

Sismotectónica en Costa Rica

OVSICORI Universidad Nacional

ABRIL, 2022

SISMICIDAD EN COSTA RICA

Durante el mes de abril de 2022, la red sismográfica del OVSICORI-UNA localizó un total de 1209 sismos con un rango de magnitud de momento sísmico (M_w) entre 0,0 y 6,2, ubicados tanto en el territorio nacional como hacia las regiones fronterizas con Nicaragua y Panamá. De estos, únicamente 12 (correspondiente con el $\sim 0,9\%$ del catálogo mensual) 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, la magnitud, la profundidad y su ubicación epicentral, se puede encontrar en la página web del Observatorio mediante el siguiente enlace:

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

La distribución espacial de la sismicidad durante abril se puede observar en el mapa de la figura 1. En este, el tamaño y color de los círculos representa la magnitud y la profundidad de los eventos respectivamente. Los círculos resaltados en color rojo corresponden con los sismos de mayor magnitud, o bien, los sismos del mes percibidos por la población (Tabla 1). Para algunos de estos sismos se presenta además, su mecanismo de ruptura (bola de playa), el cual representa la cinemática promedio del proceso de dislocación a lo largo de la falla causante.

Las regiones sísmicamente más activas durante el mes de abril son: el Pacífico Central, específicamente hacia la entrada del Golfo de Nicoya y la zona Sur, a lo largo de la península de Osa, el golfo Dulce y en los alrededores de Golfito.

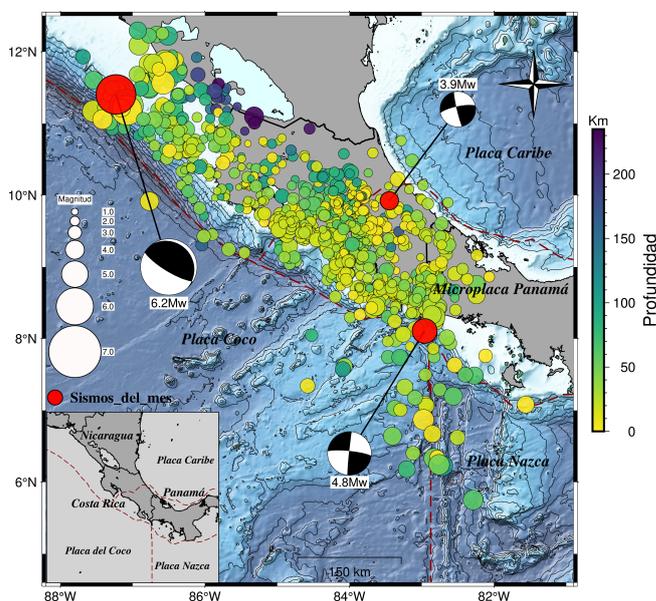


Figura 1: Mapa mostrando la distribución hipocentral de la sismicidad en Costa Rica durante el mes de abril de 2022. El color y tamaño de los círculos representa la profundidad y magnitud de los sismos, respectivamente. Los eventos con un mecanismo focal (o bola de playa) corresponden con los sismos destacados del mes, ya sea por su magnitud o por haber sido percibidos por la población. Estos eventos se describen en la tabla 1.

Por otra parte, tal y como puede apreciarse en el histograma de la figura 2, el día con la mayor cantidad de sismos fue el 21, con un total de 57 eventos, mientras que durante el día 1 se registró la menor cantidad de sismos, con tan sólo 25 eventos. El crecimiento mensual en la cantidad acumulada de sismos (figura 3) ha sido constante, de manera que, además de comportarse muy similar a lo observado en meses anteriores, explica cómo en Costa Rica el catálogo sísmico está dominado por sismicidad de fondo y no por secuencias de tipo cascada, donde existen sismos premonitores, un evento principal y una correspondiente secuencia de réplicas.

Fecha	H. Local	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag (M_w)	strike/dip/rake
2022-04-21	00:42:00	11,7229	-87,3799	25	6,2	323/14/111
2022-04-20	17:26:00	8,1071	-82,9594	22	4,8	276/81/2
2022-04-12	07:05:00	9,9226	-83,448	15	3,9	258/77/5

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

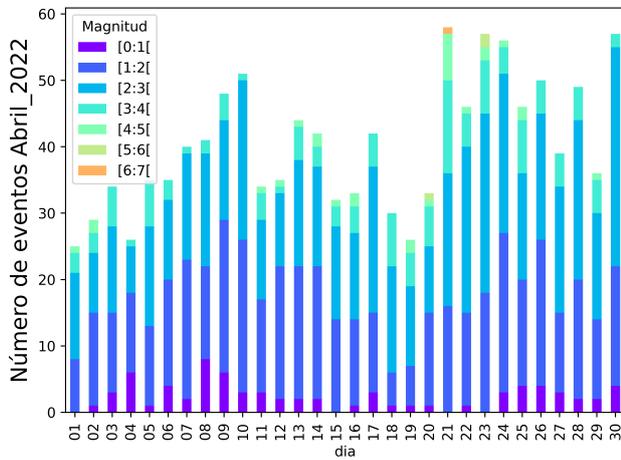


Figura 2: Conteo diario de la actividad sísmica en Costa Rica durante el mes de abril de 2022, localizada por el OVSICORI-UNA.

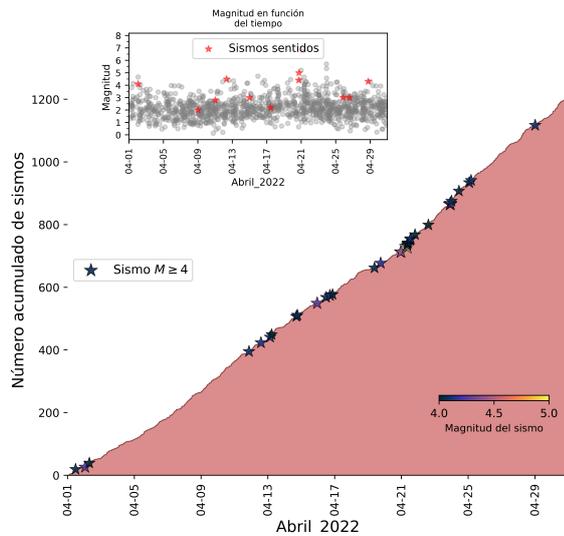


Figura 3: Cantidad acumulada de sismos (curva de color rojo) localizados manualmente por el personal del OVSICORI-UNA durante el mes de abril del 2022. En la figura, las estrellas de color representan la ocurrencia de sismos con magnitudes mayores o iguales a 4,0, de acuerdo con la escala de colores 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.

SISMO DE MAYOR MAGNITUD

Durante este mes, el sismo de mayor magnitud, $M_w = 6,2$, ocurrió el día 21 a las 00:42, hora local, con una profundidad de 25 km y su epicentro se ubicó a 120 km hacia el suroeste de Managua, frente a la costa Pacífica Nicaragüense. De acuerdo con los parámetros de la falla causante

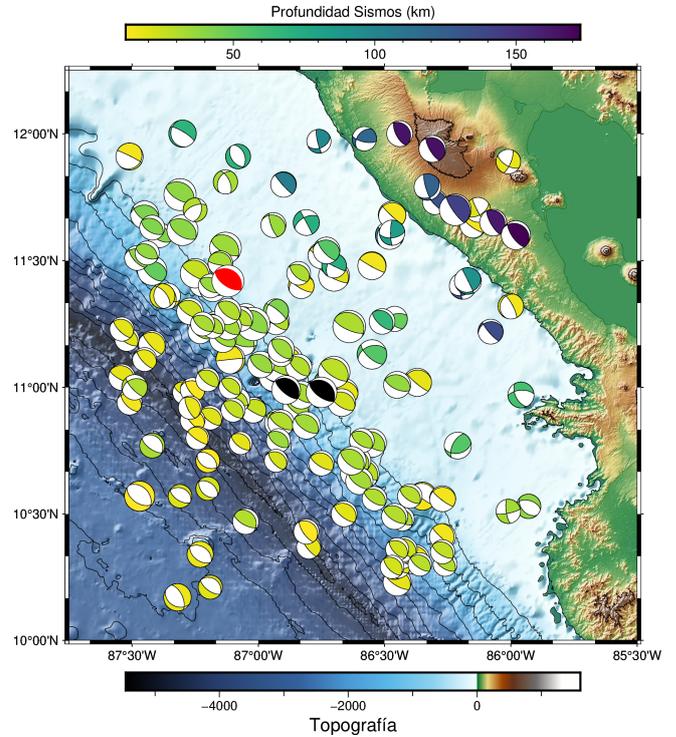


Figura 4: Mecanismos focales (bolas de playa) de los sismos ocurridos en la región del Pacífico Nicaragüense desde 1970 hasta finales de abril de 2022. En color rojo se muestra el sismo del 21 de abril, con magnitud 6,2, mientras que en color negro se resaltan los dos sismos ocurridos en noviembre del año 2021, posiblemente disparados por la ocurrencia de un sismo lento.

y la profundidad tanto del evento principal como de sus réplicas, se interpreta que la secuencia ocurrida el 21 de abril responde al proceso de subducción de la placa del Coco por debajo de la placa del Caribe. La figura 4 muestra la distribución espacial de sismicidad con magnitud mayor o igual a 4,5 que ha ocurrido en el pacífico nicaragüense desde 1970. Dicha sismicidad está representada en forma de mecanismos focales (similares a los presentados en la figura 1 para los sismos del mes), cuya geometría nos ayuda a comprender en su conjunto el estado y distribución de esfuerzos tectónicos a lo largo de esta región.

En esta región nicaragüense, la mayor contribución a la liberación de momento sísmico está dada por sismos con geometría inversa (figura 5). De acuerdo con su ubicación hipocentral y mecanismo de ruptura, estos eventos son generados a lo largo de la interfaz donde la placa del Coco se subduce por debajo de la placa del Caribe. El material que se subduce por debajo de la plataforma continental se caracteriza por ser sedimentos poco consolidados y ricos en fluidos, los cuales juegan un papel muy importante en la generación de sismos lentos y tsunamis e.g. (Peacock et al., 2005; Satake, 1994).

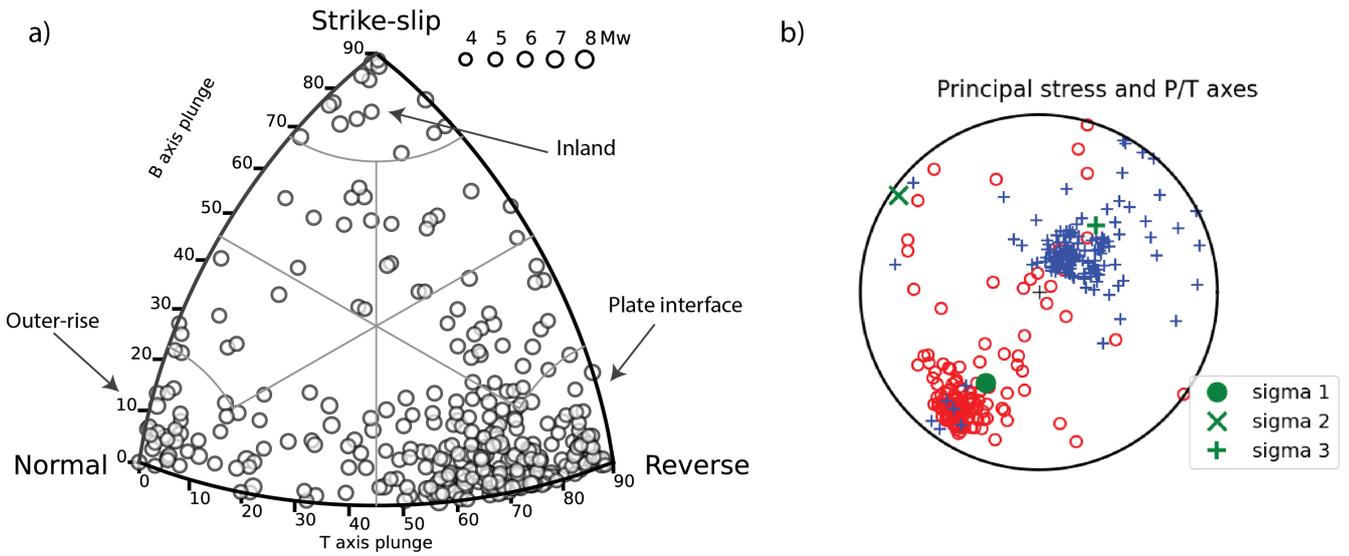


Figura 5: Clasificación e Inversión de esfuerzos tectónicos generados por la ocurrencia de sismos con una magnitud mayor o igual a 4,5 desde 1970 hasta el 30 de abril de 2022 frente a la costa pacífica nicaragüense. En el panel a) se muestra la clasificación de los eventos ocurridos en la región con base en su mecanismo de ruptura, ya sea: Strike-slip (corrimiento de rumbo), Reverse (inverso) y Normal. En el panel b) se muestra la distribución en la esfera focal de los ejes de tensión (azul) y presión (rojo) y los ejes de esfuerzos sigma1, sigma 2 y sigma 3.

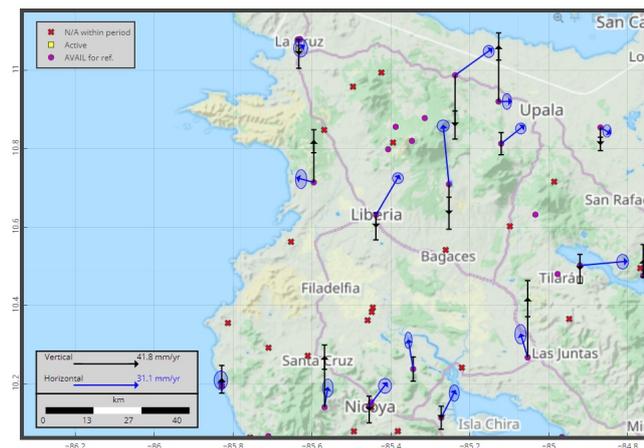


Figura 6: Vectores de velocidad horizontales (color azul) y los vectores verticales (negros) del norte de Costa Rica entre febrero 2022 y abril 2022. Las elipses de confianza en color azul y las barras de error en color negro muestran las incertidumbres de los vectores horizontales y verticales, respectivamente.

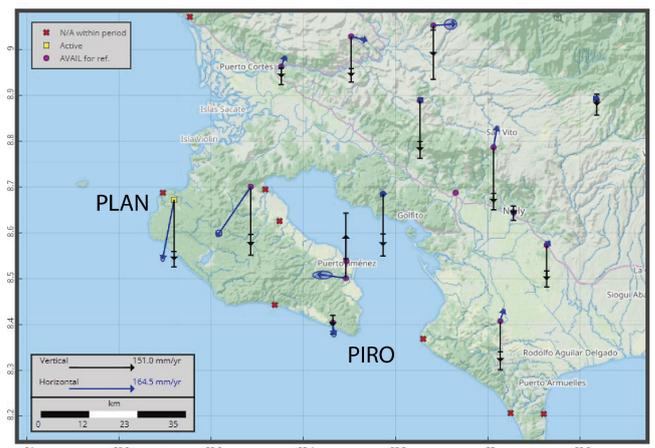


Figura 7: Mapa mostrando los vectores de velocidad en el sur de Costa Rica. Los vectores de velocidad horizontales (en color azul) y los vectores verticales (en color negro) de las estaciones GNSS ubicadas en las penínsulas de Osa y Burriaca entre marzo y abril de 2022. Los elipses de confianza azules y las barras de error negras resaltan la incertidumbre de los vectores horizontales y verticales, respectivamente.

DEFORMACIÓN DE LA CORTEZA SUPERIOR DE COSTA RICA

En el mes de abril, las observaciones de GNSS muestran como en la región norte, los sismos de la zona de subducción del sur de Nicaragua siguen perturbando el movimiento de la costa costarricense. Aunque en menor amplitud (figura 6). Por ejemplo, se puede observar que las estaciones en la costa pacífica tienen un movimiento casi nulo durante un periodo inter-sísmico donde normalmente se debería observar un movimiento hacia al norte. Al igual que los otros sitios visibles en la figura 6.

En la península de Osa se observa un nuevo sismo lento (SSE, por sus siglas en inglés). Al contrario del SSE ocurri-

do entre el 30 de enero y el 6 de marzo de 2022, este nuevo SSE parece afectar la totalidad de la península de Osa (Figura 7), con la particularidad de que el movimiento empezó en el norte de la península a mitad de abril y luego se propagó hacia el sur, alcanzando las estaciones GNSS ubicadas al sur de la península, aproximadamente el 2 de mayo de 2022. En las estaciones del norte, la amplitud del SSE es de aproximadamente 3 cm en dirección S-SE, la cual apunta hacia la trinchera mesoamericana. A la fecha de creación de este boletín, no se observa una desaceleración del evento, por lo que el OVSICORI-UNA mantendrá un monitoreo permanente del proceso, ya que múltiples estudios (por ejemplo: (Voss et al., 2018) han demostrado que los sismos lentos tienen la capaci-

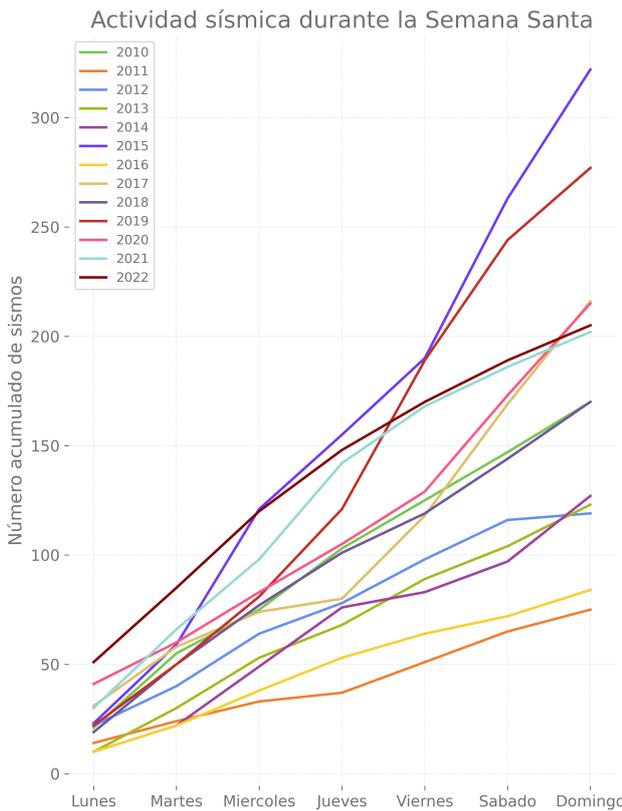


Figura 8: Número acumulado de sismos (líneas continuas) durante los días de Semana Santa (L-D) para los años 2010 al 2022. El color de cada línea corresponde con el año analizado, según la leyenda en la parte superior izquierda de la figura.

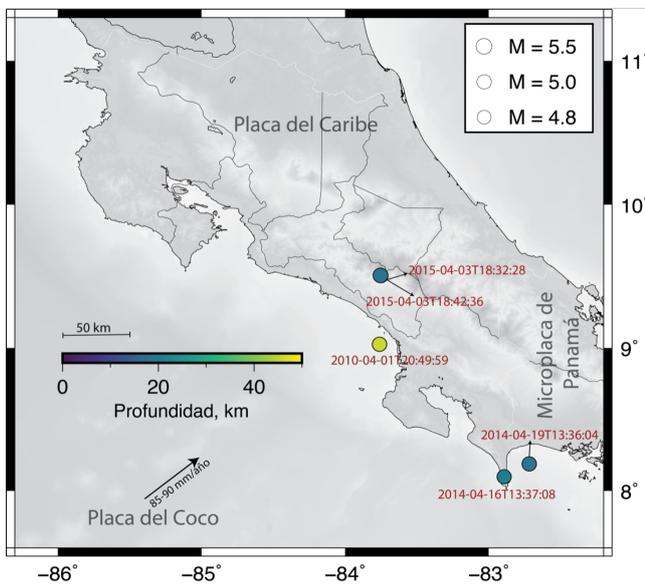


Figura 9: Mapa mostrando la distribución hipocentral de la actividad sísmica con magnitud mayor o igual a 4.8 (estrellas en la figura 1), generada durante la Semana Santa de los años 2010, 2014 y 2015.

dad de aumentar (o reducir) los esfuerzos de corte a lo largo de los márgenes de las regiones efectivas de contacto donde nuclean grandes terremotos, provocando una aceleración, o bien, retardo en la ocurrencia de estos grandes eventos.

¿OCURRE MÁS ACTIVIDAD SÍSMICA DURANTE LA SEMANA SANTA QUE DURANTE EL RESTO DEL AÑO?

Es particularmente durante la época de celebración de Semana Santa cuando se escucha con mayor frecuencia la conversación popular de la ocurrencia de un “inminente temblor”, haciendo referencia a un sismo de gran magnitud (o magnitud intermedia), que pueda ser percibido por la gran mayoría de la población costarricense. En general, el sentir común está asociado al clima y/o al registro anecdótico de familiares cercanos, entre otros aspectos que no tienen ningún tipo de relación espacio-temporal con los procesos geodinámicos (terremotos o erupciones volcánicas) en el interior de la Tierra.

Tradicionalmente, también, es debido a la ocurrencia del terremoto, $M_w=7.3$, del 2 de abril de 1983 (sábado santo) por debajo de la Península de Osa, o bien, el sismo de Tilarán ($M_s=6,5$) del 14 de abril de 1973, que comúnmente la población en general ha asociado la semana santa con la ocurrencia de actividad sísmica inusual o de un terremoto de gran magnitud.

El análisis del catálogo sísmico del OVSICORI-UNA permite determinar cuán productiva sísmicamente es la época de Semana Santa y cómo varía dicha productividad en el tiempo. Por ejemplo, la figura 8 muestra el número acumulado de sismos (líneas continuas) durante la época de Semana Santa de los años 2010 al 2022. Como puede observarse, la producción de temblores en el territorio costarricense ocurre al azar, no hay un orden cronológico que permita evidenciar un incremento o disminución en la tasa de ocurrencia de sismos relativa a la Semana Santa de otros años. La Semana Santa del año 2010 resultó ser sísmicamente más productiva que en el 2011, 2012, 2013, 2014 y 2016 (a pesar de que en los años posteriores al 2010 aumentó la densificación instrumental de la red sísmica en todo Costa Rica por parte del OVSICORI-UNA), pero menos productiva que los años 2015, 2017 y 2019.

¿SIEMPRE SE ANTICIPA UN SISMO DE GRAN MAGNITUD DURANTE SEMANA SANTA?

En 13 años de registro de la actividad sísmica en Costa Rica (2010-2022), tan sólo han ocurrido un total de 5 temblores con magnitud mayor o igual a 5,0 durante la Semana Santa. Estos eventos están distribuidos en 3 años de registro: 2010, 2014 y 2015. La figura 9 muestra la distribución hipocentral de estos eventos.

El sismo del 1 de abril de 2010, $M = 5,2$, ocurrió a lo largo de una falla en el interior de la placa del Coco, producto del doblamiento de esta en el proceso de subducción por debajo de la microplaca de Panamá. Este sismo fue reportado como sentido al OVSICORI-UNA por los pobladores del Valle

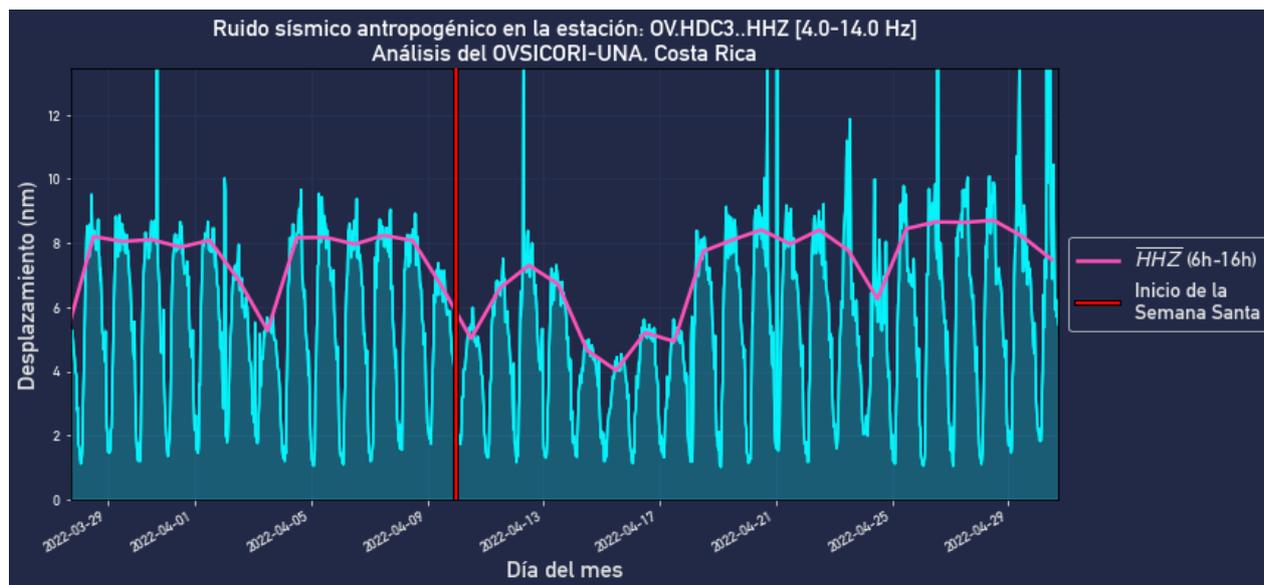


Figura 10: Cambios en el desplazamiento del suelo en función del tiempo desde el 28 de marzo hasta el 30 de abril de 2022 en el cantón de Heredia, Costa Rica. Las líneas de color celeste representan los cambios diarios en el desplazamiento vertical del suelo debido a la influencia antropogénica. La línea de color rosada indica el promedio diario calculado desde las 6 horas hasta las 16 horas. La línea vertical de color rojo sólido representa el inicio de la semana santa y de la migración de personas hacia las playas o lugares de descanso. En Heredia se observó una reducción de $\sim 4\text{nm}$ en la vibración vertical del suelo.

Central y la Zona Sur del país. Durante la Semana Santa del año 2014 y 2015, ocurrieron dos ejemplos claros de interacción sísmica (dos eventos comunicándose entre sí) mediante el campo de esfuerzos estático, conocido como cambio en el estado de esfuerzos de Coulomb.

En el primer caso, en 2014, dos eventos con magnitud, $M = 5,0$, ubicados hacia el Sureste del país, en la Península de Burica, ocurrieron con 3 días de separación, el primer evento ocurrió el miércoles 16 de abril a las 13:37:08, hora UTC, mientras que el segundo evento ocurrió el 19 de abril (sábado santo) a las 13:36:04, hora UTC. La deformación inducida en el medio, inmediatamente después de la ocurrencia del primer terremoto, es el mecanismo principal encargado de la generación o inhibición de más temblores a distancias no mayores al diámetro de la falla. El sismo del Sábado Santo del 2014 fue provocado por la ocurrencia del evento del Miércoles Santo. Ambos eventos corresponden con un deslizamiento o dislocación a lo largo de la interfaz, donde la placa de Nazca se subduce por debajo de la micropalaca de Panamá.

En la Semana Santa del 2015, un sismo con magnitud, $M = 4,9$, ocurrido el viernes 3 de abril a las 12:32:28, hora local, es el evento premonitor del sismo con magnitud, $M = 5,1$ que se generó 10 minutos después. Similarmente al ejemplo señalado anteriormente en el 2014, la deformación inicial de la falla, inducida por la ocurrencia del evento premonitor, es el mecanismo encargado del disparo del evento principal con magnitud $M = 5,1$. Ambos eventos están ubicados a 18 km de profundidad, a lo largo de una falla local.

Durante la Semana Santa del 2011, 2012, 2013, 2016, 2017, 2018 y 2019, 2020, 2021, y 2022, no ocurrieron sismos con magnitudes importantes ($M > 5,0$), contrario a la expectativa o sentir popular durante estas fechas, por lo que, no es correcto asociar un incremento en la actividad sísmi-

ca del país o bien, la ocurrencia de un terremoto con las fechas de Semana Santa. Los sismos son procesos que ocurren de manera aleatoria, cuya generación depende de las propiedades físicas del medio (geología), así como también de las condiciones de esfuerzos locales, sismicidad de fondo y de las propiedades mecánicas de la falla. Incrementos aparentes en la sismicidad, periodos de calma o terremotos pueden ocurrir en cualquier época del año y en cualquier parte del territorio costarricense.

CAMBIOS EN EL RUIDO ANTROPOGÉNICO DURANTE SEMANA SANTA 2022

El movimiento de miles de personas desde el Valle Central y alrededores hacia las playas y otros lugares de descanso, así como la reducción en las distintas actividades socioeconómicas e industriales durante la recién celebrada Semana Santa, provocó un cambio notorio en la vibración del suelo en diferentes partes del país, con deformaciones verticales que van desde 1 hasta 200 nm (nanómetros). Estos cambios se muestran, por ejemplo, en las figuras 10, 11 y 12 para el cantón central de Heredia, Quepos, Puntarenas y Playa Negra en Guanacaste, respectivamente.

La reducción en la movilidad urbana dentro del Valle Central durante el periodo de Semana Santa concuerda con una disminución en la amplitud máxima de la vibración vertical del suelo. Un ejemplo particular de esto se observa en el registro del sismógrafo que el OVSICORI-UNA opera en el cantón central de la provincia de Heredia (figura 10), en el cual se observa una disminución de hasta 4 nm.

En contraste, la movilidad antropogénica hacia las costas generó un incremento en la deformación vertical del suelo de

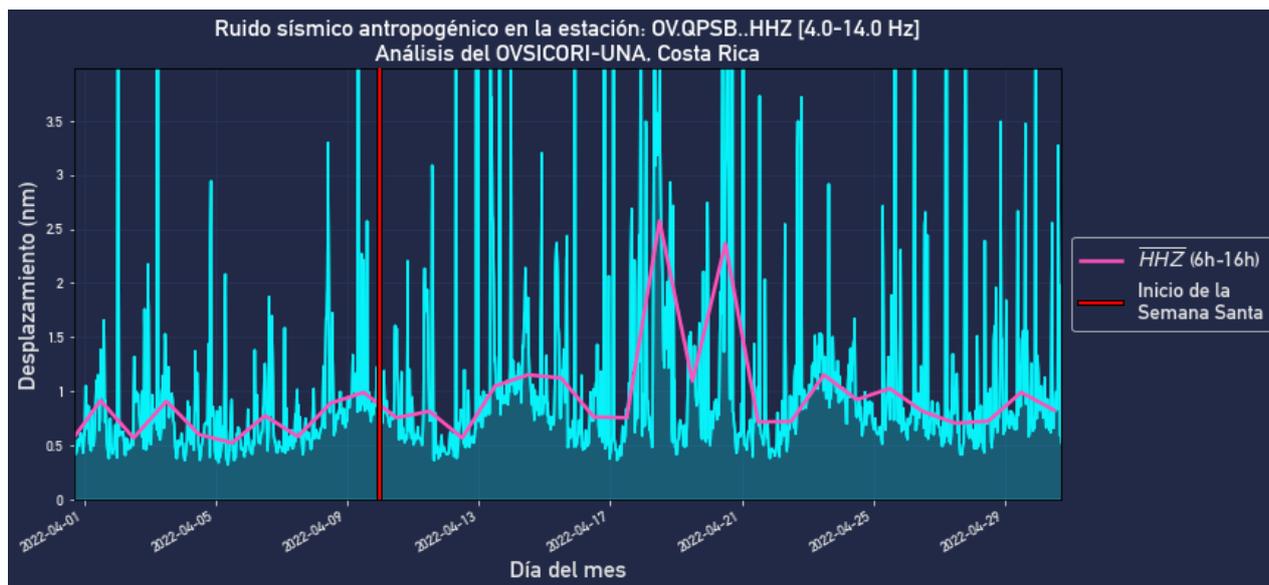


Figura 11: Cambios en el desplazamiento del suelo en función del tiempo desde el 28 de marzo hasta el 30 de abril de 2022 en el cantón de Quepos, de la provincia de Puntarenas, Costa Rica. Las líneas de color celeste representan los cambios diarios en el desplazamiento vertical del suelo debido a la influencia antropogénica. La línea de color rosada indica el promedio diario calculado desde las 6 horas hasta las 16 horas. La línea vertical de color rojo sólido representa el inicio de la semana santa y de la migración de personas hacia las playas o lugares de descanso. En Quepos se observó un incremento de $\sim 24nm$ en la vibración vertical del suelo durante los días 17 al 20 de abril.

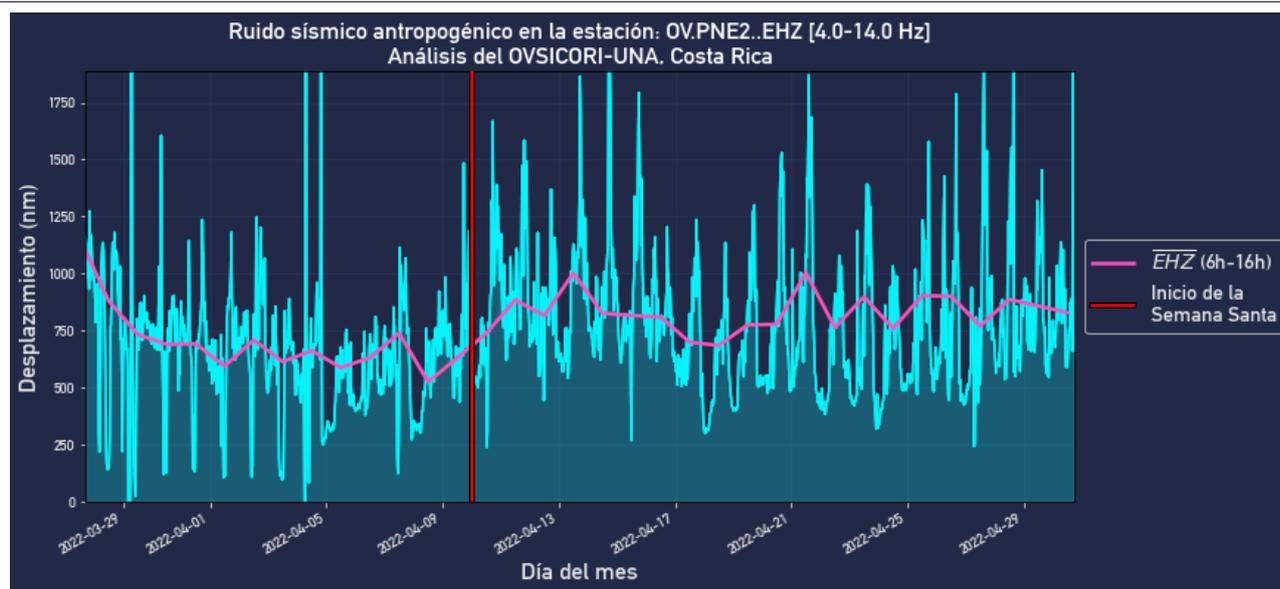


Figura 12: Cambios en el desplazamiento del suelo en función del tiempo desde el 28 de marzo hasta el 30 de abril de 2022 en Playa Negra, Guanacaste, Costa Rica. Las líneas de color celeste representan los cambios diarios en el desplazamiento vertical del suelo debido a la influencia antropogénica. La línea de color rosada indica el promedio diario calculado desde las 6 horas hasta las 16 horas. La línea vertical de color rojo sólido representa el inicio de la semana santa y de la migración de personas hacia las playas o lugares de descanso. En Playa negra se observó un incremento máximo de $\sim 250nm$ en la vibración vertical del suelo durante los días 10 al 16 de abril.

aproximadamente 24 nm en el cantón de Quepos, Puntarenas y de hasta 200 nm en Playa Negra, Guanacaste (figuras 11 y 12).

de la actividad socioeconómica alrededor de todo el mundo, gracias al COVID-19 (Lecocq et al., 2020).

Estos cambios transitorios en la dinámica antropogénica sobre la Tierra sólida (que son registrados en las estaciones sismológicas del OVSICORI-UNA) influyen directamente en la amplitud y frecuencia de la vibración terrestre, principalmente a lo largo de las estructuras más superficiales de la corteza, tal y como se observó hace 2 años, durante los periodos más estrictos de confinamiento social y de reducción

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

- Lay, T. and Wallace, T. (1995). *Modern global seismology. Academic Press, Estados Unido.*
- Lecocq, T., Hicks, S., Van Noten, K., van Wijk, K., Koelemeijer, P., De Plaen, R., Massin, F., Hillers, G., Anthony, R., Apoloner, M., Arroyo-Solórzano, M., Assink, J., Büyükkapınar, P., Cannata, A., Cannavo, F., Carrasco, S., Caudron, C., Chaves, E., Cornwell, D., and Xiao, H. (2020). Global quieting of high-frequency seismic noise due to covid-19 pandemic lockdown measures. *SCIEN-CE.*
- 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.
- Resnik, R., Halliday, D., and Krane, K. (2001). *Física 1. Compañía Editorial Continental, México, 4.*
- 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).