

# Sismotectónica en Costa Rica

## OVSICORI Universidad Nacional

BOLETÍN ANUAL, 2022

### ASPECTOS GENERALES SOBRE EL OVSICORI-UNA

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica de la Universidad Nacional (OVSICORI-UNA), inició sus funciones a inicios de 1984 con un total de 8 estaciones sismológicas instaladas tanto en volcanes como en otras zonas del país. En la actualidad, el OVSICORI-UNA opera una red geodinámica (estaciones sísmicas, acelerómetros y GNSS) de 201 instrumentos permanentes (Tabla 1) que se encuentran instalados en todo el territorio costarricense (Figura 1). Esta instrumentación, además, transmite datos en tiempo real hacia el centro de datos del Observatorio con el propósito de monitorear la actividad sismotectónica y la deformación cortical del país para alertar de manera expedita, tanto a la población nacional como a los organismos gubernamentales de primera respuesta, sobre la ocurrencia de algún evento importante como: temblores, terremotos o erupciones volcánicas, asociado con la geodinámica del interior de la Tierra. Cada uno de los instrumentos sismográficos registra el desplazamiento del suelo con una frecuencia de muestreo de 100 veces por segundo en 3 dimensiones espaciales: Vertical, Este-Oeste y Norte-Sur, generando datos en alta resolución. Similarmente, las estaciones GNSS registran de manera continua la tasa de deformación de la corteza superior. Esta instrumentación opera con una tasa de muestreo permanente de 0,066 Hz (15 s) y 5 Hz para el registro de temblores de gran magnitud.

Es gracias a la continua densificación de la red geodinámica, que los sistemas informáticos de alerta de temblores pueden, entre otras cosas, generar la ubicación hipocentral preliminar y la publicación de los eventos de manera automática en menos de 2 minutos en nuestras redes sociales de

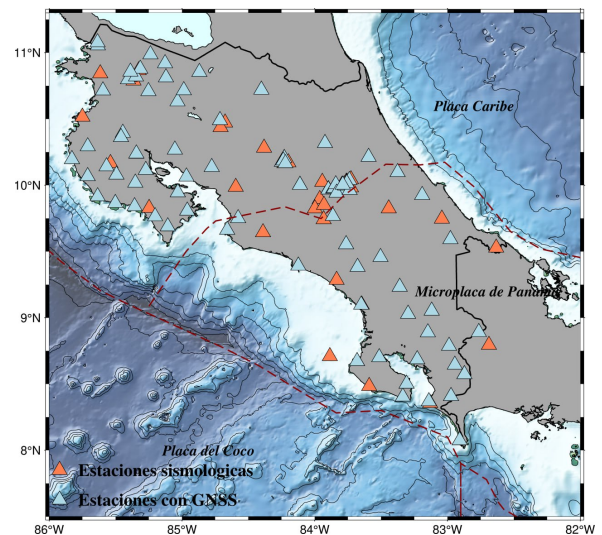


Figura 1: Mapa con la distribución de la red geodinámica que el OVSICORI-UNA opera en Costa Rica.

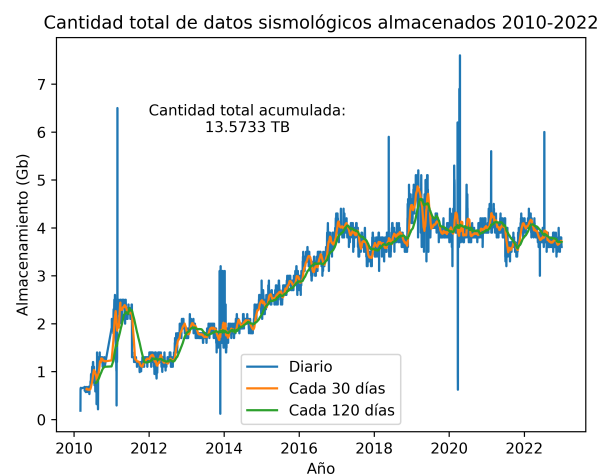
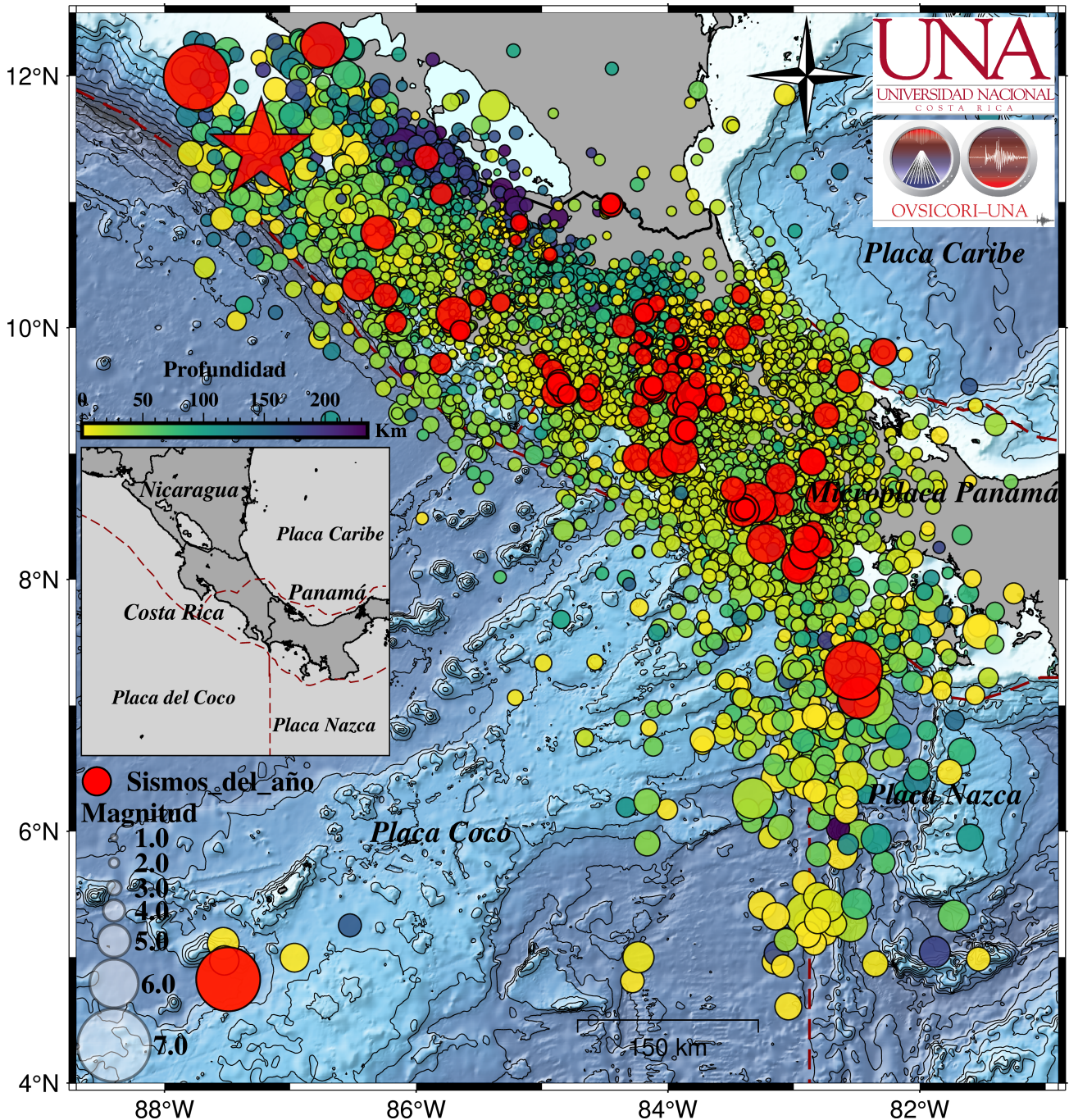


Figura 2: Cantidad de datos sismológicos almacenados en el OVSICORI-UNA durante el periodo 2010-2022.

Cantidad de Instrumentos	Código Instrumento	Descripción	Taza de muestreo (Hz)
94	HH	High Broadband and High gain	100
10	BH	Broadband and High gain	100
4	EH	Extremely Short Period / High gain	100
3	EN	Acelerómetros	100
90	GNSS	Deformación cortical	0,066/5

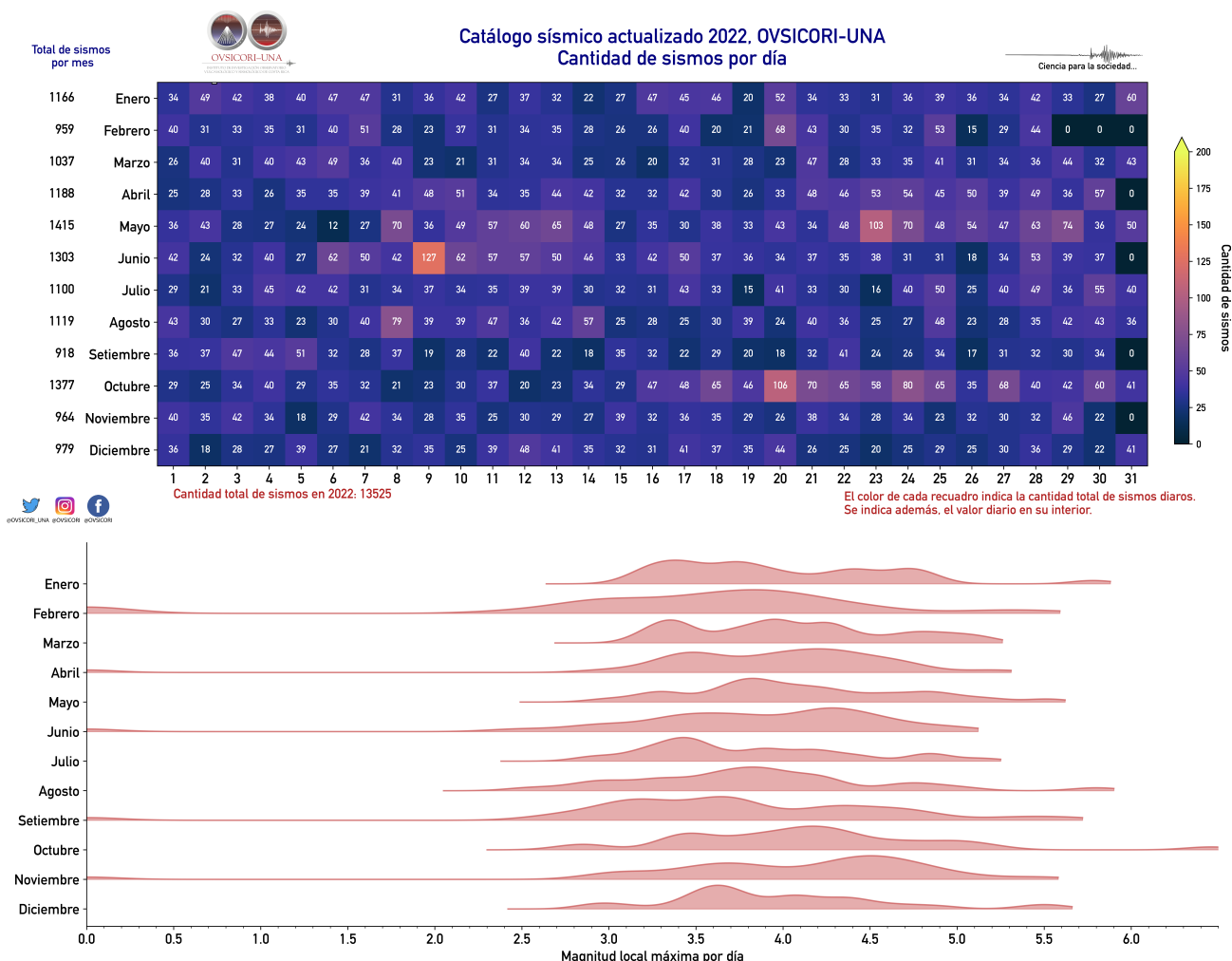
**Tabla 1:** Descripción de la red sísmica instrumental que opera el OVSICORI-UNA en el territorio nacional.



**Figura 3:** Mapa de Costa Rica mostrando la distribución espacial de los sismos registrados en Costa Rica durante el año 2022. 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 sentidos por la población.

Telegram, Facebook y Twitter. Todos estos eventos, sin excepción, son relocalizados y analizados por los expertos en sismología del Observatorio.

Desde el año 2010 y hasta el 31 de diciembre de 2022, poco más de 13 TB (Terabytes) de datos sísmológicos han sido almacenados en el centro de datos del Observatorio (Figura 2), los cuales son utilizados para cubrir las 3 grandes



**Figura 4:** El panel superior muestra la sismicidad mensual generada en Costa Rica durante el año 2022 y localizada por el OVSICORI-UNA. El panel inferior describe la distribución de la magnitud máxima diaria correspondiente con la sismicidad localizada.

áreas del quehacer sustantivo del Instituto: El monitoreo, la investigación y la extensión.

OVSICORI-UNA:

## INFORMACIÓN SÍSMICA GENERAL DURANTE EL 2022

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

Como parte del proceso de monitoreo permanente, durante el año 2022, un total de 13,525 sismos, con un rango de magnitud local (MI) de entre 0,02 y 6,75, fueron localizados por los expertos en sismología del OVSICORI-UNA. De estos, tan sólo 155 (1,13%) eventos fueron reportados como sentidos por la población costarricense mediante las redes sociales en Facebook y Twitter. De acuerdo con la cantidad anual de sismos del 2022, en promedio 37 sismos diarios fueron registrados en la red del ovsicori y en promedio cada 2,5 días un sismo fue reportado como sentido por la población costarricense.

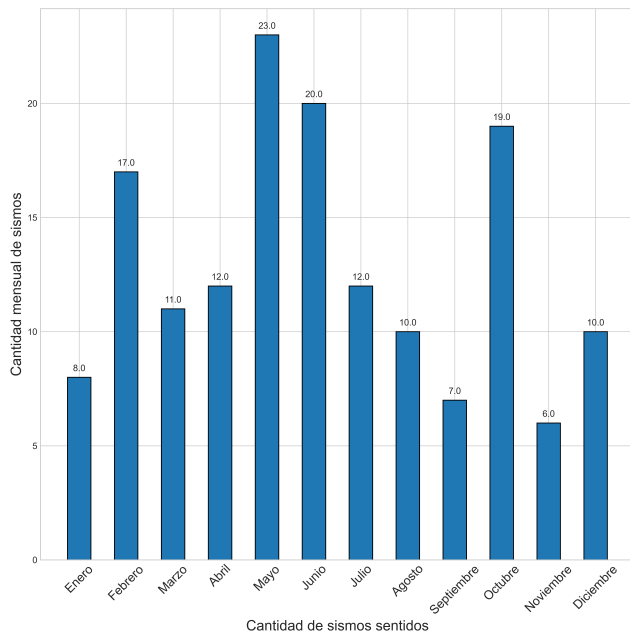
El mes con el mayor número de sismos localizados fue mayo, con un total de 1,415 eventos, mientras el mes con la menor cantidad de sismos localizados fue septiembre, en donde únicamente 918 eventos fueron localizados (Figura 4).

El día con la mayor cantidad de sismos fue el 9 de junio con un total de 127 eventos. Este aumento en la sismicidad se debió a la secuencia sísmica generada en las cercanías de San Isidro del General, en Pérez Zeledón. Por el contrario, el 6 de mayo resultó ser el día con la menor cantidad de sismos registrados, con tan solo 12 eventos (Figura 4).

El mapa de la Figura 3 muestra la distribución espacial de los sismos registrados durante el 2022, en donde los círculos en color rojo representan los sismos sentidos. El listado completo que incluye la ubicación, el tiempo de origen, la magnitud y la profundidad de los eventos sentidos, puede ser revisado de manera gratuita por medio de la página web del

El sismo de mayor magnitud se localizó el día 21 de abril, a la 1:42, hora local, con epicentro ubicado a 120 km hacia el suroeste de Managua, Nicaragua. Dicho evento tuvo una magnitud de 6.8 MI, y una profundidad de 25 km, correspondiente con un sismo interplaca Coco-Caribe, característico de la región (Estrella en la Figura 3).

La distribución mensual de sismos sentidos se muestra en el histograma de la Figura 5. En esta, se puede observar como los meses con mayor cantidad de sismos reportados como



**Figura 5:** Diagrama de barra del conteo mensual de sismos sentidos en Costa Rica durante el año 2022. Los meses de Mayo, Junio y Octubre destacan como los más activos del año.

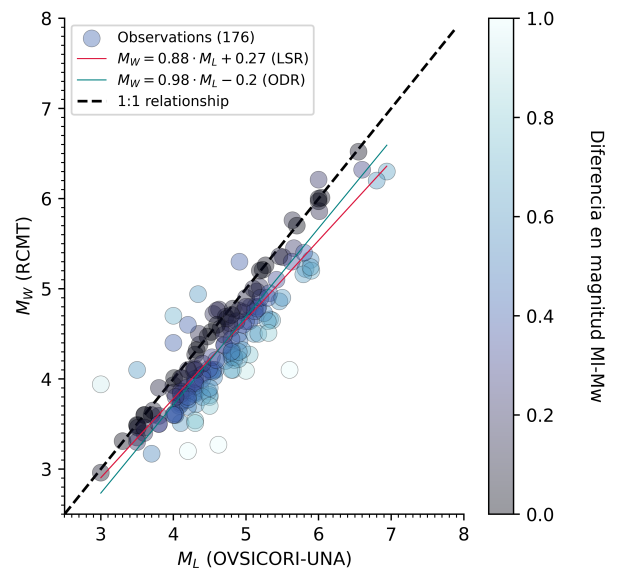
sentidos son mayo, junio y octubre, mientras que los meses con menor cantidad de eventos sentidos son enero, agosto y noviembre.

## CALIBRACIÓN DE LA MAGNITUD MOMENTO SÍSMICO PARA COSTA RICA UTILIZANDO LA INVERSIÓN REGIONAL Y LOCAL DEL TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO

La magnitud local ( $M_L$ ) es la principal escala de magnitud utilizada en Costa Rica para la caracterización (en primer orden) del tamaño de un terremoto. Su medición se basa en la amplitud máxima del registro de desplazamiento de las trazas en el dominio del tiempo. Generalmente, su cálculo es expedito, realizado ya sea, por los sistemas automáticos, o bien, por los expertos en sismología en el proceso de rutina y construcción del catálogo sísmico diario.

La magnitud de momento sísmico ( $M_w$ ), por el contrario, se deriva de la inversión de las formas de onda para obtener el tensor de momento, esta medida es más robusta o fiable con respecto al tamaño de la fuente sísmica, sin embargo, su cálculo es mucho más demandante. Debido a la saturación que sufre la escala local ( $M_L$ ) para terremotos de gran magnitud ( $7 \geq M_L$ ), la escala  $M_w$  fue introducida para reemplazar la  $M_L$  (Kanamori, 1977; Hanks Kanamori, 1977).

Desde finales de los años 70s, la relación empírica y teórica entre estas dos escalas de magnitud ha sido de gran interés en la comunidad sismológica, pues su comprensión está directamente relacionada con una mejor estimación del potencial y amenaza sísmica a lo largo de una falla y región particular.



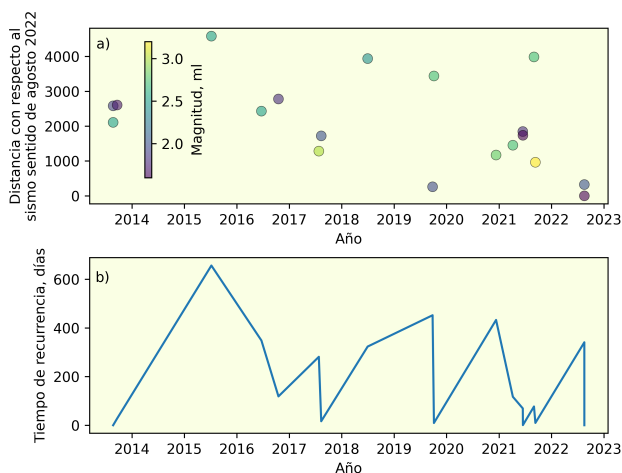
**Figura 6:** Calibración de la magnitud de momento sísmico ( $M_w$ ) para el catálogo sísmico del OVSICORI-UNA con base en la inversión regional y local del tensor de momento. En la figura, la línea punteada de color negro corresponde con la relación 1:1 entre ( $M_L$ ) y ( $M_w$ ). El color de cada círculo corresponde con la diferencia entre  $M_L$ , obtenida por el OVSICORI-UNA y la magnitud  $M_w$ , calculada mediante la inversión de formas de onda.

Utilizando una base de datos de 176 sismos con magnitud ( $M_L \geq 3,8$ ), ocurridos en el territorio costarricense, se calculó tanto la inversión del tensor de momento sísmico y  $M_w$ , como la relación empírica entre estas escalas de magnitud ( $M_L - M_w$ ), obteniéndose que:

$$M_w = 0,88 * M_L + 0,27$$

Tal y como puede verse en la Figura 6.

Bajo esta relación, la diferencia promedio  $M_L - M_w$  para Costa Rica es de  $0,3479 \pm 0,1154$ , mientras que la razón promedio  $M_L/M_w$  es de  $0,9343 \pm 0,0106$ , para el conjunto de datos analizados.



**Figura 7:** Distribución temporal de sismos sentidos en un radio de 5 km con respecto al epicentro del sismo del 17 de agosto de 2022, ubicado en la Fortuna de Bagaces, Guanacaste. Panel a) muestra la distancia relativa con respecto al tiempo en años desde 2014. Panel b) Muestra el tiempo de recurrencia en días, con respecto al tiempo desde 2014.

## ZONAS SÍSMICAMENTE MÁS ACTIVAS DEL PAÍS

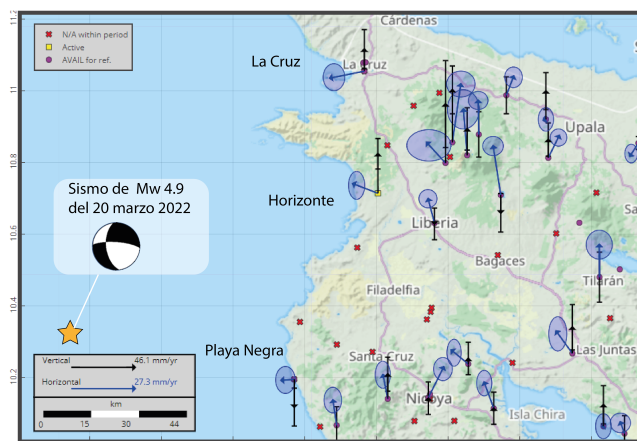
Diferenciadas tanto por su sismogénesis como por el nivel de actividad registrado, Costa Rica puede segmentarse en zonas sismogénicas. A continuación se presenta un resumen de la actividad sísmica más importante para cada una de estas zonas durante el año 2022.

### *Sismicidad en el Pacífico Norte*

El Pacífico norte, ubicado desde el sur de Nicaragua hasta la entrada del golfo de Nicoya. Es una zona donde la batimetría de la placa del Coco, se subduce bajo la placa Caribe, es relativamente más lisa que en el Pacífico Central y Sur. Es en esta zona donde se concentra la mayor cantidad de sismos de mayor magnitud, así como sismos lentos registrados. El material que se subduce por debajo de la plataforma continental se caracteriza por ser sedimentos poco consolidados y ricos en fluidos, lo que influye directamente en la generación de sismos lentos y tsunamis e.g. (Peacock et al., 2005; Satake, 1994).

Durante el mes de agosto se reportó un sismo sentido en la región de la Fortuna de Bagaces, en las cercanías del proyecto geotérmico Miravalles. Dicho evento tuvo una magnitud de 1,6  $M_L$ , y fue localizado el 17 de agosto a las 20:20, hora local, a 2 km de profundidad. En un análisis posterior de la sismicidad, se localizaron 19 sismos, con magnitudes de entre 1,5 y 3,2, en un radio de 5 km con respecto al evento del 17 de agosto. De acuerdo con el catálogo de sismos sentidos en la zona, el periodo de recurrencia de los sismos sentidos en la región se redujo en un 50%, pasando de un evento cada ~ 600 días entre 2014 y 2016 hasta uno o dos sismos cada ~ 300 días o menos en años más recientes (Figura 7).

Por otro lado, en el 2022, en el noroeste de Costa Rica,



**Figura 8:** Vectores de velocidades horizontales (azul) y los vectores verticales (negros) del norte de Costa Rica entre diciembre 2021 y abril 2022. Las elipses de confianza azules y las barras de error negras muestran las incertidumbres de los vectores horizontales y verticales, respectivamente. La estrella anaranjada muestra la posición del sismo del 20 de marzo de 2022.

se registro un sismo lento con un movimiento hacia el oeste (sub-perpendicular a la trinchera) que se observó desde final de 2020 hasta abril 2021, re-inicio progresivamente desde noviembre de 2021. Este movimiento fue particularmente visible en las estaciones GNSS de la costa como en La Cruz, Horizonte y Playa Negra (Figura 8). Este movimiento podría ser la expresión superficial de la actividad sísmica registrada costa fuera del norte de la península de Nicoya y del sur de Nicaragua. Para más detalles ver video (a partir de 0:33):

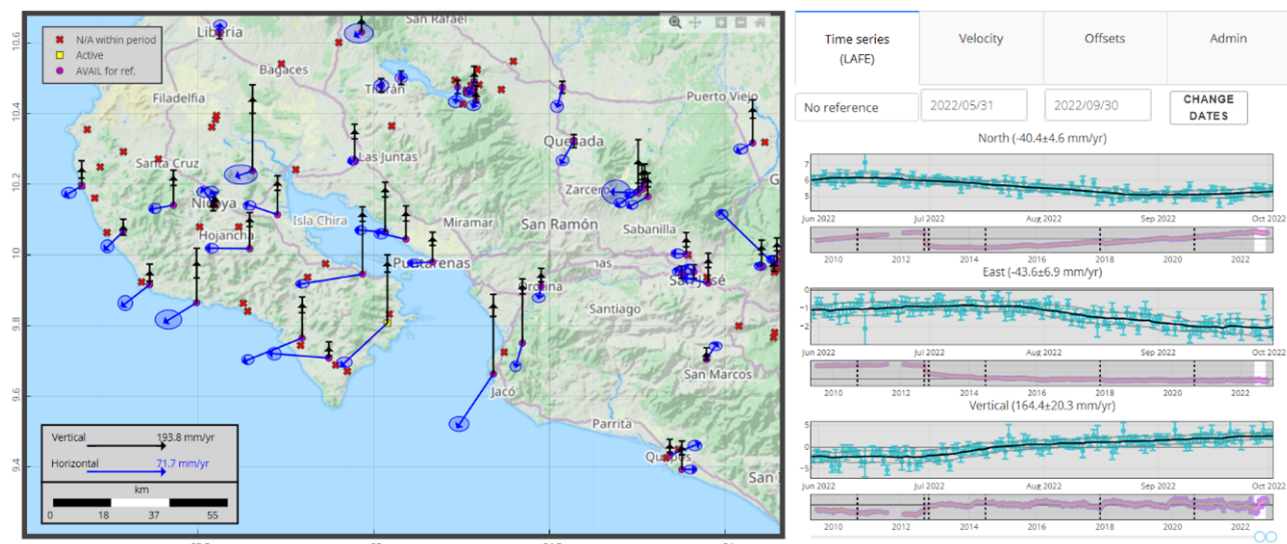
<https://youtu.be/1wLUnnXBDUg?t=12>.

Entre junio y agosto de 2022, se generó otro sismo lento, pero esta vez en la entrada del golfo de Nicoya y en la costa de la península de Nicoya (Figura 9). Los precedentes sismos lentos en esta zona tiene una ocurrencia de 22 +/-2.6 meses. Al inicio de enero, se detectó un muy pequeño sismo lento. En su momento, se pensó que era el sismo lento esperado, porque el tiempo de ocurrencia había vencido. Sin embargo, a partir de junio se registró un sismo lento de amplitud mucho mayor por debajo del Golfo de Nicoya. Eso sugiere que el sismo lento de enero fue una salida en falso. El gran sismo lento llegó 9 meses más tarde respecto al último (final 2019), además fue de magnitud mucho mayor, hasta 4 cm en vertical en Punta Indio (IND1). Para más detalles ver video (a partir de 1:04):

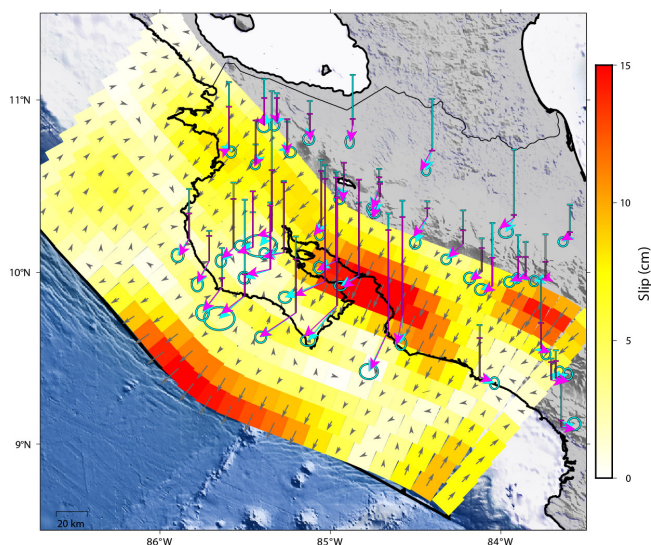
<https://youtu.be/1wLUnnXBDUg?t=12>.

El análisis de la serie de tiempo detecta que los vectores de las estaciones del Golfo (por ej. LAFE) primero apuntan hacia al sur y luego rotan hacia al oeste (Parte derecha de la Figura 9). Lo que indica una migración del deslizamiento en la interfaz.

Según los modelos, esta migración podría ser causada debido a que el sismo lento se registró en dos parches de sismo lento (Figura 10). El primer parche que se deslizó fue el parche por debajo del Golfo de Nicoya (~ 40 – 60 km de profundidad) con una magnitud del deslizamiento máximo de 20



**Figura 9:** Velocidades en las estaciones GNSS continuo del noreste de Costa Rica entre junio y septiembre 2022 y serie de tiempo de la estación LAFE (cuadro amarillo en el mapa).



**Figura 10:** modelización GTDef del sismo lento de junio-agosto 2022 usando un modelo realista de la interfaz de las placas Coco-Caribe. El deslizamiento (slip) es en dirección de la trinchera.

cm. Luego, el parche costa a fuera de la Península de Nicoya (profundidad 0-10 km) rompió con una magnitud máxima de 15 cm. Estos dos parches se han deslizado previamente como lo menciona Voss et al. (2018).

### *Sismicidad en el Pacífico Central*

Durante el 2022, se prestó especial interés a la sismicidad registrada en la zona de Perez Zeledón, debido a una serie de eventos registrados del 7 al 9 de junio, en el distrito de Los Ángeles. Un total de 70 eventos con magnitudes de entre 0 y 4,2  $M_w$ , con profundidades de entre 5 y 10 km fueron localizados. Del total de estos eventos 6 de ellos fueron sentidos por la población. La sismicidad en dicha zona está generada por fallas locales, fuertemente influenciadas por los efectos de subducción de la Cordillera del Coco, entre el Pacífico Central y el Pacífico Sur de Costa Rica.

A pesar del reconocido potencial de afectación sobre la carretera Interamericana y otras obras de infraestructura pública vitales para el país, esta zona de estudio, al noroeste de San Isidro de Perez Zeledón, hasta la fecha, ha sido poco estudiada.

### *Sismicidad en el Pacífico Sur y Zona de Fractura de Panamá*

Durante el mes de marzo, la sismicidad en la Península de Osa se caracterizó por el registro de un sismo lento, de 35 días de duración. Dicho evento inició el 30 de enero, y finalizó el 6 de marzo. El desplazamiento más importante fue registrado en la estación PIRO, con un movimiento de 33 mm hacia la trinchera, y un movimiento vertical de 10 mm (Figura 11). Después de este evento, el primero de mayo empezó un nuevo sismo lento que duró entre 15-20 días, con magnitud máxima registrada en PIRO de 35 mm en horizontal. Este segundo sismo generó un desplazamiento de hasta 2 cm en el noroeste de la península el cual fue registrado en las estaciones de PLAN, RIOS del OVSICORI-UNA. Por lo tanto, se estima que la zona de ruptura se extendió hacia el noroeste (Figura 11). Estos eventos son similares al registrado durante todo el mes de marzo del 2018, y que tuvo un desplazamiento máximo de 69 mm. Si se confirma que la zona de ruptura donde se originaron los sismos lentos del 2018 y 2022 es la misma, significa que esta región en particular tiene una tasa de recurrencia de 47 meses, aproximadamente. Sin embargo, se necesitan más “ciclos” o sismos lentos para poder establecer un periodo de recurrencia estadísticamente robusto. Para más detalles ver el video:

<https://youtu.be/7cjTlwMm5dI>.

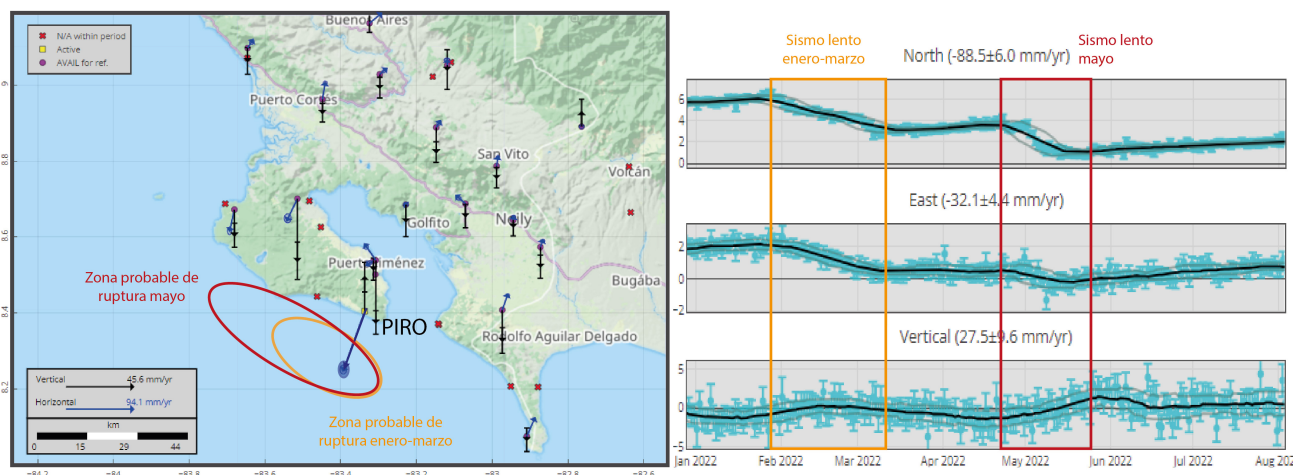


Figura 11: Sismos lentos del inicio de 2022 en Osa con zonas de rupturas por los dos eventos.

## Sismicidad en el Valle Central

Para el 2022, la sismicidad más importante registrada en el Valle Central, fue ubicada hacia el norte del cantón central de Cartago. Estos eventos fueron de baja magnitud, teniendo el evento principal una magnitud de 3,3  $M_w$ , ocurrido durante la tarde (5:57 pm, hora local) del 24 de febrero a 1 km de profundidad. La secuencia sísmica inició el día 21 de febrero con dos eventos premonitorios: el primero a las 6:42 am, hora local, con un evento de magnitud local 2,0, seguido de un microsismo con magnitud local de 0,5, ocurrido una hora más tarde. Dicha secuencia finalizó el día 25, y se contabilizaron un total de 29 eventos, varios de los cuales 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.

## Sismicidad en la región Caribe

Desde el mes de marzo y hasta finales del mes de mayo de 2022 se observan cambios estructurales en el cantón de Turrialba, localizados entre 1 - 5 km de profundidad. Estos cambios ocurrieron específicamente hacia el Noreste de Turrialba, en la zona que comprende el embalse de Reventazón (proyecto Angostura).

Para estudiar la zona, se midieron los cambios relativos en la velocidad de las ondas sísmicas, mediante la técnica de correlación de ruido sísmico ambiental. Dado que el ruido sísmico ambiental está compuesto principalmente por ondas superficiales y estas son susceptibles a variaciones en las condiciones de la roca (apertura o clausura de grietas o poros), o bien, a la presencia de regiones de baja permeabilidad y/o el movimiento de fluidos, los cambios observados durante estos meses anteriores pueden estar relacionados a un incremento transitorio en la presencia y movimiento de fluidos a través de grietas y poros. Gracias a este análisis, se pudo demostrar la presencia de sismos repetidos en el cantón de Turrialba.

## SISMICIDAD DURANTE EL MES DE DICIEMBRE, 2022

Para el mes de diciembre del 2022, se localizaron un total de 981 eventos, de los cuales 10 (1,02%) fueron reportados como sentidos por la población. El evento de mayor magnitud fue registrado el día 3, a las 15:02 hora local, a 2 km hacia el noroeste de Rincón de Osa. Tuvo una magnitud de 4.3  $M_w$ , y fue ubicado a 16 km de profundidad.

El día con mayor cantidad de sismos registrados fue el 12 de diciembre, con 48 eventos, mientras que el día con menor cantidad de eventos localizados fue el 2 de diciembre, con únicamente 19 eventos.

## AGRADECIMIENTOS

A John Bolaños, Christian Garita, Carlos Sánchez, Enrique Hernández y Antonio Mata, compañeros que conforman el grupo de Ingenieros y técnicos encargados del correcto funcionamiento de la red Geodinámica, así como del centro de datos del OVSICORI-UNA, muchas gracias! No tendríamos datos sin ustedes. Su trabajo es el pilar del Observatorio.

Floribeth Vega, Walter Jiménez y Carlos Sánchez. Muchas gracias por su trabajo, ustedes hacen un trabajo monumental manteniendo el catálogo sísmico al día. Es gracias a su trabajo que los sismólogos del OVSICORI-UNA pueden hacer ciencias para la sociedad Costarricense y el mundo entero, por medio del análisis riguroso científico que caracteriza al OVSICORI-UNA desde sus inicios en 1984.

Por último, un agradecimiento al grupo de científicos, sismólogos y geodestas que forman parte del grupo de sismología del OVSICORI-UNA, ellos son los encargados del análisis riguroso de los datos sísmicos y de GNSS. Muchas gracias al Dr. Marino Protti, Dr. Cyril Muller, Dr. Ronnie Quintero, M.Sc. Nathalie Chavarría, Dr. Estaban Chávez y Dra. Evelyn Núñez por la elaboración de figuras, comentarios, análisis y demás, que enriquecen el contenido mes a mes de estos boletines.

## GLOSARIO

**GNSS:** Sistema de navegación global por satélite (Global Navigation Satellite System).

**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).

**Ruido sísmico:** Radiación sísmica de fondo, generada por la interacción entre el océano y la corteza continental.

**Sismos lentos:** 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.

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

**Sismogénesis:** proceso físico de generación de eventos sísmicos y sus réplicas. Zona sismogénica: Región donde todos los sismos están relacionados a los mismos procesos físicos generadores de eventos.

## REFERENCIAS

- Lay, T. and Wallace, T. (1995). *Modern global seismology. Academic Press, Estados Unido.*
- Peacock, S., Keken, P., van Holloway, S., Hacker, B., Abers, G., and Ferguson, R. (2005). Thermal structure of the costa rica – nicaragua subduction zone. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 149(1-2):187–200.
- Satake, K. (1994). Mechanism of the 1992 nicaragua tsunami earthquake. *Geophysical Research Letters*, 21(23):1519–2522.
- Tarbuck, E., Lutgens, F., and Tasa, D. (2005). *Ciencias de la tierra, introducción a la geología física. Pearson Prentice Hall*, 8.
- Voss, N., Dixon, T., Liu, Z., Malservisi, R., Protti, M., and Schwartz, S. (2018). Do slow slip events trigger large and great megathrust earthquakes? *Science Advances*, 4(10).