

Sismotectónica

Julio, 2021

Boletín mensual

En Costa Rica
OVSICORI, Universidad Nacional

Grupo de Sismología - OVSICORI-UNA

Resumen general

Sismicidad en Costa Rica

Un total de 1118 sismos con un rango de magnitud momento sísmico, M_w , que va desde 0.0 hasta 6.8, fue localizado por la red sismográfica del OVSICORI-UNA durante el mes de julio de 2021. De estos, 33 fueron reportados sentidos por la población nacional a través de las redes sociales del Observatorio en Facebook y Twitter.

El listado completo que incluye la ubicación, el tiempo de origen, la magnitud y la profundidad de los sismos sentidos, puede ser revisado de manera gratuita por medio de la página web del OVSICORI-UNA: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/sismos-sentidos>.

La distribución hipocentral de la sismicidad generada en Costa Rica durante el mes de julio se puede observar en el mapa de la figura 1. En este, el color y tamaño de los círculos corresponde con la profundidad y magnitud de los sismos, respectivamente.

Durante el mes de julio las regiones sísmicamente más activas fueron el Valle Central, específicamente al sur de San José, Cartago y Pérez Zeledón, así como hacia el sur de la Península de Burica en Puntarenas, a lo largo de la Zona de Fractura de Panamá, ubicada en la frontera entre Costa Rica y Panamá, en el Pacífico Sur.

El día sísmicamente más activo fue el 21 de julio con un total de 114 eventos, mientras que el menos activo fue el día 29, con tan sólo 18 eventos (ver el histograma de la figura 2, abajo).

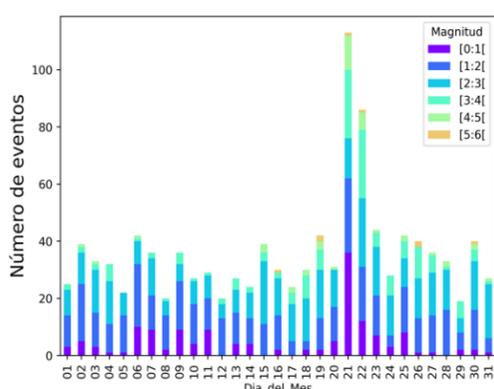


Figura 2. Histograma mostrando la cantidad de sismos generados por día durante el mes de julio de 2021. El color de cada barra indica el rango de magnitud, tal y como se indica en la leyenda.

A pesar de que la cantidad de sismos ha sido similar a los meses anteriores, (ver figura 3), durante este mes ocurrieron al menos 3 eventos importantes, todos sentidos por la población nacional.

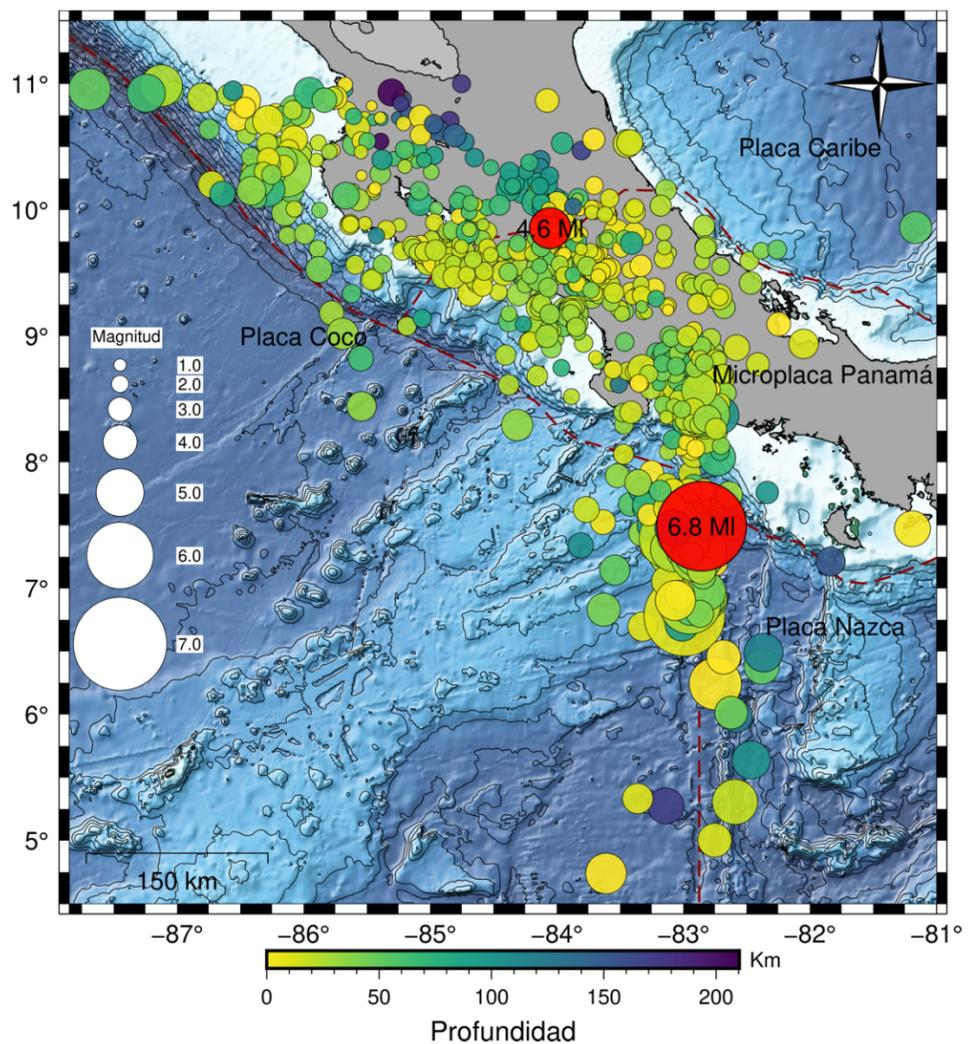


Figura 1. Distribución hipocentral de la actividad sísmica en Costa Rica durante el mes de julio del 2021.

Regiones sísmicamente más activas del país

El Pacífico Central, la región Central de Costa Rica y la Zona de Fracturas de Panamá

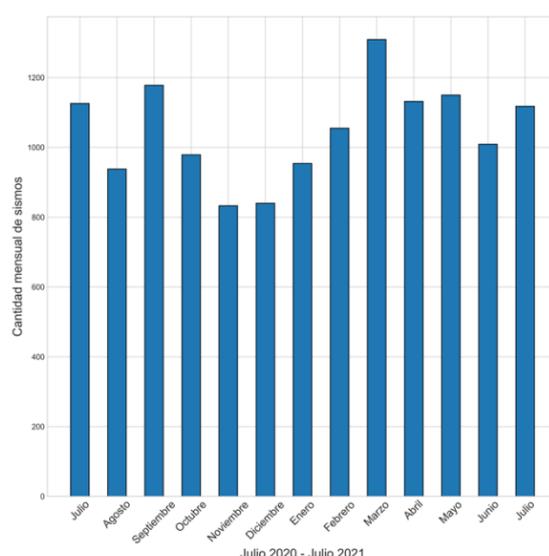


Figura 3. Cantidad mensual de sismos desde julio del 2020 a julio 2021.

El primero de estos fue registrado el 17 de julio, a las 14:56 de la tarde, hora de Costa Rica, con una magnitud, M_w , de 6.2 y una profundidad de 10 km, cuyo epicentro se ubicó en la Zona de Fracturas de Panamá.

Este sismo fue ampliamente percibido tanto en Costa Rica como en Panamá y representa el sismo premonitor de la secuencia sísmica de la Zona de Fracturas de Panamá, de la cual se discutirá más adelante.

El segundo evento que resaltar durante este mes ocurrió el 20 de julio a las 17:57 hora local. Este sismo tuvo una magnitud, M_w , de 3.9 (4.6 MI) y se ubicó 5 km al sureste de Desamparados, a 8 km de profundidad. Un día después, a las 15:15 hora local, fue registrado el tercer evento importante, con magnitud, M_w , de 6.8, el cual se ubicó 45 km al sur de Punta Burica y a 10 km de profundidad (figura 1). Todos estos sismos exhibieron tanto eventos precursoros como réplicas, los cuales fue posible localizar gracias a la red sismográfica del OVSICORI-UNA.

Otras zonas sísmicamente activas durante el mes de julio fueron el Pacífico Central, específicamente frente a las costas de Quepos y Dominical, así como en la Península de Nicoya, frente a las costas de Cabo Blanco y hacia el norte de la Península de Santa Elena.

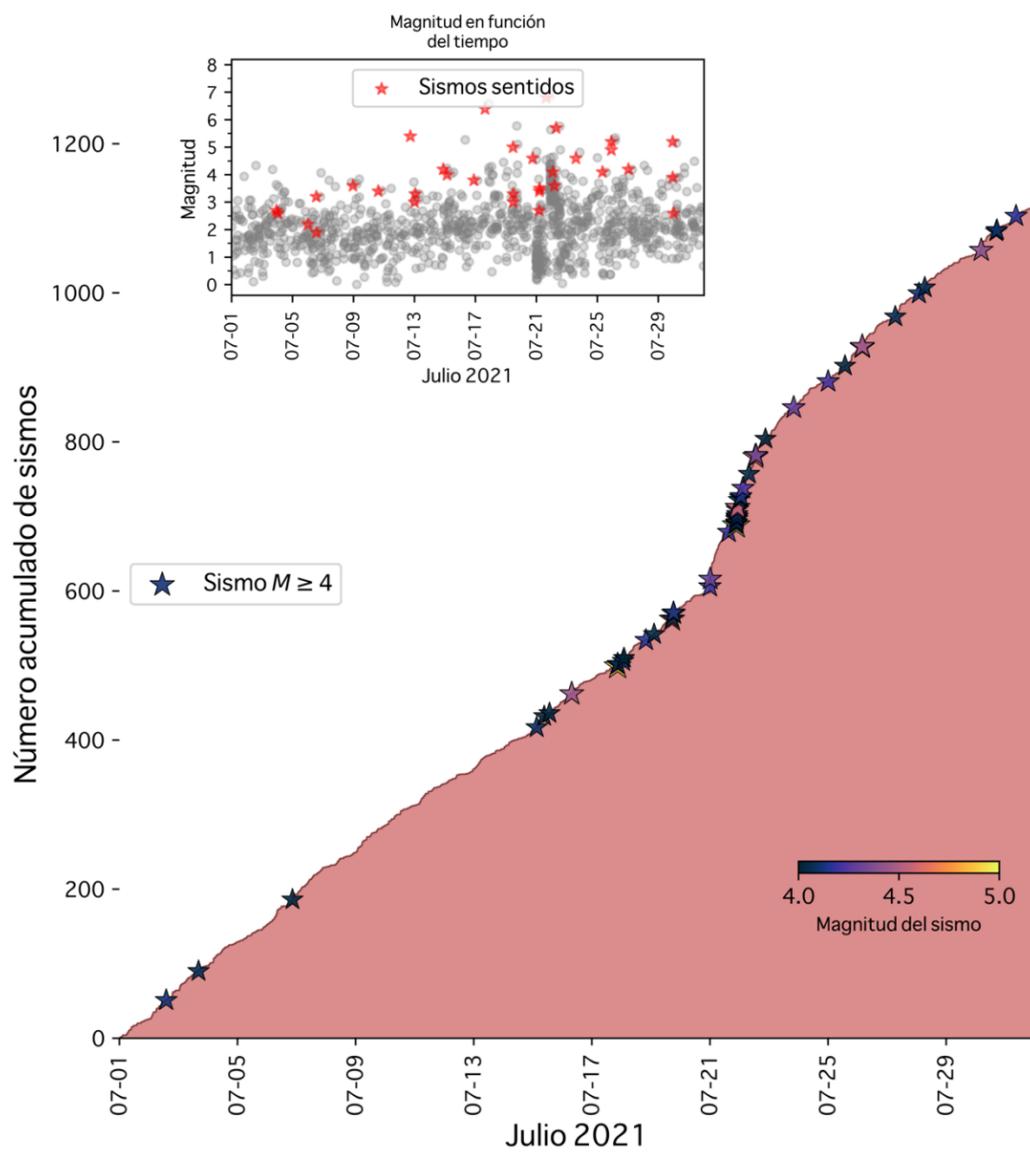


Figura 4. Cantidad acumulada de sismos (área de color rojo) en función del tiempo (1118 eventos) en Costa Rica durante el mes de julio de 2021. Las estrellas sobre la línea de color rojo corresponden con la ocurrencia de sismos con magnitudes iguales o mayores a 4.0. En el panel superior se muestra la distribución de la magnitud de los sismos en función del tiempo. Se destacan los sismos sentidos del mes como estrellas de color rojo.

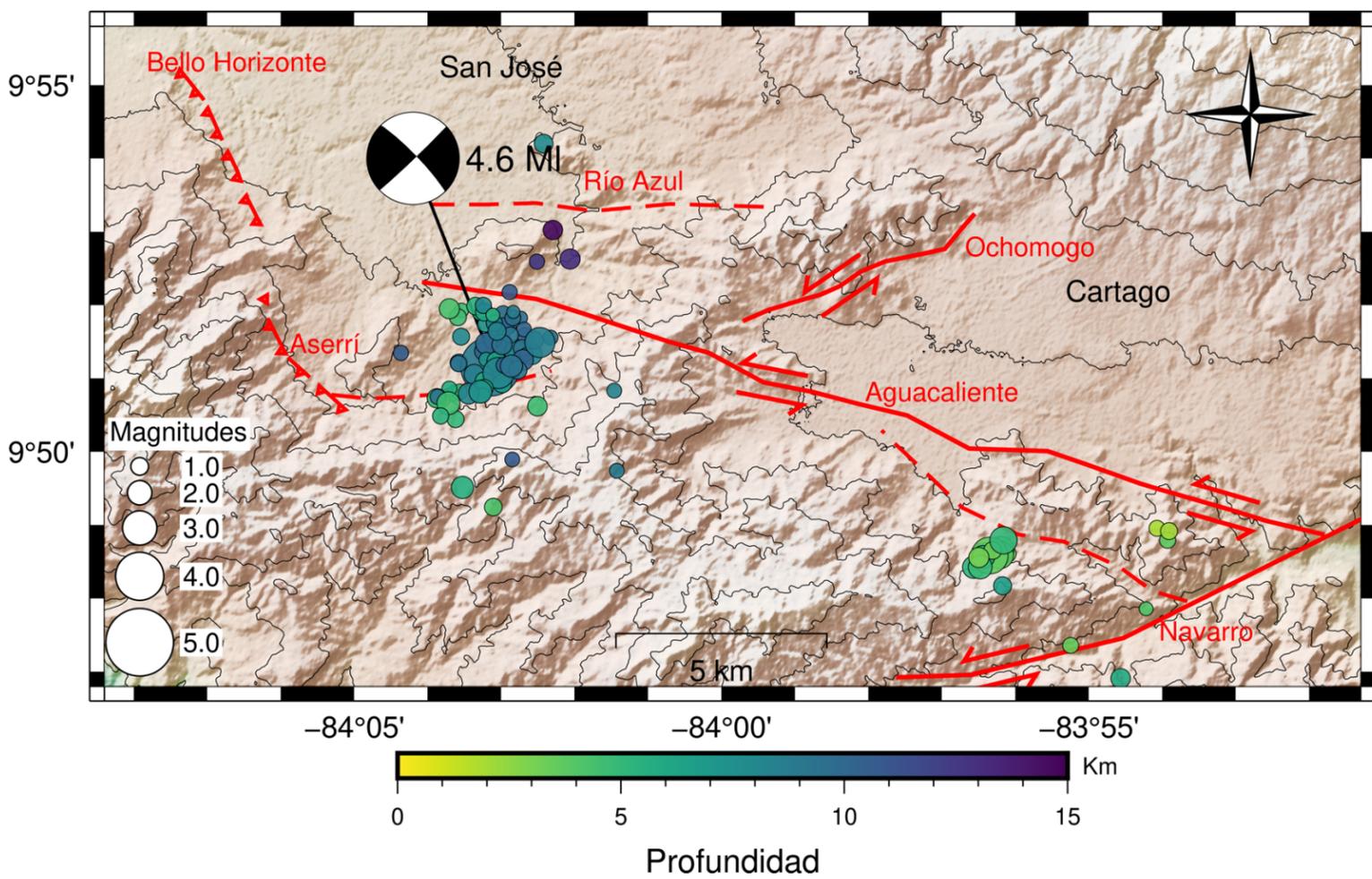


Figura 5. Enjambres localizados durante el mes de julio al sur de San José y Cartago. Las líneas en rojo corresponden a fallas descritas con el tipo de movimiento correspondiente, y las líneas rojas punteadas corresponden a fallas inferidas. La ubicación de las fallas esta basado en la literatura. El mecanismo focal para el evento de mayor magnitud, ocurrido el 20 de julio a las 17:57 de la tarde, hora de Costa Rica, fue calculado a partir de la inversión del tensor de momento sísmico. El mecanismo focal obtenido tiene geometría: Strike 46, 316, Dip: 88, 83, Rake: 7, 178.

En la figura 4 se muestra la cantidad acumulada de sismos durante el mes de julio. A diferencia del mes de junio, donde el incremento en la cantidad de sismos fue aproximadamente constante (y por lo tanto su incremento en la cantidad de momento sísmico liberado), durante el mes de julio, se puede observar como entre los días 21 y 25 de julio hay un aumento súbito en la cantidad de sismos. Dichos eventos corresponden tanto a réplicas del evento del 20 de julio ($M_w = 3.9$; $M_l = 4.6$), como del sismo del 21 de julio ($M_w = 6.8$), varios de los cuales tuvieron magnitudes mayores o iguales a $M_w 4.0$. Esta misma tendencia se puede observar en el gráfico de magnitud en función del tiempo, ubicado en la parte superior de la figura 4, donde se ve una acumulación significativa de eventos durante los días 21 y 22 de julio.

Sismicidad en el Valle Central

Durante el mes de julio fueron registrados y localizados dos enjambres al sur de San José y Cartago (figura 5). El primero está ubicado al suroeste de Paraíso de Cartago, cerca de la comunidad de Sanchirí. Esta región se encuentra inmersa en una posible intersección entre las fallas Aguacaliente y Navarro. El evento de mayor magnitud de este enjambre tuvo una magnitud de 3.2 M_l , y fue registrado el 6 de julio a las 00:20 hora local. En total se localizaron 22 eventos, de los cuales 8 sismos ocurrieron el día 6 de julio, con profundidades que van entre los 3 y los 11 km.

La segunda secuencia sísmica fue ubicada al sur de Desamparados, entre las comunidades de Higuito y Los Guido. La secuencia de este enjambre inició el 19 de julio, aunque se han registrado varios eventos en la zona en los años y meses anteriores. Durante el mes de julio fueron ubicados 75 eventos, de los cuales 70 se registraron entre los días 20 y 23. El evento principal tuvo una magnitud $M_l = 4.6$ y se localizó a 8 km de profundidad (Figura 5 y Figura 6). Este evento fue sentido en toda el área metropolitana. En general, la secuencia sísmica completa presenta profundidades que van desde los 4 hasta los 13 km y su sismogénesis puede estar asociada con la dislocación de la falla Aguacaliente, la cual tiene un movimiento tipo sinistral, consistente con el mecanismo focal calculado (Figuras 5 y 6).

Las fallas Aguacaliente, Navarro y Aserri, así como otras fallas descritas al sur de San José, son consideradas parte del límite entre la placa Caribe y la Microplaca de Panamá.

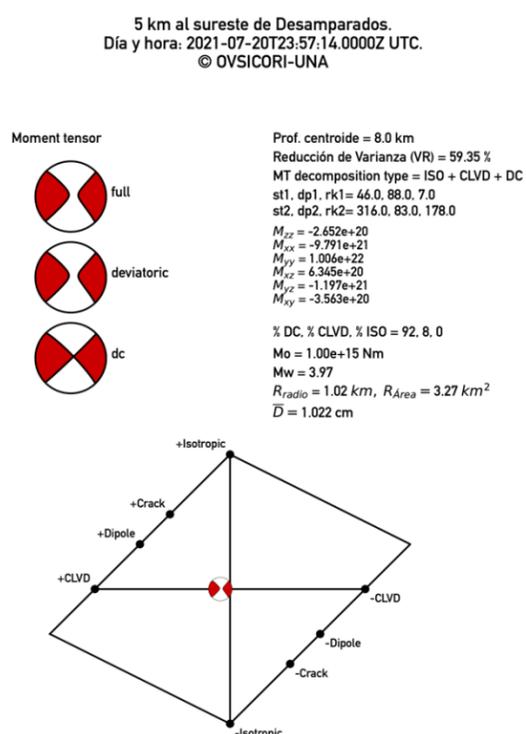


Figura 6. Resultado de la inversión del tensor de momento sísmico para el sismo ocurrido el 20 de julio de 2021 a las 17:57, hora local, en la provincia de Cartago (ver figura 5).

Sismicidad a lo largo del Cantón de Pérez Zeledón, la Zona de los Santos y Dominical

Durante este mes se reportaron dos sismos sentidos en los alrededores del cantón de Pérez Zeledón, la zona de los Santos y Dominical de Puntarenas. El primero de estos ocurrió el día 8 a las 23:07, hora local, con magnitud momento sísmico 3.8, este sismo corresponde con el evento principal de una secuencia sísmica relativamente corta, que inició el día 6 de julio a las 12:30 hora local. Esta sismicidad fue generada a profundidades que van entre los 25 y 32 km, ocurriendo debido al proceso de deformación interna de la Placa del Coco al subducirse por debajo de la microplaca de Panamá.

La figura 7 muestra esta secuencia sísmica frente a la costa de la playa Dominical y el mecanismo focal del sismo principal de esta secuencia sísmica.

Por otra parte, hacia el noroeste del cantón de Pérez Zeledón, ocurrió otro evento sentido por la población el día 13 de julio a las 13:06, hora local de Costa Rica, con magnitud local 3.3. De acuerdo con la profundidad de estos sismos y su geometría de ruptura, resultante de la inversión del tensor de momento sísmico, su sismogénesis corresponde con fallamiento interno de la placa del Coco.

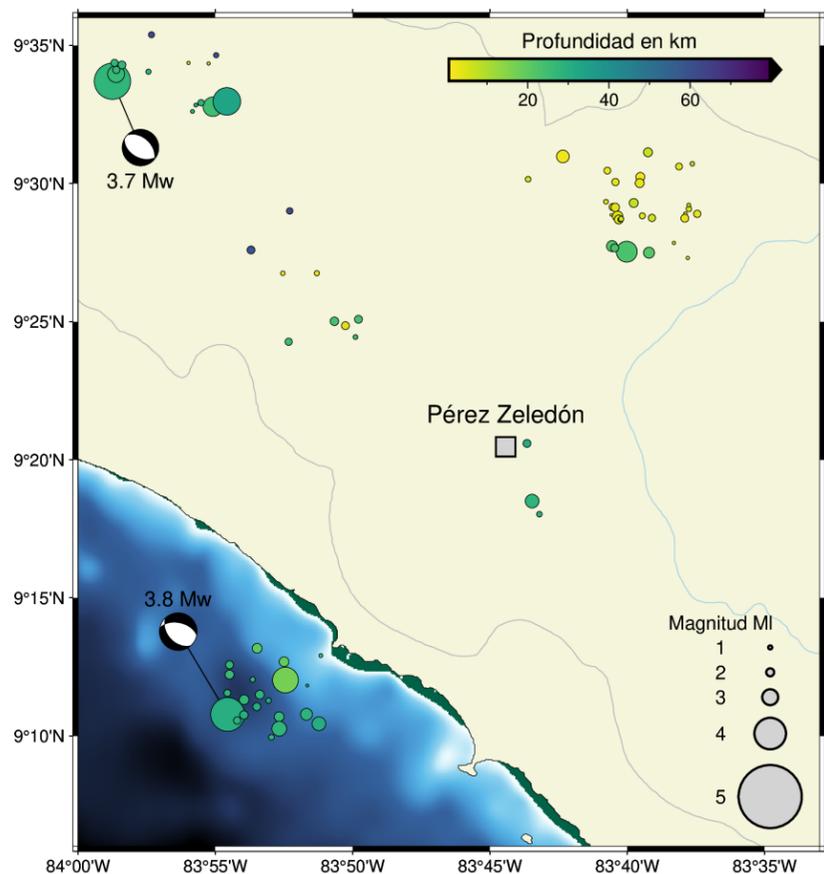


Figura 7. Distribución espacial de la sismicidad (círculos) en los alrededores de Pérez Zeledón y la zona de los Santos. En la figura, el tamaño y color de los círculos corresponde con la magnitud y profundidad de los sismos, respectivamente. Los mecanismos focales incluidos para los sismos de mayor magnitud en la región y que ocurrieron durante el mes de julio, fueron calculados utilizando la inversión del tensor de momento sísmico.

Sismicidad asociada a la Zona de Fracturas de Panamá (PFZ)

Las fallas de transformación en suelo oceánico representan uno de los principales límites de placa, sin embargo, su proceso de ruptura, deslizamiento y distribución del momento sísmico acumulado durante el periodo intersísmico sigue siendo tema de estudio.

En la región Centroamericana y del Caribe, existen fallas de transformación que tienen el potencial de generar sismos con magnitud momento sísmico, M_w , de hasta 7.7 (Tadapansawut, 2020), por lo que su monitoreo continuo y la caracterización sismotectónica son absolutamente esenciales para hacer mejores planes de contingencia por riesgo sísmico y/o de tsunamis.

Hacia el sureste del territorio costarricense, por ejemplo, la Zona de Fracturas de Panamá (PFZ, por sus siglas en inglés), una falla de transformación que conecta el rift de las Galápagos con el arco volcánico Centro Americano, constituye una zona con una alta actividad sísmica que tiene el potencial para generar sismicidad de magnitud intermedia ($M > 6.0$) que es altamente percibida por la población tanto de Costa Rica como de Panamá.

Este sistema de fallas de transformación presenta una orientación casi Norte-Sur y puede ser reconocida cerca de la longitud 82°W, hacia al Sur de la Península de Burica en Puntarenas, justo en la frontera con Panamá (Molnar & Sykes, 1969).

La PFZ corresponde con el límite conservativo entre la Placa del Coco y la Placa de Nazca hacia el Sur del Punto Triple (en suelo oceánico) formado por la interacción entre la Placa del Coco, la Placa de Nazca y la microplaca de Panamá. Hacia el Norte de este punto triple, la PFZ se subduce por debajo de Costa Rica, creando variaciones laterales muy marcadas en la tasa de convergencia, oblicuidad y grosor del material que se subduce por debajo de la microplaca de Panamá (Morell, 2008).

El registro histórico de la sismicidad en la zona (Figura 8), demuestra que este sistema de fallas tiene un desplazamiento relativo de tipo corrimiento de rumbo dextral desde los $\sim 4^\circ$ hasta los $\sim 8^\circ$ de latitud. Por debajo de los 4° , la PFZ se encuentra con la zona de rift de Costa Rica y conecta finalmente con el rift de las Galápagos (Grim, 1970).

En la región norte de este sistema de fallas, específicamente a partir de los 6.25° de latitud, una bifurcación muy clara evidenciada por la distribución hipocentral de la sismicidad, demuestra la existencia de la Zona de Fracturas de Balboa (BFZ, por sus siglas en Inglés), una falla de transformación con desplazamiento de tipo corrimiento de rumbo dextral, que en los últimos 40 años ha producido aproximadamente 3 veces más momento sísmico que la región norte (6.25° hasta 8° en latitud) de la PFZ (e.g. Cleveland & Ammon, 2013).

En conjunto, el momento sísmico liberado en la región norte de la PFZ y en la BFZ, iguala a la cantidad de momento sísmico que ha sido también liberado en la región sur (4° hasta 6.25°) de la PFZ.

Un sismo con magnitud momento sísmico, $M_w=6.8$, que sacudió la mayor parte de los países de Costa Rica y Panamá a las 21:15, hora UTC, del 21 de julio de 2021, ocurrió en la región norte de la Zona de Fracturas de Panamá, a 10 km de profundidad y representa el segundo evento más grande generado en la PFZ, con deslizamiento de tipo corrimiento de rumbo dextral, que haya sido registrado instrumentalmente, antecedido por el sismo de magnitud $M_w=6.82$, ocurrido el 19 de agosto de 1982 en la BFZ.

El temblor ocurrido en julio fue precedido por una secuencia premonitora, conformada por más de 18 sismos, incluyendo el sismo del 17 de julio de 2021 a las 20:56 UTC, con magnitud $M_w=6.2$, que migró con una tasa aparente de ~ 25 km/hr hasta detenerse en el margen del área de ruptura del temblor principal ocurrido el 21 de julio. A pesar de la lejanía de la fuente sísmica con respecto a las regiones más pobladas del país, ambos sismos (el sismo principal y su premonitor), así como sus réplicas más grandes, fueron ampliamente percibidas en el interior de Costa Rica y también en Panamá.

La figura 9 muestra el resultado de la inversión del tensor de momento sísmico para el evento principal de la secuencia, ocurrido el 21 de julio a las 21:15, hora UTC, con magnitud $M_w=6.8$, utilizando la red sísmográfica del OVISCORI-UNA.

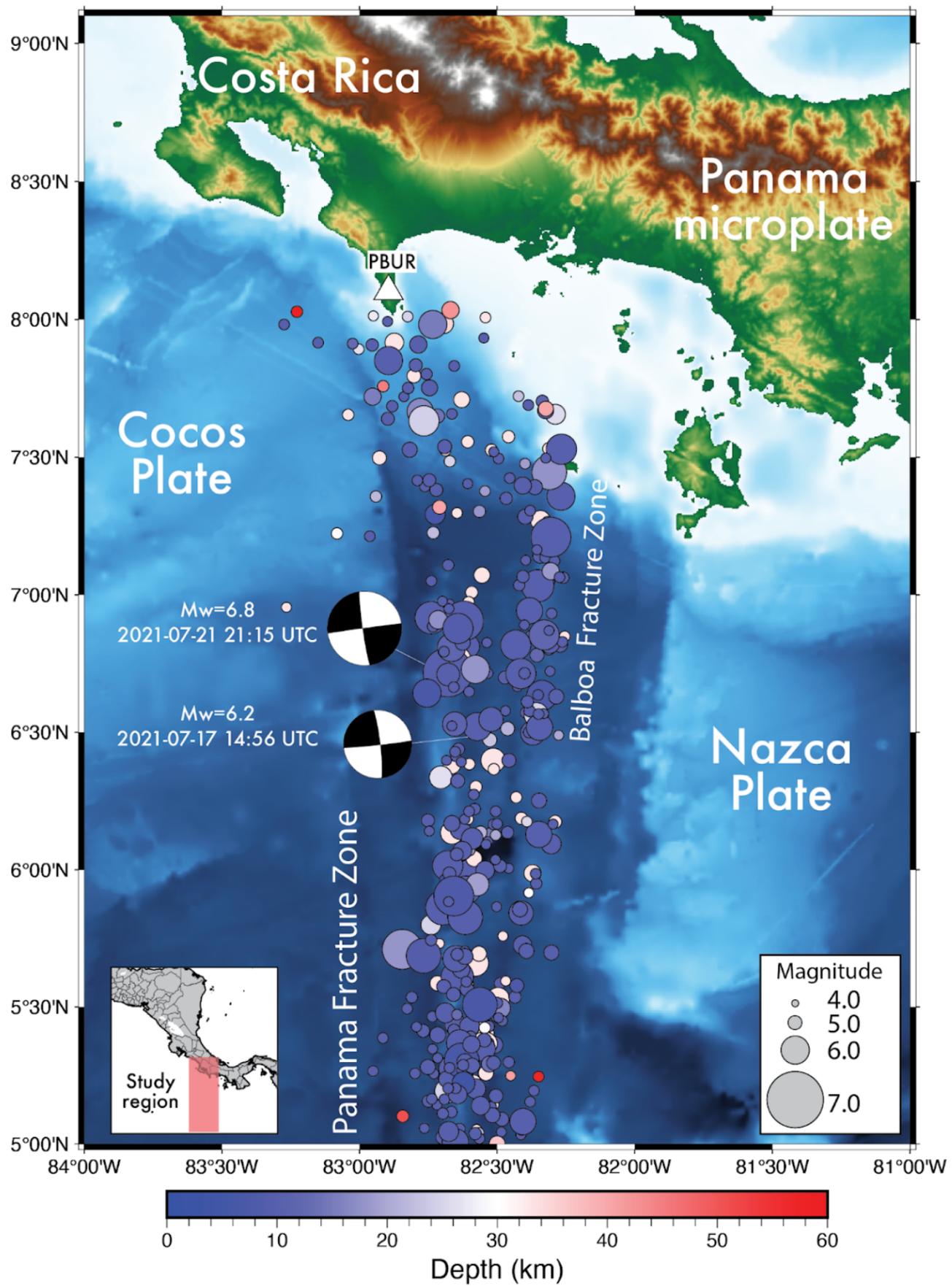


Figura 8. Sismicidad histórica en la Zona de Fracturas de Panamá. El tamaño y color de los círculos representa la magnitud y profundidad de los sismos respectivamente. Se presentan además los mecanismos focales de los dos sismos más recientes, ocurridos en la región norte de la PFZ. El primero de estos, un evento de $M_w=6.2$, ocurrido el 17 de Julio y posteriormente, el sismo de magnitud $M_w=6.8$ ocurrido el 21 de Julio de 2021 a las 21:15 hora UTC.

Zona de Fracturas de Panamá.
Día y hora: 2021-07-21T21:15:15.0000Z UTC.
© OVSICORI-UNA

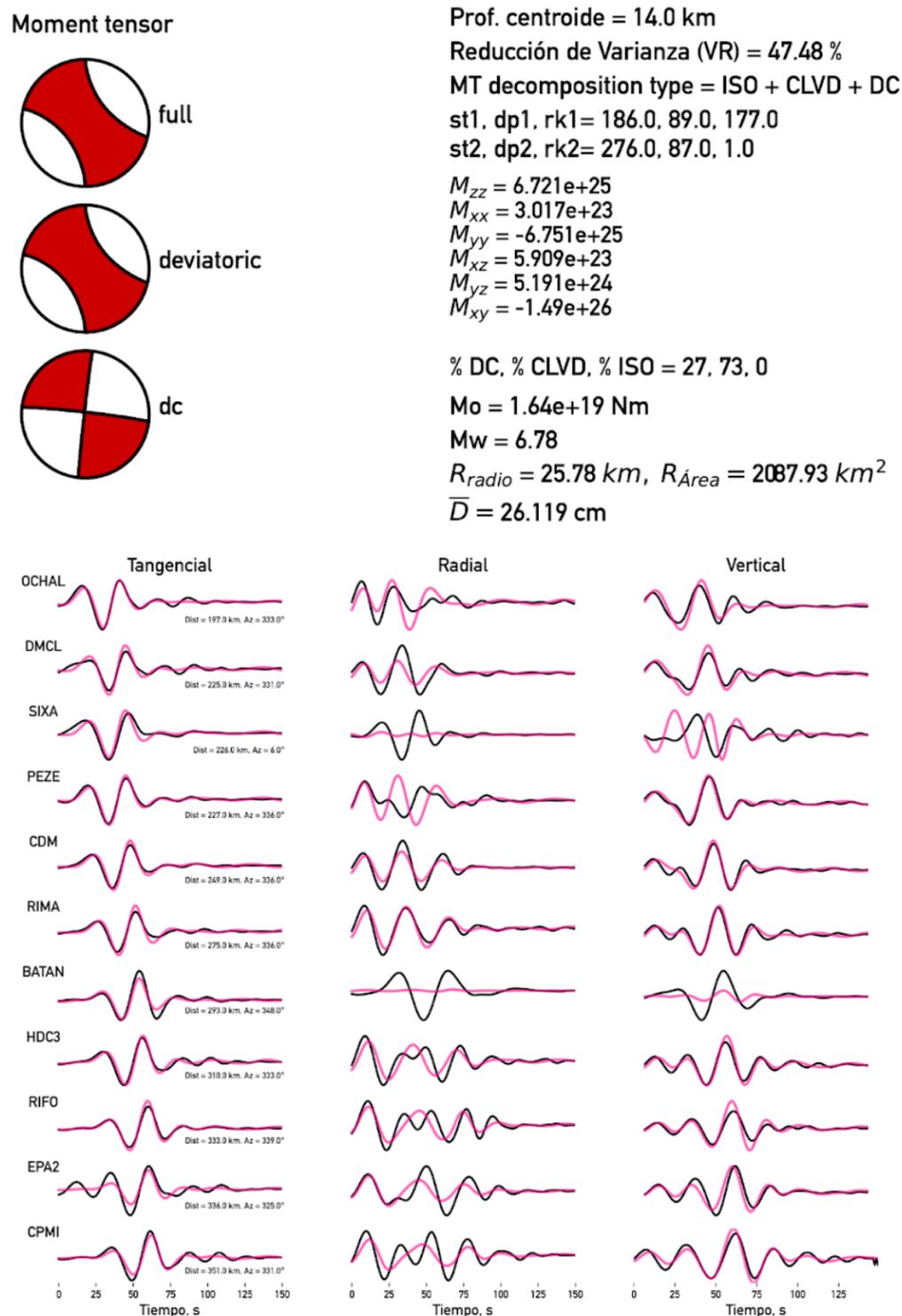


Figura 9. Inversión del tensor de momento sísmico para el sismo principal que ocurrió en la Zona de Fracturas de Panamá el 21 de Julio a las 21:15 UTC. Los parámetros de la fuente sísmica, incluyendo el mecanismo focal se pueden observar en la parte superior de la figura, mientras que el ajuste entre los sismogramas observados (en color negro) y los sismogramas sintéticos (color magenta) se observa en la parte inferior.

Réplicas localizadas

Un total de 95 réplicas generadas por el sismo principal de magnitud (M_w) 6.8, ocurrido el 21 de Julio de 2021 a las 21:15 hora UTC, han sido localizadas por la red sismográfica del OVSICORI-UNA. Esta sismicidad se ubica a lo largo de la Zona de Fractura de Panamá, hacia el sur de la Península de Burica en Puntarenas, y sus profundidades no sobrepasan los 30 km. El panel A) de la figura 10 muestra la ubicación hipocentral de la sismicidad localizada en la zona desde el 15 de Julio hasta las 10:00 horas del 23 de julio de 2021. En esta figura, el color y tamaño de los círculos corresponde con la profundidad y la magnitud de los eventos, respectivamente.

En general, las réplicas localizadas presentan un rango de magnitud (M_l) que va desde 2.2 y hasta 5.7. Del total de réplicas localizadas hasta el momento, 3 fueron reportadas como sentidas por la población a través de las redes sociales del OVSICORI-UNA. La tabla 1 muestra el tiempo de ocurrencia de estas 3 réplicas y los principales lugares desde donde se reportaron sentidas.

Réplicas detectadas usando Inteligencia artificial

Debido a la lejanía de la fuente sísmica con respecto a la costa del Pacífico Sur costarricense, y por consiguiente de la red sismográfica del OVSICORI-UNA, es imposible localizar todas las réplicas generadas en esta secuencia. Esto ocurre debido a que la cobertura azimutal es limitada y los eventos de menor magnitud ($M \leq 2.0$) presentan una energía de alta frecuencia, que es rápidamente atenuada por la corteza superior, por lo cual la amplitud de la señal sísmica está por debajo del nivel de ruido ambiental.

Utilizando métodos modernos de computación avanzada, como el aprendizaje profundo (Deep Learning), logramos detectar y contabilizar hasta el día 27 de Julio, un total de **700 réplicas** registradas en la estación PBUR, la estación más cercana al sismo principal, ubicada en la Península de Burica. La figura 11 muestra un ejemplo del proceso de detección automática de dos sismos de baja magnitud.

Tabla 1. Sismos sentidos posterior a la ocurrencia del sismo principal, $M_w=6.8$, del 21 de Julio de 2021.

Fecha del 2021	Hora Local	Magnitud	Profundidad (km)	Reportes
22 de julio	01:44	4.1	20	Golfito, Quepos, Alajuela, Grecia, Desamparados, Palmares, Puerto Limón
22 de julio	04:13	3.6	30	Golfito, San Ramón, Alajuela, Goicoechea, Palmares, Paquera
22 de julio	06:51	5.7	20	Golfito, Laurel, Pérez Zeledón, Puerto Jiménez, Buenos Aires, Ciudad Cortés, Talamanca, Grecia, Alajuela, Guadalupe, Sabanilla, Curridabat, Heredia, Turrialba, Cartago, Tibás, Hone Creek, Tierra Blanca.

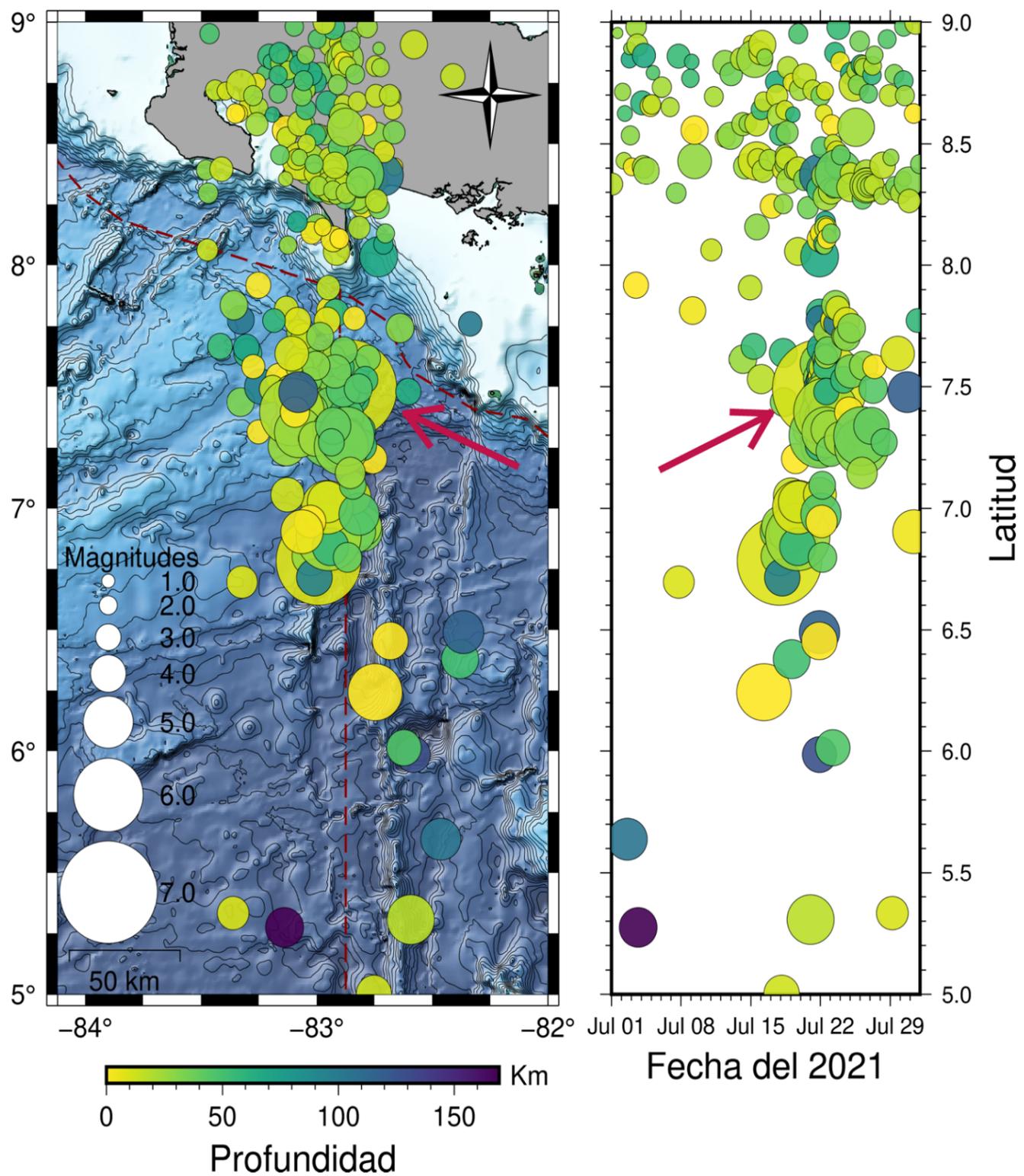
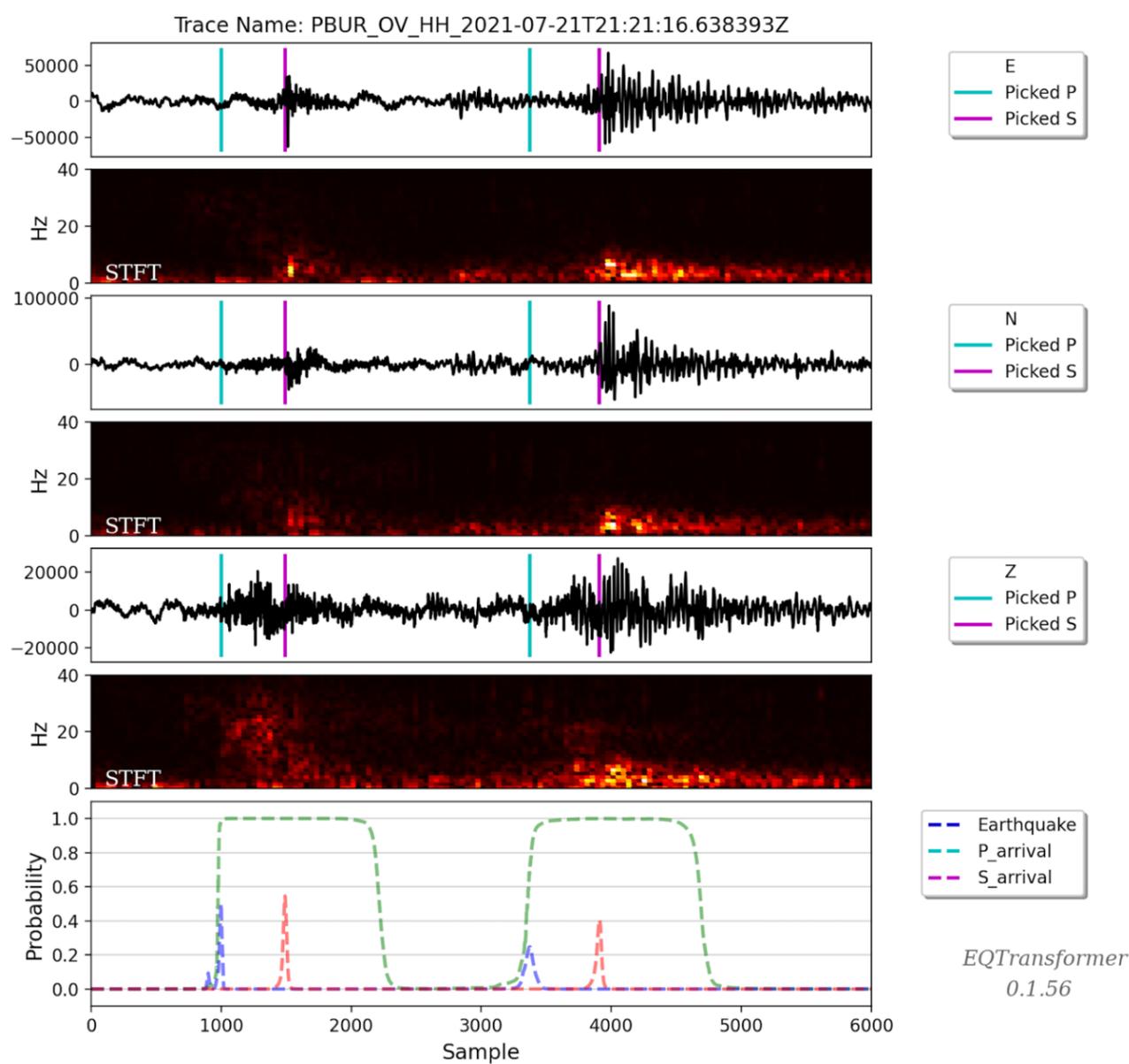


Figura 10. Distribución espacio-temporal de la sismicidad (círculos) generada en la Zona de Fracturas de Panamá desde el día 15 de julio hasta las 10:00 horas del día 23 de julio de 2021. Panel A) muestra un mapa con la ubicación hipocentral de la secuencia sísmica, donde el color de cada círculo representa la profundidad y su tamaño la magnitud. En el panel B) Se detalla la evolución espacio-temporal de la sismicidad y se observa una migración epicentral hacia el Norte (hacia la Península de Burica), justo hasta el área de ruptura del sismo del día miércoles 21 de julio.

Figura 11. Ejemplo de detección automática de terremotos utilizando inteligencia artificial. En la figura se muestran las tres componentes del registro sísmico: Este-Oeste (E), Norte-Sur (N) y Vertical (Z). En cada subpanel se resalta la detección del arribo de la onda P (onda primaria) en color cian y la detección de la onda S (onda secundaria) en color magenta, acompañados además de un espectrograma que indica el rango de frecuencias radiadas cuyo color indica la intensidad de la energía radiada, por ejemplo, los colores más claros indican mayor intensidad en la señal.



Eventos premonitores

El temblor de magnitud $M_w = 6.8$, ocurrido este miércoles 21 de julio a las 15:15 hora local, fue precedido por una secuencia sísmica premonitora conformada por al menos 22 eventos. Dicha secuencia inició 6 días antes con la ocurrencia de un temblor de magnitud $M_w = 6.2$, registrado el sábado 17 de Julio a las 14:56 hora local, cuyo epicentro se ubicó 40 km hacia el Sur del epicentro del sismo de este miércoles. La secuencia finaliza 40 horas antes de la ocurrencia del evento principal. La figura 10B) muestra la distribución espacio-temporal de ambas secuencias, desde el 15 de julio hasta las 18 horas del 22 de julio. La flecha de color rojo indica la dirección de propagación de los sismos premonitores, hacia el Norte, hasta alcanzar el área de ruptura del evento principal.

En la figura 12A) se muestra en detalle la separación entre la ocurrencia de sismos premonitores, generados hasta ~ 40 horas antes del sismo principal del miércoles y la posterior ocurrencia de réplicas. La velocidad de propagación de esta secuencia premonitora es de ~ 0.25 km/hr, con respecto al epicentro del sismo de $M_w=6.2$, ocurrido el sábado 17 de Julio a las 14:56 de la tarde, tal y como se puede observar en la figura 12B).

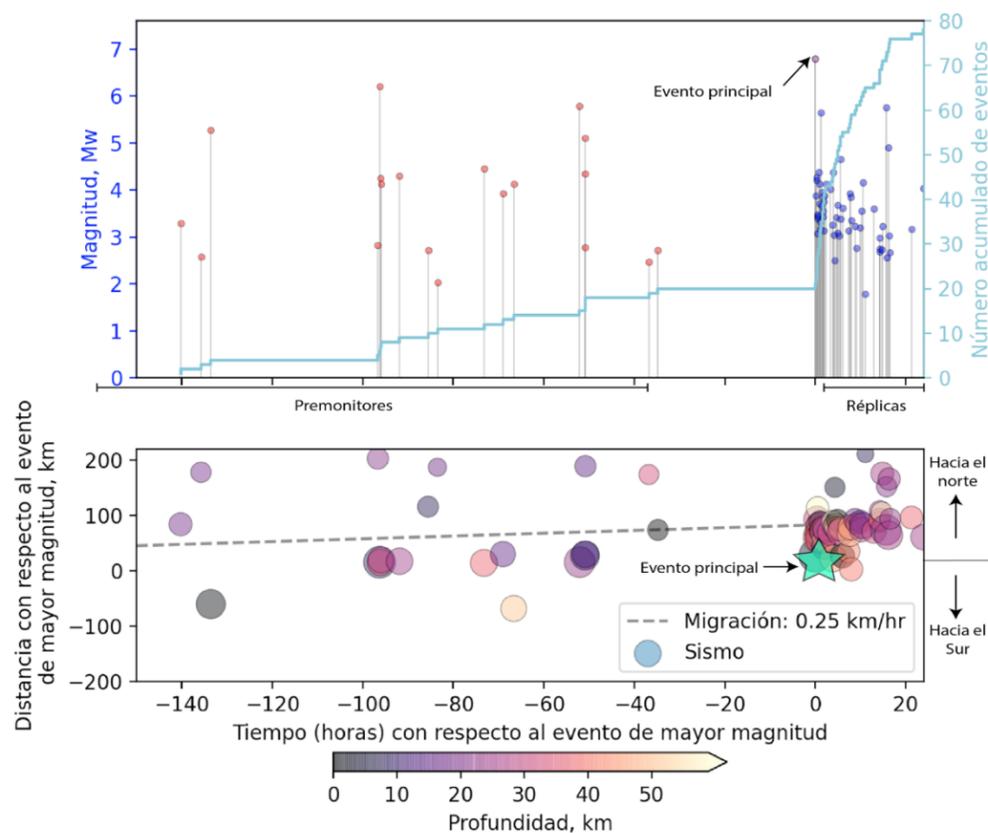


Figura 12. Evolución temporal de las secuencias sísmicas en la Zona de Fracturas de Panamá. En el panel superior A) se observa la cantidad acumulada de sismos en función del tiempo (línea de color azul) en conjunto con distribución de magnitud de los sismos premonitores (círculos en color rojo) y las réplicas del sismo de magnitud $M_w=6.8$ ocurrido el miércoles 21 de julio (círculos en color azul). En el panel B) se detalla la tasa de migración epicentral de la secuencia de sismos premonitores, de 0.32 km / hr hacia el área de ruptura del sismo principal de la secuencia.

Observaciones GNSS

El temblor principal del 21 de Julio fue detectado por los receptores de observación satelital GNSS (Global Navigation Satellite System) de la zona. A diferencia de los sismómetros, los equipos GNSS detectan la deformación del suelo asociada a la ocurrencia de los grandes temblores ($M_w > 5$) y su señal no se satura en el campo cercano (como sí ocurre con las estaciones sismológicas) debido al rango dinámico instrumental y la frecuencia de la señal registrada. Por lo tanto, las estaciones GNSS ofrecen un complemento ideal a los equipos de sismológicos.

Se procesaron los datos GNSS midiendo los satélites de las constelaciones GPS de los EE.UU. y GLONASS de Rusia con el servicio de Precise Point Positioning del Natural Resources Canada. El procesamiento calcula la posición en 3D, 5 veces por segundos (5 Hz) por cada sitio GNSS.

El sitio en la punta de la Península de Burica (estación PBUR) es la estación que registró los movimientos más importantes, con una oscilación hasta ~ 18 cm (Figura 13, gráfico abajo a la derecha). A 21:15:28 UTC (20 segundos después del evento), la onda P empujó la estación hacia el noreste (3 cm), luego, a la llegada de la onda S, la estación se desplazó de ~ 10 cm hacia el oeste (casi perpendicular a la dirección del evento).

Posteriormente, se observó una oscilación casi este-oeste con un periodo de 6 ± 1 s. Antes que la oscilación rota de casi 90° a las 21:16:17 UTC en la dirección del evento. Esta rotación o polarización de la onda podría ser el efecto de la onda de Love (Figura 4, flechas de magenta y azul perpendicular a las flechas verdes en el mapa). Esta segunda oscilación tuvo una amplitud máxima de ~ 12 cm. El temblor se sintió durante 2 minutos. Verticalmente, la oscilación alcanza un máximo de 5 cm.

En la estación de Caracol (estación CCOL, Figura 13), la onda P llega ~ 34 segundos después del tiempo de origen del sismo y empuja hacia el noreste. Luego la onda S generó un movimiento de 9 cm, hacia el oeste (casi perpendicular a la dirección del evento). La amplitud máxima de la oscilación fue de ~ 11 cm. Existe un tipo de polarización pero es más ruidoso que en PBUR. El temblor se sintió durante 1 minuto en este sitio.

En la punta sur-oeste de la península de Osa (estación PIRO), la onda P llegó a las 21:15:34 UTC (26 segundos después del evento) que empujó la estación hacia el norte de 2 cm, luego a la llegada de la S, 20 segundo después, la estación movió hacia el oeste con amplitud de ~ 6 cm. La oscilación ESE-ONO alcanzó una máxima de ~ 9 cm. A las 21:16:05 UTC la oscilación de casi 90° en un movimiento SSE-NNW. El temblor se sintió durante 1 minuto.

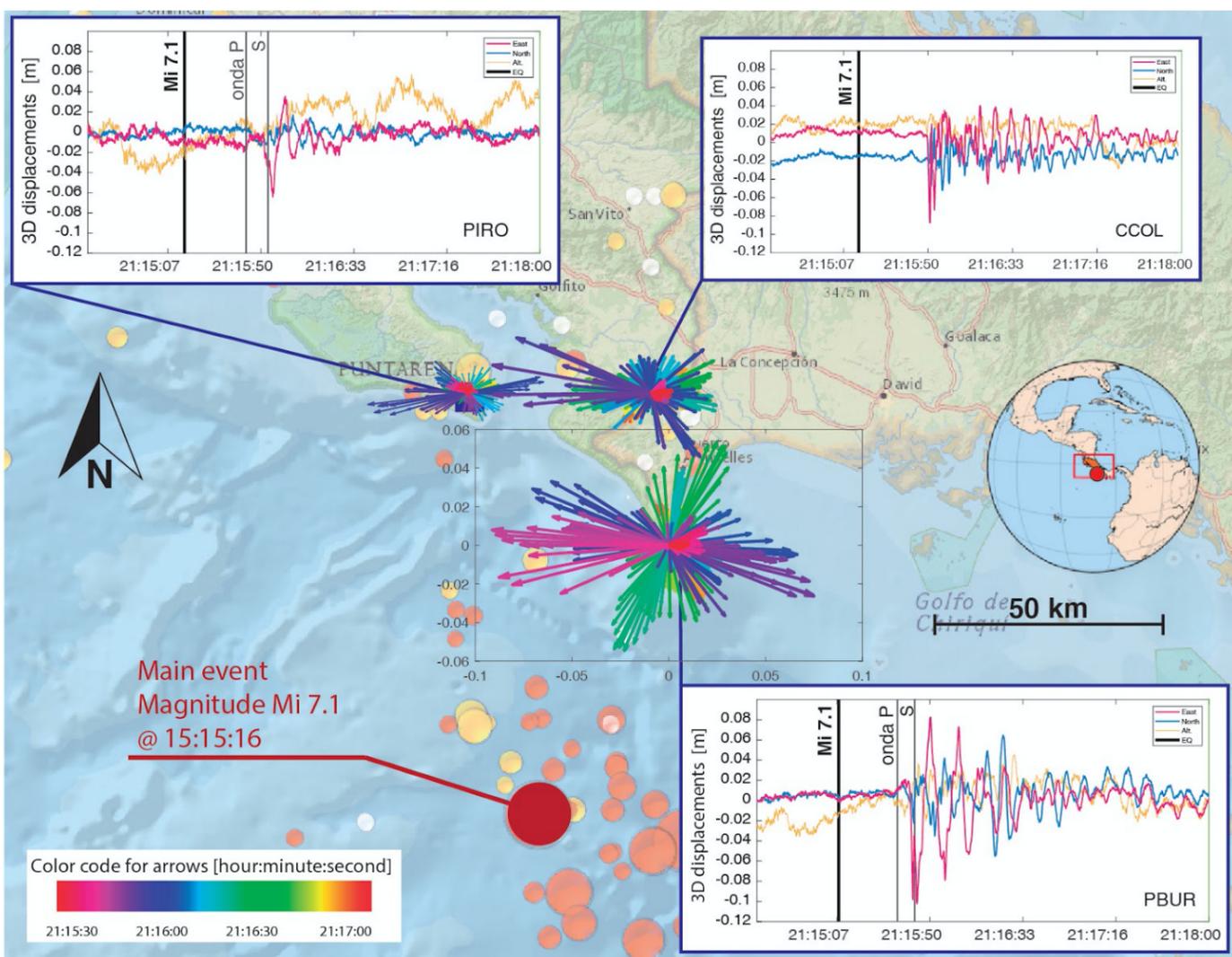


Figura 13. Movimientos registrados en las estaciones GNSS de PIRO, CCOL y PBUR. Los gráficos muestran los desplazamientos por las componentes este (magenta), norte (cian) y altura (anaranjado) entre 21:15 UTC (15:15 hora local) y 21:18 UTC. Las líneas verticales muestran el tiempo del evento principal (negrita) así como el tiempo de las llegadas de las ondas P y S en cada estación. En el mapa se muestra para cada estación los vector de desplazamiento 2D (las flechas de color) de los gráficos, los colores de los vectores son en función del tiempo (por ejemplo: 21:15:30 en rojo y 21:16:00 en azul, ver leyenda por más detalle).

Bibliografía

Abercrombie, E. R., Ekström, G. 2001. Earthquake Slip on oceanic transform faults. *Nature*. 410: 74-77.

Cleveland, M., Ammon, C. J. 2013. Precise relative earthquake location using surface waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 118: 2893-2904.

Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G., 2013: Atlas Tectónico de Costa Rica 2ª Edición. Editorial Universidad de Costa Rica.

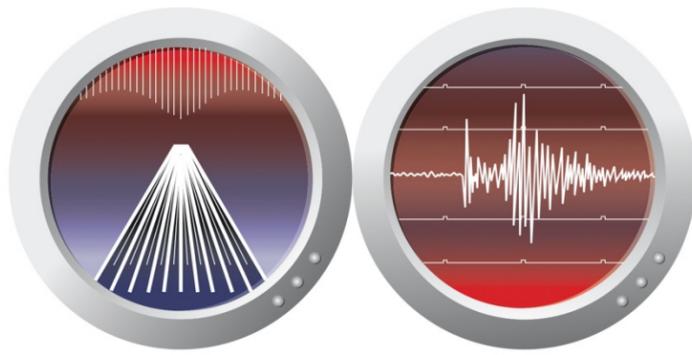
Montero, W., 2001: Neotectónica de la Región Central de Costa Rica: Frontera Oeste de la Microplaca de Panamá. *Rev. Geól. Amér. Central*, 24: 29-56.

Grim, P. 1970. Connection of the Panama Fracture Zone with the Galapagos Rift Zone, Eastern Tropical Pacific. *Marine Geophysical Researches*, 1: 85-90.

Montero, W., Barahona, M., Rojas, W. & Taylor, M. 2005: Los sistemas de falla Aguacaliente y Río Azul y relevos compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica. *Rev. Geól. Amér. Central*, 33: 7-27.

Molnar, P., Sykes, L. 1969: Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from Focal Mechanisms and Seismicity. *Geological Society of America Bulletin*, 80:1639-1684.

Ciencia para la sociedad...



OVSICORI-UNA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN OBSERVATORIO
VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE COSTA RICA

