

# Sismotectónica en Costa Rica

## OVSICORI Universidad Nacional

FEBRERO, 2022

### SISMICIDAD EN COSTA RICA

Un total de 960 sismos con un rango de magnitud momento sísmico entre 0,0 y 4,9 fueron registrados y localizados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA en el territorio nacional y hacia los bordes fronterizos con Nicaragua y Panamá durante el mes de febrero de 2022. De estos, 17 fueron reportados como sentidos por la población costarricense mediante las redes sociales del Observatorio en Facebook y Twitter. La información completa de los sismos sentidos, donde se incluye el tiempo de origen, así como su ubicación epicentral, se puede encontrar en la siguiente página web:

OVSICORI-UNA: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/sismos-sentidos>.

El día con más eventos localizados fue el 20, con un total de 59 sismos, mientras que el día con menos actividad sísmica fue el 26 con tan sólo 15 sismos (figura 1).

El crecimiento mensual en la cantidad de sismos se muestra en la curva roja de la figura 2. A pesar de que la sismicidad de fondo es dominante (incremento aproximadamente lineal), se destacan 3 secuencias de eventos que sobresalen (exhibiendo un incremento exponencial) y contribuyen significativamente al momento sísmico total generado durante el mes. Estas secuencias están temporalmente generadas durante y posterior a los días 16, 20 y 24 de febrero, coincidiendo con varios de los sismos sentidos descritos en la tabla 1.

En la figura 3 se puede observar la distribución espacial de la sismicidad, donde el tamaño y color de los círculos representa la magnitud y la profundidad de los eventos respectivamente. En el mapa, los eventos resaltados en color rojo corresponden con los sismos de mayor magnitud, para los cuales se presenta además, su mecanismo de ruptura (bola

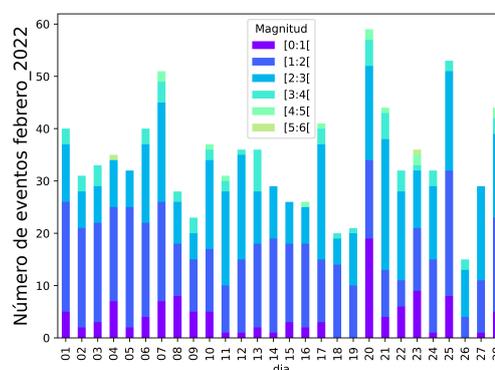


Figura 1: Conteo diario de los eventos localizados manualmente durante el mes de febrero del 2022.

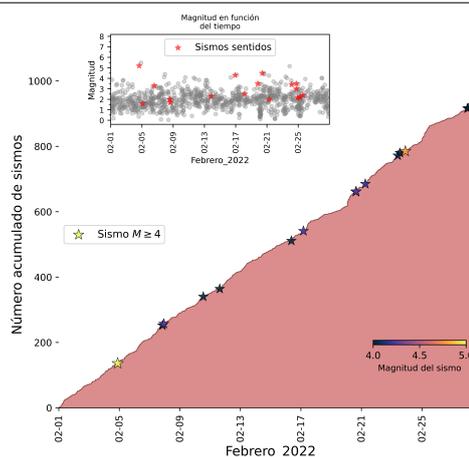
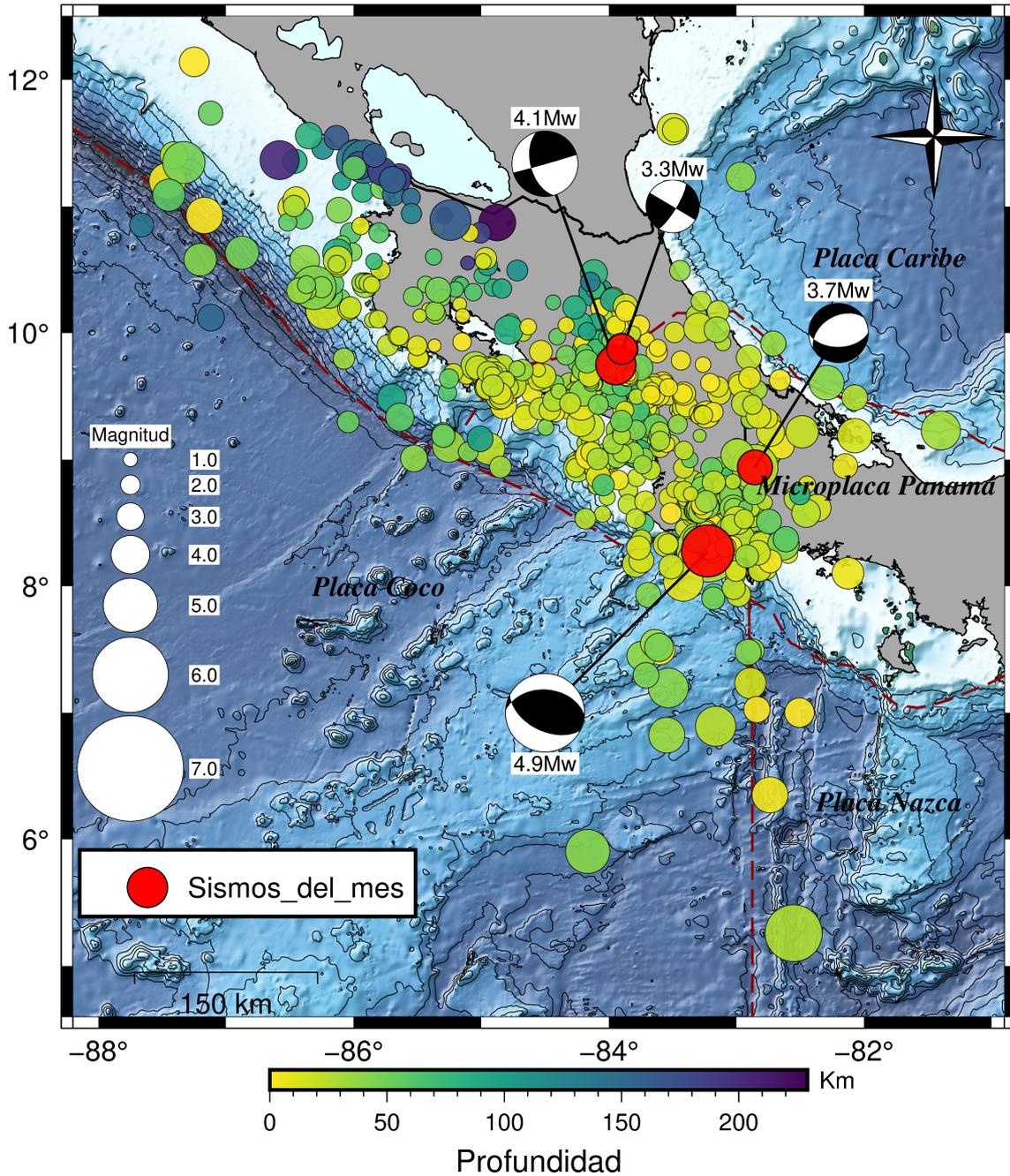


Figura 2: Cantidad acumulada de sismos (curva de color rojo) localizados manualmente por el personal del OVSICORI-UNA durante el mes de febrero del 2022. En la figura, las estrellas de color representan la ocurrencia de sismos con magnitudes mayores o iguales a 4,0, de acuerdo con la escala de colores que se observa en la parte inferior derecha. El panel superior muestra la distribución diaria de magnitudes correspondientes a la sismicidad del mes. En este, las estrellas de color rojo resaltan aquellos sismos que fueron sentidos por la población.



**Figura 3:** Mapa mostrando la distribución hipocentral de la sismicidad en Costa Rica durante el mes de febrero de 2021. El color y tamaño de los círculos representa la profundidad y magnitud de los sismos, respectivamente. Los eventos en color rojo corresponden con los sismos destacados del mes.

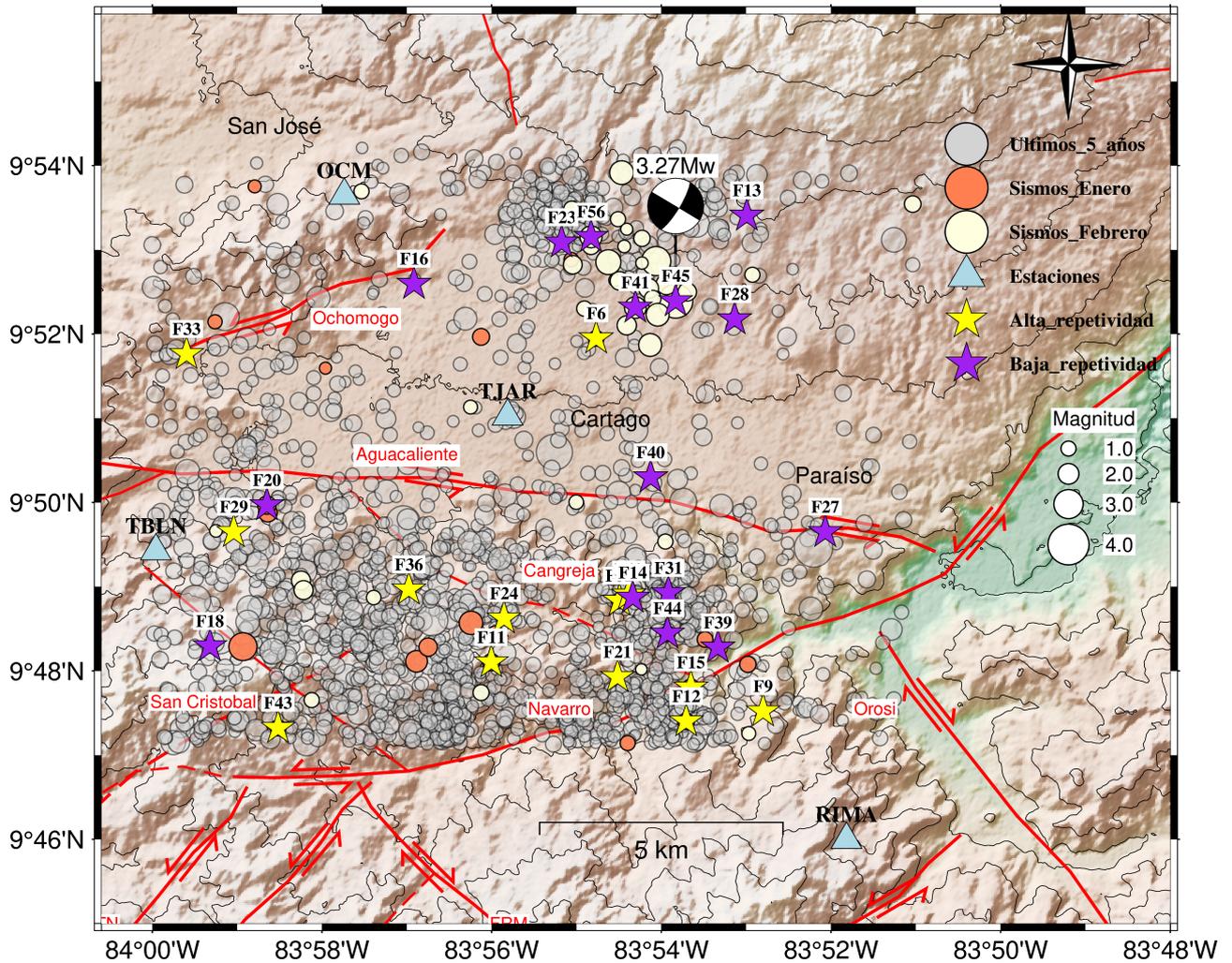
Fecha	H. Local	Latitud	Longitud	Prof (Km)	Mag ( $M_w$ )	strike/dip/rake1	strike/dip/rake2
2022-02-04	15 : 24 : 00	8,2792	-83,2249	27	4,9	117/52/105	272/37/70
2022-02-19	19 : 40 : 40	9,7482	-83,9447	15	4,1	74/89/144	165/54/1
2022-02-20	09 : 12 : 00	8,9391	-82,8547	24	3,7	89/51/-70	239/43/-113
2022-02-24	23 : 57 : 34	9,8732	-83,8972	1	3,3	301/90/168	31/78/0

**TABLA 1:** PARÁMETROS DE LA FUENTE SÍSMICA PARA LOS SISMOS DESTACADOS DEL MES DE FEBRERO

de playa), el cual representa la cinemática promedio del proceso de dislocación a lo largo de la falla causante (Ver tabla 1).

Durante este mes, el sismo sentido de mayor magnitud,  $M_w = 4,9$ , ocurrió el día 4 a las 00:04 am, hora local, y su epicentro se ubicó 16 km hacia el Suroeste de Pavones, en

el Pacífico Sur. Este sismo tuvo una profundidad de 27 km y fue sentido ampliamente en la zona Sur, con reportes de percepción leve en el Valle Central. De acuerdo con la ubicación espacial y su mecanismo de ruptura, este sismo se generó debido a la ruptura de una falla en el interior de la placa del Coco. Cinco días antes, hacia el suroeste de este sismo, comenzó un sismo lento en la interfaz Coco-Caribe (ver sección



**Figura 4:** Mapa con la distribución epicentral de la sismicidad en la Ciudad de Cartago y alrededores. En color gris se observan los sismos de los últimos 5 años, en color anaranjado los eventos localizados durante el mes de enero del 2022, y en amarillo los eventos localizados durante febrero del 2022. Las estrellas amarillas representan la ubicación de familias de sismos repetidos con alta repetitividad, mientras que las estrellas moradas representan la ubicación de familias de sismos repetidos con baja repetitividad.

3 de este documento).

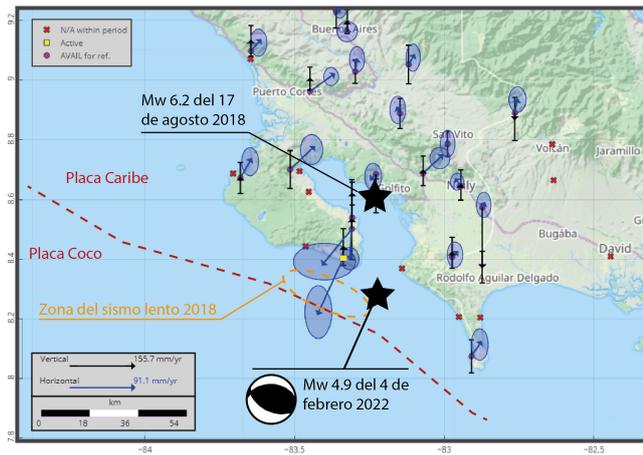
## SECUENCIA SÍSMICA EN LA PROVINCIA DE CARTAGO

Desde finales del mes de enero se generó una secuencia de microsismos (con magnitud menor o igual a 3), ubicados hacia el sur del cantón central de la provincia de Cartago, correspondiendo espacialmente con un alineamiento aproximadamente Sureste-Noroeste que concuerda con el rumbo y régimen de esfuerzos observado en el sistema de las fallas Cangreja, Aguacaliente y Navarro (ver figura 4). Posteriormente, durante el mes de febrero, decenas de sismos fueron generados hacia el Norte del cantón central de Cartago, como parte de un sistema de réplicas originadas por el sismo de magnitud 3,3,  $M_w$ , que ocurrió el día 24 a las 23 horas. Varios de estos eventos fueron percibidos por la población del cantón central de Cartago y localidades aledañas debido a la proximidad de la fuente sísmica con respecto a estas.

El contexto tectónico de la provincia de Cartago es complejo. Por ejemplo, hacia el sur de la provincia, la tectónica

está controlada por una serie de fallas geológicas que demarcan el límite oeste de la microplaca de Panamá, mientras que, hacia el Norte, existe la presencia de edificios volcánicos activos: Irazú y Turrialba. Específicamente en la región sur de la provincia de Cartago, se da la interacción entre las fallas San Cristóbal, Cangreja, Navarro y Agua Caliente, teniendo las dos últimas una geometría predominantemente sinistral y responsables de la alta tasa de sismicidad en la zona. Precisamente esta región corresponde con uno de los segmentos sísmicos más activos de la provincia, donde históricamente han ocurrido la mayor cantidad de sismos con magnitudes mayores o iguales a 3,0  $M_w$ .

En general, la sismicidad en esta sección del país se encuentra segmentada. Hacia el sur del cantón central, la sismicidad tiende a agruparse en dos cúmulos principales, los cuales son limitados hacia el Norte por la falla Aguacaliente y hacia el Sur por la Falla Navarro, tal y como puede observarse en el mapa de la figura 4. Hacia el norte del cantón de Cartago, es evidente una menor cantidad de microsismicidad con respecto a la región Sur, y es en esta zona donde ocurrió la secuencia en cascada originada por el sismo de magnitud 3,3  $M_w$  del 24 de febrero.

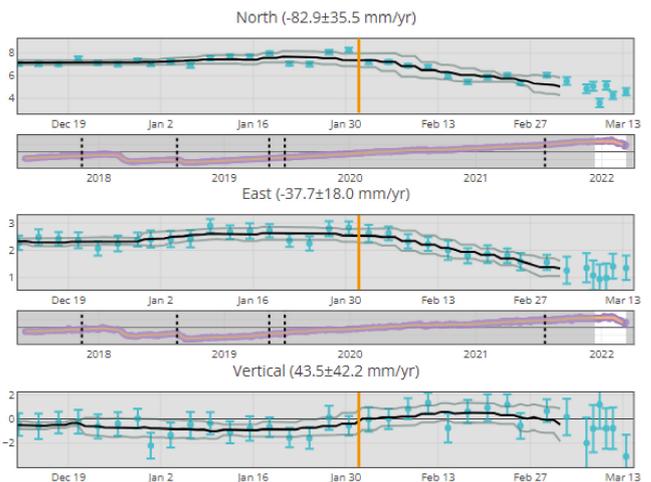


**Figura 5:** Mapa de las velocidades GPS de las estaciones del sur de Costa Rica. Los vectores azules y las elipses muestran las velocidades entre diciembre 2021 e inicio de Marzo 2022 y sus incertidumbres. Mientras que los vectores negros y las barras de errores muestran las velocidades verticales y sus incertidumbres por el mismo periodo. La línea roja discontinua muestra la trinchera entre la placa Coco y Caribe.

El mapa de la figura 4 muestra la distribución epicentral de la sismicidad de fondo ocurrida durante los últimos 5 años (círculos de color gris) en conjunto con la secuencia sísmica iniciada el 24 de febrero (círculos en color crema) y la ubicación de 28 familias de sismos repetidos (estrellas), encontradas principalmente durante los meses de enero y febrero de 2022 pero cuyos periodos de retorno son variables y logran extenderse hasta principios de 2018.

Los sismos repetidos son sismos que ocurren aproximadamente en el mismo segmento de falla durante periodos distintos. Múltiples estudios han demostrado que la ocurrencia de este tipo de sismicidad es realmente especial, pues denota la heterogeneidad en las propiedades mecánicas (y de fricción) de la roca a lo largo de la falla donde ocurren (Chaves et al., 2020). Las familias de sismos repetidos presentadas en el mapa de la figura 4 exhiben periodos de retorno distintos. Por ejemplo, del total de familias, 15 (en color morado) presentan la ruptura de sólo 2 eventos en los últimos 4 años, mientras que el restante (en color amarillo), cuenta con 3 o más rupturas en los últimos 4 años. La familia con la mayor cantidad de detecciones (menor periodo de retorno): un total de 16, es la familia 4, ubicada en el margen oriental de la falla Aguacaliente.

De manera que, la distribución espacial de las familias con sismos repetidos y sus respectivos periodos de recurrencia hacia el Norte y el Sur de la provincia de Cartago denota claramente la variabilidad geométrica, mecánica y de esfuerzos a los que están sometidas las fallas geológicas que componen la corteza superior en ambos segmentos. Mientras que hacia el norte del cantón de Cartago, existe menor sismicidad de fondo, muy pocos eventos con magnitudes mayores o iguales a  $3,0 M_w$  y familias de sismos repetidos con periodos de retorno muy largos (corteza mejor consolidada, poco fracturada, con baja heterogeneidad y con mayor capacidad de carga), hacia el sur de este cantón, existe una corteza altamente fracturada por la influencia del cinturón deformado del Centro de Costa Rica, lo cual genera: una alta tasa de sismicidad de fondo, una cantidad proporcionalmente mayor de sismos con magnitudes mayores o iguales a  $3,0 M_w$  y familias de sismos repetidos con la mayor repetitividad o bajos periodos de retorno (corteza debilitada, altamente estresada y altamente heterogénea).



**Figura 6:** Serie de tiempo en este norte y altura de la estación PIRO (cuadro amarillo en la fig 5). Cada punto cian muestra una solución entre 1 y 3 días, la línea negra y las líneas grises muestran un promedio sobre 20 días y su incertidumbre. Las líneas anaranjadas muestran el inicio del sismo lento.

midad de fondo, una cantidad proporcionalmente mayor de sismos con magnitudes mayores o iguales a  $3,0 M_w$  y familias de sismos repetidos con la mayor repetitividad o bajos periodos de retorno (corteza debilitada, altamente estresada y altamente heterogénea).

## SISMO LENTO EN EL SUR DE OSA

A partir del 30 de enero de 2022, comenzó un sismo lento en el sureste de la península de Osa (figura 5). Su inicio corresponde a cinco días antes del sismo de  $4,9 M_w$  registrado el 4 de febrero en la zona. El movimiento del sismo lento alcanza unos 4 centímetros en la estación de PIRO (el 14 de marzo) y 2 centímetros en la estación de Puerto Jiménez, sin embargo las series de tiempo no indican que el proceso ha finalizado (figura 6). No se detectaron efectos significativos de este sismo lento en otras estaciones de GPS, lo que indica una zona de deslizamiento superficial entre PIRO y la trinchera (figura 5).

Dos sismos lentos similares fueron detectados en marzo y en agosto de 2018. El primero duró un mes y tuvo una magnitud horizontal de 4,6 cm en la estación de PIRO. El segundo comenzó después del sismo de  $6,2 M_w$  del 17 de agosto 2018 en el golfo de Osa. Tuvo una duración de 3 semanas y alcanzó una magnitud de 2,5 cm. Los modelos de estos sismos lentos indican una zona de deslizamiento de superficie ( $< 4$  km) en la trinchera.

Aunque se requiere una modelización para confirmarlo, el sismo lento de febrero de 2022, parece tener las mismas características que los dos sismos lentos de 2018. Considerando que el sismo lento de agosto 2018 podría ser considerado como una réplica del sismo lento de marzo 2018 provocado por el sismo de  $6,2 M_w$  en el golfo de Osa, el tiempo entre el sismo lento de marzo de 2018 y de febrero 2022, alcanza los 4 años (47 meses).

## GLOSARIO

**Cinemática:** movimiento mecánico de los objetos, la cual es estudiada mediante conceptos físicos como velocidad y aceleración (Resnik et al., 2001).

**Epicentro:** Punto en la superficie ubicada directamente sobre el hipocentro (Tarbuck et al., 2005).

**Falla inversa:** falla en la que el bloque sobre la superficie de la falla se mueve hacia arriba.

**Falla normal:** falla en la que el bloque por encima de la superficie de la falla se mueve hacia abajo.

**Falla de rumbo sinistral:** falla, por lo general vertical, en la que un bloque se mueve hacia la izquierda con respecto al otro.

**Falla de rumbo dextral:** falla, por lo general vertical, en la que un bloque se mueve hacia la derecha con respecto al otro.

**Familia de sismos repetidos:** grupos de sismos ocurren aproximadamente en los mismos segmentos de fallas durante periodos distintos.

**Hipocentro:** Foco u origen bajo la superficie, a partir del cual inicia el movimiento de la falla, y la irradiación de energía de un sismo (Tarbuck et al., 2005).

**Magnitud Momento Sísmico:** Medición de la cantidad de momento sísmico liberado durante el sismo. Está basado en una escala logarítmica de momento sísmico, de manera que pueda ser comparada con otras escalas de magnitud (Tarbuck et al., 2005; Lay and Wallace, 1995).

**Mecanismos focales (Bola de playa):** Es una proyección estereográfica del plano de falla y el plano auxiliar de la falla, que representa las zonas donde ha habido compresión y dilatación, por lo que permiten determinar el mecanismo de ruptura de la falla durante el evento sísmico (Lay and Wallace, 1995).

**Momento Sísmico:** Energía liberada durante un sismo, calculado a partir del área de ruptura, rigidez de la roca y el desplazamiento promedio de la falla (Lay and Wallace, 1995).

**Sismo lento:** son deslizamientos lentos y asísmico, que pueden tener una duración de horas, días o meses. No generan ondas sísmicas y por tanto no pueden ser percibidos en superficie por la población.

**Strike/Dip/Rake:** Dirección de rumbo de la falla/ ángulo de buzamiento medido desde el plano vertical hacia abajo/ ángulo de deslizamiento del bloque superior de la falla con respecto al bloque inferior (Tarbuck et al., 2005).

**Trinchera:** En este caso se conoce como trinchera al valle linear submarino formado por el límite de dos placas tectónicas en una zona de subducción.

## REFERENCIAS

- Chaves, E., Schwartz, S., and Abercrombie, R. (2020). Repeating earthquakes record fault weakening and healing in areas of megathrust postseismic slip. *SCIENCE ADVANCES*, 6(32).
- Lay, T. and Wallace, T. (1995). *Modern global seismology. Academic Press, Estados Unido.*
- Resnik, R., Halliday, D., and Krane, K. (2001). *Física 1. Compañía Editorial Continental, México, 4.*
- Tarbuck, E., Lutgens, F., and Tasa, D. (2005). *Ciencias de la tierra, introducción a la geología física. Pearson Prentice Hall, 8.*