen los principales elementos tectónicos con las mismas abreviaturas mostradas en las Figs. 1 y 2 y los contornos del techo de la losa de la placa Coco cada 20 km, de acuerdo con Lücke y Arroyo (2015). Los vectores de velocidad de placa provienen de NuvelIA (DeMets et al., 1990; 2010).

Como se indicó en la metodología, para el análisis del campo de esfuerzos se consideraron únicamente los ejes P y T con inclinaciones menores a 20° , por ser los que mejor aproximan las direcciones de los esfuerzos principales σ_1 (compresión máxima, eje P) y σ_3 (extensión máxima, eje T) en la corteza y la litosfera superior. En total, 72 de los 125 mecanismos (58 %) presentan eje P sub-horizontal y 56 mecanismos (45 %) presentan eje T sub-horizontal (Fig. 8).

La distribución de los ejes P (Fig. 8A) muestra un patrón bien definido. La mayor parte de los eventos (47; 65%) presenta una orientación noreste-suroeste, mientras que un segundo grupo importante (19; 26%) muestra orientación norte-sur. Las direcciones noroeste-sureste son minoritarias (5; 7%) y los casos este-oeste son excepcionales (1; 1%). De manera consistente con esta distribución, los ejes P sub-horizontales tienen un rumbo promedio cercano a N33°E para el conjunto noreste-suroeste y un promedio cercano al azimut 0° para el conjunto norte-sur, lo que sugiere un régimen regional dominado por compresión máxima noreste-suroeste, con rotaciones locales hacia la dirección norte-sur.

La organización espacial de estos ejes P también es coherente con el origen tectónico de los sismos. Los eventos asociados a la zona sismogénica interplacas y al límite Coco-Nazca tienden a exhibir ejes P alineados con la dirección de convergencia hacia el noreste (DeMets et al., 1990; 2010), reflejando un componente compresivo consistente con la subducción. En los sismos asociados con fallas corticales (placas Caribe y Panamá) predomina igualmente la orientación noreste-suroeste, aunque se observan desviaciones locales, en particular una mayor presencia de direcciones N-S en sectores del centro del país, el Caribe sur y en Guanacaste. Este cambio o rotación del esfuerzo compresivo máximo ha sido descrito previamente en estudios regionales (e.g., Montero y Morales, 1990) y probablemente refleja la superposición entre la deformación regional y la partición de la deformación en las placas superiores asociada con el CDCCR (Marshall et al., 2000; Montero, 2001).

En cuanto a los ejes T (Fig. 8B), la tendencia dominante corresponde a una orientación noroeste-sureste (33 eventos; 59%), seguida por una orientación E-W (13; 23%). Las orientaciones noreste-suroeste (7; 13%) y N-S (3; 5%) son poco frecuentes. Esta distribución es compatible con un patrón de extensión aproximadamente ortogonal al eje de compresión máximo inferido a partir de los ejes P. De hecho, el conjunto de ejes T sub-horizontales muestra un rumbo promedio cercano a 70°, aproximadamente perpendicular a la dirección principal de los ejes P, lo que apunta a un campo de esfuerzos coherente a escala regional, pese a la diversidad de fuentes sismogénicas y profundidades. Cabe señalar que, en los sismos interplaca de estilo inverso, el eje T suele presentar inclinaciones mayores a 20°; por ello, la población de ejes T sub-horizontales está dominada por eventos corticales y por parte de la sismicidad intraplaca de la placa Coco.

En conjunto, la geometría aproximadamente ortogonal entre las direcciones dominantes de los ejes P (noreste-suroeste) y T (noroeste-sureste) sugiere un régimen regional caracterizado por compresión máxima noreste-suroeste y extensión máxima noroeste-sureste, con rotaciones locales del campo de esfuerzos asociadas con el movimiento relativo de las placas Caribe y Panamá (Fig. 8). Con este marco regional del campo de esfuerzos, a continuación se describen las características de los mecanismos focales según su fuente sismogénica. Se inicia con los eventos asociados a fallas corticales someras en las placas cabalgantes Caribe y Panamá, por constituir la categoría más frecuente de sismos sentidos en 2025.

Fallas corticales (< 35 km) en las placas cabalgantes Caribe y Panamá

Durante el año 2025 se determinaron 78 mecanismos focales asociados con fallas corticales superficiales en las placas Caribe y Panamá (color amarillo en Figs. 3 y 7A). La distribución de estos mecanismos evidencia que, dentro del territorio de Costa Rica, estuvieron activas fallas de diversos estilos cinemáticos y orientaciones, reflejando la complejidad del régimen de esfuerzos en la placa superior.

Los mecanismos focales predominantes corresponden a fallamiento transcurrente puro (39 %), especialmente a lo largo del arco volcánico y en las estribaciones de la cordillera de Talamanca. En menor proporción se identificaron mecanismos inversos puros (22 %) y oblicuos con componente inversa (19 %), seguidos por oblicuos con componente normal (14 %) y un porcentaje reducido de fallamiento normal puro (6 %). Esta diversidad de estilos es consistente con la fragmentación de la placa superior y con la interacción entre deformación regional y estructuras corticales locales.

Cinco secuencias sísmicas relevantes asociadas con fallas superficiales se desarrollaron durante el año en las cercanías de Paso Canoas (marzo), Mogote de Bagaces (julio), San José (agosto), Tierras Morenas de Tilarán (octubre) y San Vito de Coto Brus (octubre), destacándose por su número de eventos, magnitudes alcanzadas o impacto en la población.

La secuencia de Paso Canoas ocurrió muy cerca de la localidad fronteriza con Panamá. La actividad inició el 19 de marzo y tuvo su evento principal de Mw 4,7 el 29 de marzo (evento 29 en Fig. 7A). Los epicentros se localizaron a 1–2 km al oeste de algunos ramales del sistema de fallas Canoas, un conjunto de fallas predominantemente transcurrentes con rumbo norte–sur (Cowan et al., 1998; Montero et al., 1998; Morell et al., 2008). A pesar de esta proximidad, los mecanismos focales obtenidos son de tipo inverso, con planos nodales de rumbo norte–noroeste, lo que sugiere la activación con estilo compresivo en las zonas donde los segmentos cambian de rumbo. El terremoto más cercano comparable en esta región ocurrió el 12 de mayo de 2019 (Mw 6,0), evento que causó daños locales y cuyas réplicas también mostraron mecanismos inversos similares, indicando que este tipo de fallamiento forma parte del comportamiento tectónico del sistema Canoas.

La secuencia de San José tuvo como evento principal un sismo de Mw 4,4 ocurrido el 22 de agosto. Los epicentros de las réplicas más importantes (Mw 2,3–3,6) definen una alineación general suroeste–noreste, coherente con el mecanismo focal del evento principal y de la réplica de mayor magnitud. El plano nodal que coincide con esta alineación corresponde con un movimiento sinistral (evento 69 en Fig. 7A), lo que sugiere que este fue el plano de falla activado. Aunque en los alrededores del Área Metropolitana de San José se han identificado numerosas fallas y lineamientos (e.g., Montero, 2001), la estructura específica responsable de esta secuencia aún no ha sido identificada en estudios geológicos. Este hecho no resulta inusual, dado que muchas fallas corticales en Costa Rica son de pocos kilómetros de longitud, carecen de expresión superficial clara o se encuentran ocultas en zonas altamente urbanizadas. Sismos similares en áreas urbanas ocurrieron, por ejemplo, en el año 2019 en el centro de San José (2 de febrero, Mw 2,8), Desamparados (24 de agosto, Mw 3,4) y Santo Domingo de Heredia (15 de septiembre, Mw 3,5).

La secuencia sísmica de Tierras Morenas, en la falda sureste del volcán Tenorio, se desarrolló a aproximadamente 9 km al noreste de esta localidad. Entre el 1 y el 31 de octubre de 2025 se localizaron 1042 sismos, cuyos epicentros definen una clara alineación con rumbo noreste–suroeste, coincidente con un ramal del sistema de falla Chiripa. La actividad se restringió a un segmento corto de aproximadamente 5 km, con hipocentros entre 2 y 8 km y Mw de entre 2,9 y 5,2. El mecanismo focal del sismo principal del 4 de octubre (evento 97 en Fig. 7A) indica fallamiento oblicuo con componente normal, consistente con un relevo transtensivo en un sector de cambio de rumbo de la falla Chiripa. Este sistema, de unos 30 km de longitud y rumbos general entre norte y noroeste, ha sido responsable de terremotos históricos de hasta Mw 6,5, como los eventos de Tilarán (1973) y posiblemente Guatuso (1911), así como de secuencias recientes con sismos de Mw ~5,0 en 2018 y 2024 (Montero et al., 1998; Camacho, 2015).

Otros sismos relevantes asociados a fallas superficiales incluyen los eventos de Mogote de Bagaces (Mw 5,0; evento 59 en Fig. 7A) y San Vito de Coto Brus (Mw 5,1; evento 107 en Fig. 7A), ambos con mecanismos focales de tipo transcurrente puro. El primero presenta planos nodales con rumbos noreste sinistral y noroeste dextral, típicos de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, mientras que el segundo muestra un plano nodal dextral de rumbo norte–sur, característico de la zona limítrofe con Panamá (Arroyo, 2001).

Finalmente, el sismo de mayor magnitud asociado con fallas de la placa superior ocurrió el 11 de marzo, con Mw 5,4, y se localizó mar adentro, a unos 223 km al noreste de Limón (Fig. 3A; evento 18 en [Material suplementario](#)). Este evento presenta un mecanismo focal transcurrente, con un plano nodal dextral de rumbo nor–noreste y otro sinistral con rumbo este–sureste. Debido a su localización dentro de la placa Caribe y a la ausencia de réplicas, no fue posible identificar con certeza la orientación de la falla responsable. En el extremo opuesto del espectro de magnitudes, el sismo más pequeño asociado con fallas superficiales tuvo Mw 2,3 y ocurrió cerca de Desamparados (evento 88 en Fig. 7A). A pesar de su baja magnitud, fue posible determinar un mecanismo focal transcurrente, con planos nodales de rumbos noreste sinistral y noroeste dextral, típico de la región. No obstante, su ubicación en un entorno urbano sin fallas mapeadas impide definir con precisión la estructura causante del evento.

Zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Coco

Un total de 22 mecanismos focales de tipo inverso u oblicuos con una alta componente inversa (color rojo; Figs. 3 y 7A) se asocian con la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Coco. Estos mecanismos se caracterizan por presentar un plano nodal inclinado predominantemente hacia el noreste, con ángulos de buzamiento que varían entre $\sim 25^\circ$ y $\sim 60^\circ$, concentrándose mayoritariamente en el rango de 30° a 50° . Los ángulos de rake asociados a estos planos nodales son consistentes con fallamiento inverso a inverso-oblicuo, con valores comprendidos entre $\sim 50^\circ$ y $\sim 100^\circ$, y un claro predominio de rakes cercanos a 90° , lo que indica una componente compresiva dominante. Estas características son coherentes con la geometría de la interfaz de subducción entre las placas Coco y Caribe/Panamá. Los mecanismos se distribuyen a lo largo del margen Pacífico del país, con excepción del sector occidental de Guanacaste, en donde no se lograron calcular mecanismos focales para el 2025. Los eventos con mecanismos definen dos agrupamientos principales en relación con la Fosa Mesoamericana: un grupo de sismos muy someros, localizados próximos a la trinchera (por ejemplo, mecanismos 116 y 119 en Fig. 7B), y una segunda banda de eventos más profundos, situados cerca de la línea de costa o tierra adentro (por ejemplo, los mecanismos 44 y 103 en Fig. 7B).

El sismo de mayor magnitud registrado durante el año 2025 y su secuencia de réplicas al sur de Quepos (Mw 6,1; evento 103 en la Fig. 7B) pertenece al grupo de sismos inversos cercanos a la costa. El análisis de la distribución espacial y temporal de esta secuencia sísmica indica que la ruptura ocurrió en un segmento de la zona sismogénica del Pacífico Central que no había presentado actividad significativa reciente, ubicado entre las áreas de ruptura de los terremotos de Jacó de 2017 (Mw 6,3) y Quepos de 1999 (Mw 6,9). El mecanismo focal determinado para el evento principal corresponde con un fallamiento inverso, característico del contacto interplacas, y es consistente con la profundidad estimada de la interfaz de subducción en este sector, cercana a los 20 km.

Otros sismos interplacas relevantes durante el año ocurrieron al oeste de Drake de Osa, con magnitudes Mw 5,8 y Mw 5,6 (eventos 116 y 119 en la Fig. 7B). La actividad de réplicas se concentró en un sector mar adentro, de geometría aproximadamente rectangular, que se extiende unos 33 km desde la Fosa Mesoamericana hacia el continente, con hipocentros superficiales entre 3 y 20 km. El mecanismo focal del evento principal de esta secuencia también indica fallamiento inverso, coherente con el contacto interplacas en ese sector. Durante los primeros ocho días de esta secuencia al oeste de Drake se localizaron 166 sismos, con magnitudes entre Mw 2,7 y Mw 5,8. Los ocho eventos de mayor tamaño, con magnitudes entre Mw 4,9 y Mw 5,8, fueron percibidos en distintas regiones del país. En total, se contabilizaron 18 sismos con Mw entre 4,0 y 4,9 y seis eventos con $Mw \geq 5,0$ asociados a esta secuencia. La secuencia se localiza aproximadamente 70 km al sur del área de ruptura del sismo de Quepos de octubre (Mw 6,1) descrito anteriormente y a unos 20 km al oeste del Osa 2002 (Mw 6,4; Arroyo et al., 2014a, 2014b).

Una característica relevante del margen Pacífico Central es la presencia de numerosos montes submarinos en el piso oceánico. Durante la subducción de la placa Coco bajo la placa Caribe, estas estructuras topográficas actúan como asperezas en la interfaz, favoreciendo la acumulación de esfuerzos y la nucleación de terremotos frecuentes (Arroyo et al., 2014b). Se ha propuesto que la elevada rugosidad del fondo oceánico en este sector limita la extensión lateral de las rupturas, promoviendo eventos de menor tamaño relativo en comparación con los observados en Guanacaste o en el extremo sur del país (Bilek et al., 2003).

Finalmente, otro sismo importante de tipo inverso ocurrió en el sector de Golfo Dulce, con Mw 5,3 (evento 44 en la Fig. 7B) y presentó una localización y profundidad coherentes con la zona sismogénica interplacas en este sector del margen Pacífico sur (Arroyo y Linkimer, 2021a).

Deformación interna de la placa Coco al subducirse

Un total de 21 mecanismos focales pueden ser asociados con la deformación interna de la placa Coco durante su subducción bajo las placas Caribe y Panamá (color azul, Figs. 3 y 7C). Los estilos de fallamiento observados en estos eventos muestran una clara diversidad, dominada por mecanismos oblicuos con componente normal (38 %), seguidos por fallamiento transcurrente puro (26 %) y normal puro (22 %). En menor proporción se identificaron mecanismos oblicuos con componente inversa (12%) y únicamente un pequeño porcentaje de eventos inversos puros (2 %). Esta distribución refleja un régimen de esfuerzos complejo dentro de la placa subducida, distinto al observado en la zona sismogénica interplacas.

El evento de mayor magnitud dentro de esta categoría ocurrió en El Salvador, con una Mw de 6,1 y una profundidad de 49 km (Fig. 3B). Le siguió el sismo del 17 de noviembre en Nicaragua, con Mw 5,5 y una profundidad de 107 km. Dentro del territorio costarricense, el evento más importante asociado a este origen fue el sismo de Parrita del 6 de julio, con Mw 5,2 y una profundidad de 34 km (Fig. 3A).

A pesar de su profundidad relativamente somera, un análisis detallado de la secuencia de Parrita permitió descartar su origen tanto en la zona de contacto interplacas Coco–Caribe como en fallas corticales de la placa superior, que son fuentes habituales de sismos relevantes en el Pacífico Central. La secuencia se inició con el evento principal de Mw 5,2 y fue seguida por 37 réplicas, con magnitudes entre Mw 2,2 y 4,3. Los hipocentros de estos eventos se concentraron entre 34 y 40 km de profundidad, lo que indica

de manera clara que la sismicidad se localiza dentro de la placa Coco subducida, por debajo de la interfaz interplacas, la cual en este sector se sitúa aproximadamente a 35 km de profundidad (Arroyo et al., 2014a; Lücke y Arroyo, 2015).

La distribución espacial de las réplicas muestra una alineación general con rumbo este–oeste, coherente con el mecanismo focal del sismo principal (evento 48 en Fig. 7C) y de las tres réplicas de mayor magnitud. La geometría de estos mecanismos confirma que la sismicidad no se originó en el contacto entre placas, sino en una falla con orientación este–oeste localizada en el interior de la placa Coco, lo que respalda su interpretación como deformación intraplaca.

Otro ejemplo representativo de este tipo de sismicidad es el sismo de Aguas Zarcas de San Carlos, ocurrido el 1 de agosto, con Mw 5,0 y una profundidad de 110 km, el cual constituyó el sismo sentido más profundo del año. El mecanismo focal de este evento es de tipo transcurrente, con un plano nodal de rumbo noroeste y movimiento normal-sinistral, y un plano nodal de rumbo noreste con movimiento dextral (evento 63 en Fig. 7C). Esta configuración de rumbos y sentidos de movimiento es opuesta a la observada típicamente en los sismos asociados a fallas de las placas cabalgantes, lo que aparte de su gran profundidad, refuerza su interpretación como un evento generado por deformación interna de la placa Coco durante su subducción.

Límite entre las placas Coco y Nazca

Finalmente, tres mecanismos focales con Mw significativas, comprendidas entre 5,6 y 6,1, se asocian con la actividad sísmica a lo largo del límite entre las placas Coco y Nazca (color naranja en Figs. 3 y 7C). Esta sismicidad se concentra en los principales sistemas de fractura que definen dicho límite, específicamente la ZFP y la ZFB.

Uno de estos eventos ocurrió el 17 de diciembre (Mw 5,6) y se localizó en la ZFP (evento 123 en Fig. 7C). El mecanismo focal determinado para este sismo es coherente tanto en rumbo como en sentido de movimiento con la geometría de esta estructura, presentando un plano nodal de rumbo cercano al norte–sur y un desplazamiento dextral prácticamente puro, característico de un régimen transcurrente asociado al límite de placas.

Los otros dos sismos se ubicaron a lo largo de la ZFB, aunque en sectores separados entre sí. Estos eventos, ocurridos el 21 de marzo (Mw 6,1) y el 14 de julio (Mw 5,4), muestran igualmente mecanismos focales dominados por un plano nodal de rumbo norte–sur y movimiento dextral, en concordancia con la cinemática conocida de esta zona de fractura. La consistencia entre los mecanismos focales y la traza de las estructuras tectónicas refuerza la interpretación de estos eventos como sismos generados directamente por el desplazamiento relativo entre las placas Coco y Nazca.

Conclusiones

El análisis de localizaciones hipocentrales, mecanismos focales y orientaciones de esfuerzos permite agrupar los sismos del 2025 en cuatro categorías principales: fallamiento cortical superficial (< 35 km) en las placas cabalgantes Caribe y Panamá, sismicidad interplacas asociada a la subducción de la placa

Coco, deformación interna de la placa Coco durante su subducción y actividad sísmica vinculada al límite entre las placas Coco y Nazca.

Durante el 2025 se registró una elevada tasa de sismicidad instrumental (5 781 eventos), aunque el número de sismos sentidos (181) fue inferior al promedio de los últimos años, evidenciando que un aumento en la actividad sísmica no implica necesariamente un incremento proporcional en la percepción por parte de la población. La energía sísmica total liberada durante el 2025 equivale aproximadamente a la de un sismo único de Mw 6,6, un valor similar al estimado para los años 2023 y 2024. Esta recurrencia en la liberación anual de energía indica una relativa estabilidad del régimen sísmico regional en los últimos años, a pesar de las variaciones en el número total de sismos y en la distribución temporal de la actividad.

La mayoría de los sismos sentidos (~56 %) estuvo asociada con fallamiento cortical en las placas cabalgantes, confirmando que este tipo de fuentes domina la sismicidad percibida dentro del territorio continental. Los mecanismos focales muestran un predominio de fallamiento transcurrente, seguido por mecanismos inversos y oblicuos, mientras que el fallamiento normal puro es poco frecuente, lo que refleja la complejidad estructural de la placa superior. Varias secuencias sísmicas superficiales destacaron durante el año, particularmente en Paso Canoas, el Área Metropolitana de San José y Tierras Morenas de Tilarán. Esta última sobresale por su alta productividad sísmica, con más de mil eventos localizados en un solo mes, asociados a la activación de un segmento corto del sistema de falla Chiripa en un contexto transtensivo.

El sismo de mayor magnitud del 2025 ocurrió al sur de Quepos (Mw 6,1) y tuvo un origen interplacas; este evento generó las mayores intensidades del año (IMM VI), restringidas a un área relativamente pequeña y sin causar daños significativos ni víctimas. En general, el 2025 se caracterizó por la ausencia de intensidades altas generalizadas, confirmando un impacto moderado de la actividad sísmica sobre la población.

El análisis de los ejes P y T subhorizontales indica un campo de esfuerzos regional coherente, caracterizado por compresión máxima noreste–suroeste y extensión máxima noroeste–sureste, aproximadamente ortogonales entre sí, con rotaciones locales del esfuerzo en zonas de fallamiento cortical de las placas superiores. En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de la vigilancia sísmica continua y del análisis de mecanismos focales para comprender la tectónica activa de Costa Rica y apoyar la evaluación de la amenaza sísmica del país.

Agradecimientos

El presente trabajo se desarrolló en el marco de los proyectos 113-B5-704 “Vigilancia sísmica de Costa Rica”, 113-A1-716 “Apoyo a la investigación del Laboratorio de Sismología de la Sección de Geodinámica Interna” (antiguamente denominado “Apoyo de asistentes a la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica”) y EC-533 “Difusión de temas sismológicos en Costa Rica”, todos ellos adscritos al programa de investigación 113-B9-911 “Red Sismológica Nacional” de la Universidad de Costa Rica. La ejecución de estas actividades también fue posible gracias al financiamiento otorgado a la RSN mediante la Ley Nacional de Emergencias N.º 8488. Se agradece de manera especial al personal de la Universidad de Costa Rica y del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por su apoyo continuo

en la operación y mantenimiento de la red de estaciones sismológicas durante el año 2025, en particular al Ing. Jean P. Calvo. Asimismo, se reconoce la valiosa colaboración en la localización y análisis de sismos durante el 2025 de la Dra. María Cristina Araya, la Lic. María de los Ángeles Rodríguez y de las personas estudiantes asistentes de la carrera de Geología: Raquel Barrientos, Alejandro Medina, Joselyn Ramírez, Isabella Roberts y Julián 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. <https://doi.org/10.1029/JB093iB03p02053>
- Arroyo, I. G. (2001). *Sismicidad y neotectónica en la región de influencia del proyecto Boruca: Hacia una mejor definición sismogénica del sureste de Costa Rica* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- 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. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2021.60.1.2026>
- Arroyo, I. G., 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. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i65.46696>
- Arroyo, I. G., Husen, S., y Flueh, E. R. (2014a). The seismogenic zone in the Central Costa Rican Pacific margin: High-quality hypocenters from an amphibious network. *International Journal of Earth Sciences*, 103, 1747–1764. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0955-8>
- Arroyo, I. G., Grevemeyer, I., Ranero, C. R., y von Huene, R. (2014b). Interplate seismicity at the CRISP drilling site: The 2002 Mw 6.4 Osa earthquake at the southeastern end of the Middle America Trench. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, e2014GC005359. <https://doi.org/10.1002/2014GC005359>
- Bilek, S. L., Schwartz, S. Y., y DeShon, H. R. (2003). Control of seafloor roughness on earthquake rupture behavior. *Geology*, 31(5), 455–458. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2003\)031<0455:COSROE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031<0455:COSROE>2.0.CO;2)
- Camacho, J. (2015). *Caracterización geofísica y neotectónica de la falla Cote-Arenal, Costa Rica* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Cowan, H., Machette, M. N., Haller, K. M., y Dart, R. L. (1998). *Map and database of Quaternary faults and folds in Panama and its offshore regions* (Open-File Report No. 98–779). U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/of/1998/ofr-98-0779/ofr98-779.pdf>
- CRHoy. (2025, 22 de octubre). *Así amaneció Quepos tras fuerte sismo*. <https://crhoy.com/nacionales/fotos-asi-amanecio-quepos-tras-fuerte-sismo/>
- Delfino.cr. (2025, 21 de octubre). *Se confirma caída de objetos y problemas de fluido eléctrico en el Pacífico Central*. <https://delfino.cr/2025/10/fuerte-sismo-sacude-costa-rica>
- DeMets, C., Gordon, R. G., y Argus, D. F. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>

- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., y Stein, S. (1990). Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 101(2), 425–478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb06579.x>
- Denyer, P., Montero, W., y Alvarado, G. (2003). *Atlas tectónico de 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02809.x>
- Gempa GmbH. (2019). *SeisComp 3: Real time data acquisition and processing* [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. <https://doi.org/10.1785/0220190313>
- Hidalgo-Leiva, D. A., Linkimer, L., Arroyo, I. G., Arroyo-Solórzano, M., Piedra, R., Climent, A., Schmidt Díaz, V., Esquivel, L. C., Alvarado, G. E., y Castillo, R. (2022). The 2022 Seismic Hazard Model for Costa Rica. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 113(1), 23–40. <https://doi.org/10.1785/0120220119>
- 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 No. 295, pp. 225-233). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE295-p1>
- LaFemina, P., Dixon, T. H., Govers, R., Norabuena, E., Turner, H., Saballos, A., Mattioli, G., Protti, M., y Strauch, W. (2009). Fore-arc motion and Cocos Ridge collision in Central America. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q05S14. <https://doi.org/10.1029/2008GC002181>
- Lienert, B. R., y Havskov, J. (1995). A computer program for locating earthquakes both locally and globally. *Seismological Research Letters*, 66(5), 26-36. <https://doi.org/10.1785/gssrl.66.5.26>
- 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. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i0.16569>
- Linkimer, L., y Arroyo, I. G. (2020). Ciencia ciudadana y herramientas de comunicación en la Red Sismológica Nacional de la Universidad de Costa Rica. *Revista Comunicación*, 29(2), 2-21. <https://doi.org/10.18845/rc.v29i2.5404>
- Linkimer, L., Fallas, C., y Arroyo, I. G. (2025). Mecanismos focales de los sismos sentidos en Costa Rica durante el año 2024. *Revista Geológica de América Central*, 72, 1-28. <https://doi.org/10.15517/rgac.2025.64925>
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1029/1999TC001136>
- Matumoto, T., Ohtake, M., Latham, G., y Umaña, J. (1977). Crustal structure in Southern Central America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 67(1), 121-133. <https://doi.org/10.1785/BSSA0670010121>
- Montero, W. (1989). Sismicidad histórica de Costa Rica 1638–1910. *Geofísica Internacional*, 28(4), 531-559. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1989.28.4.1067>
- Montero, W. (2001). Neotectónica de la región central de Costa Rica: Frontera oeste de la micropalca de Panamá. *Revista Geológica de América Central*, 24, 29-56. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i24.8604>
- Montero, W., y Morales, L. D. (1990). Deformación y esfuerzos neotectónicos en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (11). <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i11.13031>
- Montero, W., Lewis, J. C., y Araya, M. C. (2017). The Guanacaste Volcanic Arc Sliver of Northwestern Costa Rica. *Scientific Reports*, 7, 1797. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01593-8>
- Montero, W., Denyer, P., Barquero, R., Alvarado, G. E., Cowan, H., Machette, M. N., Haller, K. M., y Dart, R. L. (1998). *Map and database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions* (Open-File Report No. 98–481). U.S. Geological Survey.
- Morell, K. D., Fisher, D. M., y Gardner, T. W. (2008). Inner forearc response to subduction of the Panama Fracture Zone, southern Central America. *Earth and Planetary Science Letters*, 265, 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.09.039>
- NCRNoticias. (2025, 22 de agosto). *Este es el reporte de daños e incidentes que la CNE acaba de realizar tras fuerte sismo de esta madrugada*. <https://ncrnoticias.com/sucesos/este-es-el-reporte-de-danos-e-incidentes-que-la-cne-acaba-de-realizar-tras-fuerte-sismo-de-esta-madrugada/>
- Peraldo, G., y Montero, W. (1994). *Temblores del periodo colonial de Costa Rica* (1ª ed.). Editorial Tecnológica.
- Snoke, J. A., Munsey, J. W., Teague, A. G., y Bollinger, G. A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake Notes*, 55(3), 15-20. <https://doi.org/10.1785/gssrl.55.3.15>
- Stein, S., y Wysession, M. (2003). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*. Blackwell Publishing.
- United States Geological Survey. (s.f.). *NEIC Catalog* [Catálogo de información sísmica]. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
- 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. <https://doi.org/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 No. 295, pp. 225-233). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE295-p1>