



Informe anual 2023 de actividad sismotectónica en Costa Rica

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica
OVSICORI, Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

Resumen general de la actividad sísmica

Durante el año 2023, un total de 13,494 temblores con magnitud entre 0,0 y 6,8 fueron localizados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA, tanto dentro del territorio nacional como en las regiones fronterizas con los países vecinos de Nicaragua y Panamá. Durante este año, el día sísmicamente más activo fue el 21 de octubre, con un total de 167 sismos, mientras que el día con la menor cantidad de sismos localizados fue el 24 de diciembre, con un total de 9 temblores. La distribución espacial de la sismicidad durante el 2023 se muestra en el mapa de la Figura 1. En este mapa, el tamaño y el color de los círculos representa la magnitud y profundidad de los sismos, respectivamente.

Los temblores de mayor magnitud ocurrieron en 3 regiones principales: a) El Pacífico Sur, a lo largo de la zona de fracturas de Panamá. b) El Pacífico Central, frente a la costa de Dominical y, c) en la región sur de la zona de subducción nicaragüense (hacia el noroeste del Golfo de Papagayo). La tabla 1 presenta la lista con los 5 sismos de mayor magnitud registrados durante ese año.

Tabla 1. Lista con los 5 eventos sísmicos de mayor magnitud durante el 2023. El tiempo de ocurrencia de los eventos se muestra en formato UTC.

Tiempo de origen (UTC)	Latitud	Longitud	Profundidad (km)	Magnitud
2023-04-04 22:18:09	7,2322	-82.5000	49,25	6,78
2023-08-03 01:25:16	5,4440	-82,7794	25,00	6,33
2023-07-19 00:22:30	11,5560	-86,7339	66,59	6,27
2023-03-21 01:44:12	9,2479	-84,2211	23,89	5,62
2023-05-17 23:03:02	12,1513	-87,0099	163,48	5,62

En Costa Rica, las 5 regiones sísmicamente más activas durante el 2023 fueron (en orden de mayor a menor):

1. Región central: Santa María de Dota y San Marcos de Tarrazú,
2. Región Central: San Rafael y San Isidro de Heredia,
- 3) Pacífico Central: Frente a las costas de Quepos y Uvita de Puntarenas, Zona Sur: Pérez Zeledón y
- 5) Pacífico Central: Garabito de Puntarenas.

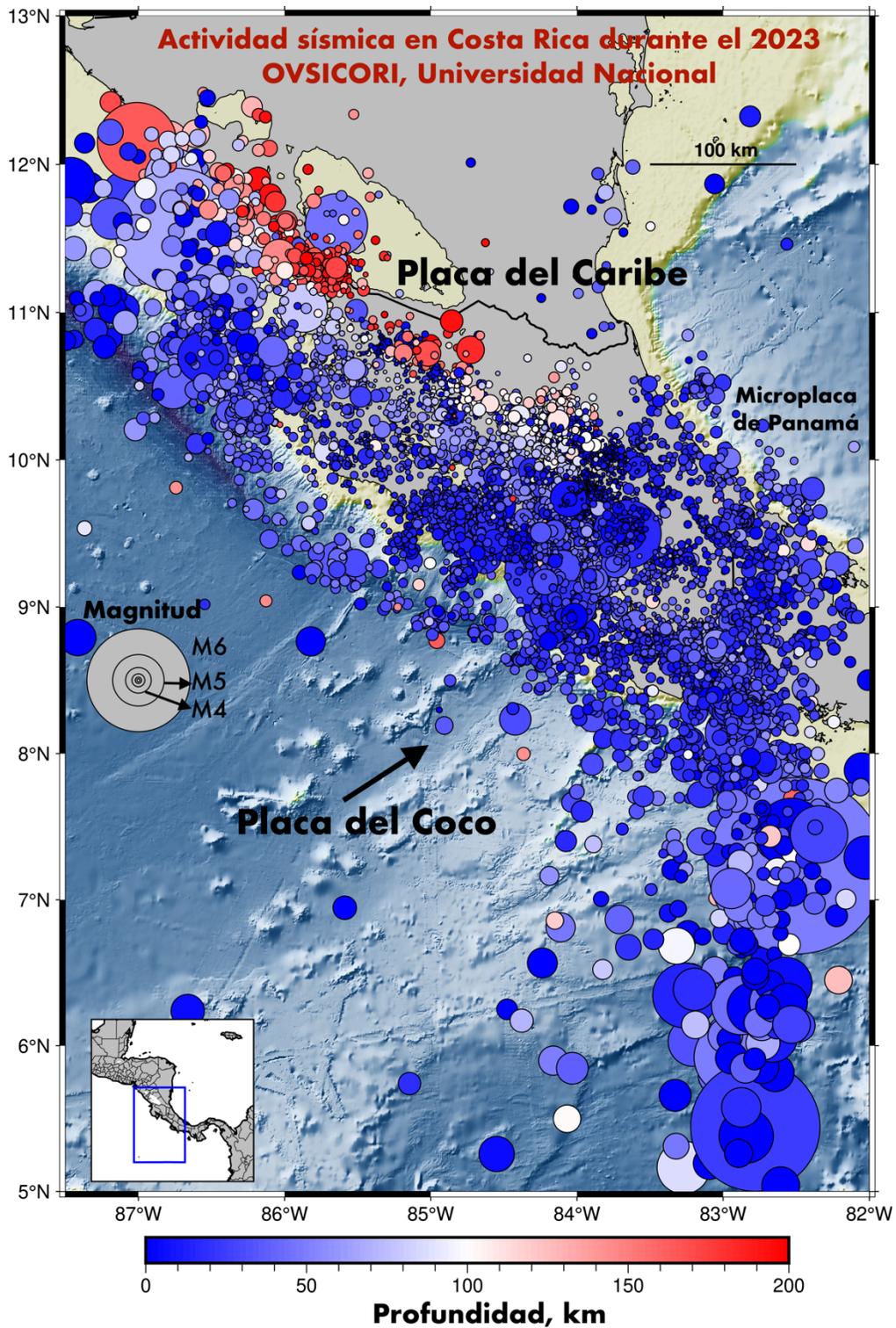


Figura 1. Mapa mostrando la distribución espacial de la actividad sísmica (círculos) en Costa Rica y las regiones fronterizas con Nicaragua y Panamá durante el año 2023. En el mapa, el tamaño y color de los círculos representa la magnitud y profundidad de los eventos, respectivamente.

El conteo diario de sismos ocurridos en el 2023 se ilustra en el panel a) de la figura 2. La serie de tiempo de color verde (a) resalta los días de mayor actividad sísmica, con al menos 80 sismos o más durante los meses de marzo, octubre y noviembre, con respecto aquellos en donde domina la sismicidad de fondo, o bien, micro-sismicidad con una distribución espacial aleatoria.

Estos incrementos súbitos en la actividad sismotectónica corresponden con secuencias sísmicas generadas en diferentes zonas y contextos geológicos del país, como por ejemplo, la secuencia sísmica ocurrida entre marzo y abril de 2023 a lo largo de las fallas locales entre los cantones de San Rafael y San Isidro de Heredia, la secuencia sísmica superficial en el cantón de San Isidro del General en Pérez Zeledón ocurrida entre los meses de octubre y noviembre, o bien, la abundante actividad sísmica frente a las costas de Manuel Antonio y Uvita en Puntarenas debido al proceso de subducción de la placa del Coco por debajo de la microplaca de Panamá.

A las 01:17:34 horas del 6 de febrero (hora UTC) de 2023, se reconoció el disparo dinámico de microsismicidad frente a Dominical y Uvita en Puntarenas debido al paso de las ondas sísmicas superficiales generadas por la ocurrencia del Terremoto, M7.8, de Kahramanmaras, Turquía. La generación inmediata de esta sismicidad, en respuesta a los cambios de estrés inducidos por el paso de las ondas sísmicas superficiales, contribuyó de manera significativa al catálogo sísmico anual del Observatorio.

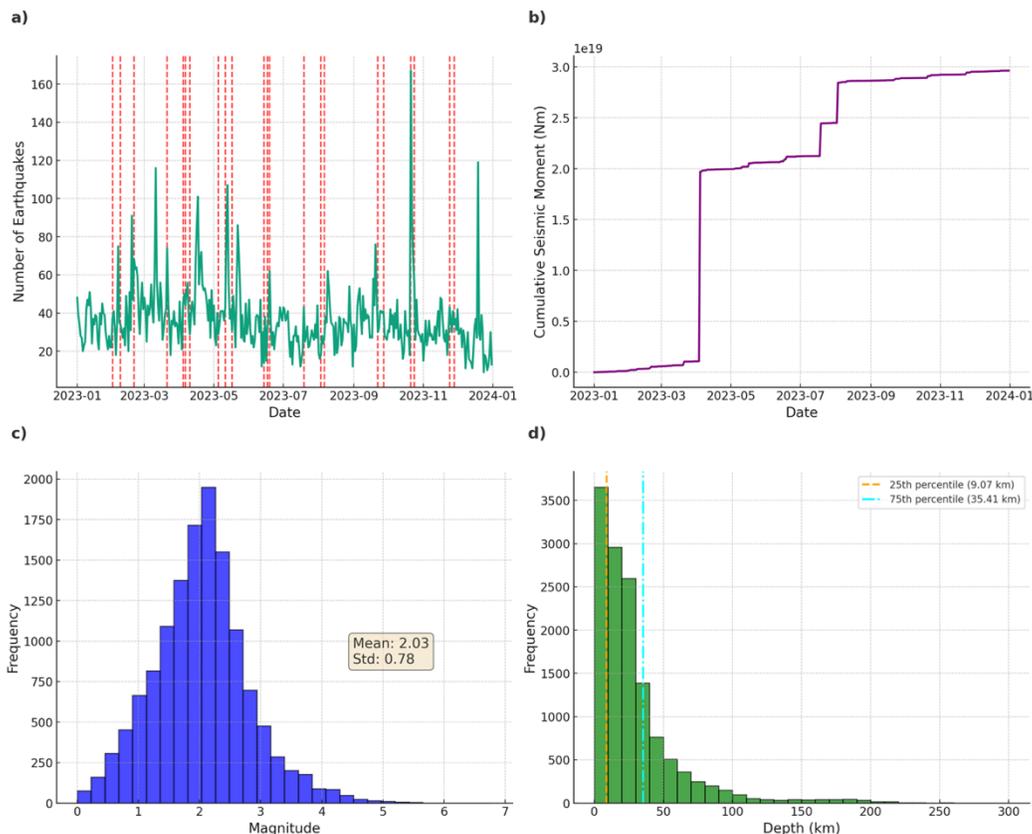


Figura 2. Figura mostrando a) el conteo temporal de sismos durante el 2023, donde se muestra además la ocurrencia de sismos con magnitud igual o mayor que 5,0, representados como líneas de color rojo, b) el momento sísmico acumulado en función del tiempo, c) la distribución de magnitudes que compone el catálogo sísmico y d) un histograma mostrando la distribución de profundidades con los percentiles 25 % y 75%.

También, en la zona del Pacífico Sur costarricense y muy cerca de la frontera con Panamá, múltiples procesos actuando de manera paralela y que incluyen la subducción de la placa del Coco y el fallamiento de la Zona de Fracturas de Panamá, son los responsables de haber generado una gran cantidad de actividad sísmica. En el panel a) de la Figura 2 se muestra, además, la distribución temporal de los **21 sismos con magnitud igual o mayor a 5,0 que ocurrieron durante el año**, representados como líneas verticales punteadas de color rojo.

En conjunto, la actividad sísmica anual liberó un momento sísmico equivalente a $\sim 3 \times 10^{19}$ Nm (Newton metro) (Figura 2b), lo cual es equivalente a **tres órdenes de magnitud mayor** al momento sísmico liberado durante el sexto y más grande ensayo nuclear llevado a cabo por Corea del Norte el 3 de setiembre de 2017, el cual fue de 3.27×10^{17} Nm, o bien, equivalente a un terremoto de magnitud momento sísmico, $M_w = 6,91$.

La liberación de energía sísmica está distribuida, en tiempo, a lo largo del año, como se observa en el panel a) de la Figura 2, y espacio, como se muestra en la figura 1 y en la Figura 2-d), en donde el 25% de los hipocentros localizados se encuentra entre 0 km y 9 km de profundidad, mientras que el 75% se encuentra en los primeros 35 km de profundidad, delimitando entonces, y de manera general, la extensión vertical de las regiones que con mucha mayor frecuencia generan temblores en Costa Rica.

La distribución de los eventos sísmicos por magnitud se muestra en el panel c) de la Figura 2. Los sismos que ocurren con mayor frecuencia y por lo tanto dominan el catálogo sísmico del OVSICORI-UNA, tienen una magnitud promedio de $2,03 \pm 0,78$, de manera que, todo sismo que se genere en Costa Rica con esta magnitud o superior será registrado y localizado por la red sismográfica del Observatorio. Conforme se incrementa la cantidad de estaciones sismológicas en todo el país durante los siguientes años, se dará una reducción significativa en la magnitud de completitud del catálogo sísmico.

Al comparar la distribución de magnitudes en función de la profundidad hipocentral para todos los eventos sísmicos durante el 2023, se puede notar una correlación ligeramente positiva entre ambas variables, tal y como se refleja en los recuadros de color rojo en la Figura 3, los cuales resaltan la magnitud promedio calculada cada 5 km de profundidad. De manera que, conforme se incrementa la profundidad hipocentral del sismo, por ejemplo entre 0 y 50 km de profundidad, así también la magnitud registrada. Sin embargo, conforme se incrementa la profundidad con respecto a las estaciones sismológicas, así también la atenuación sísmica (la reducción de la energía sísmica en función de la distancia desde la fuente) por lo que la configuración de la red sismográfica actual permite la localización robusta de temblores con magnitud igual o mayor a 2,5 cuando estos se encuentran a más de 100 km de profundidad.

Sin duda alguna, temblores de menor magnitud ocurren en Costa Rica a profundidades mayores y hasta 290 km como parte del proceso de deformación o fallamiento en el interior de la placa del Coco, sin embargo, la distribución espacial de la red sismográfica actual no permite una localización robusta de estos, aunque el registro sísmico si existe en al menos 1 estación.

Distribución mensual de sismos

El mes de abril registró la mayor cantidad de sismos en el catálogo de 2023, con un total de 1471 eventos, mientras que julio, es el mes con la menor producción de eventos sísmicos, registrando un total de 884 eventos (Figura 4). En general, la red sismográfica del OVSICORI-UNA localizó 1242 sismos más durante los primeros seis meses del año, con un total de: 7368 eventos, mientras que, durante la segunda mitad de 2023, se localizó un total de: 6126 temblores. El promedio mensual de sismos durante los primeros seis meses del año fue de: 1228, mientras que para la segunda mitad de 2023 resultó ser de 1021 (Figura 5).

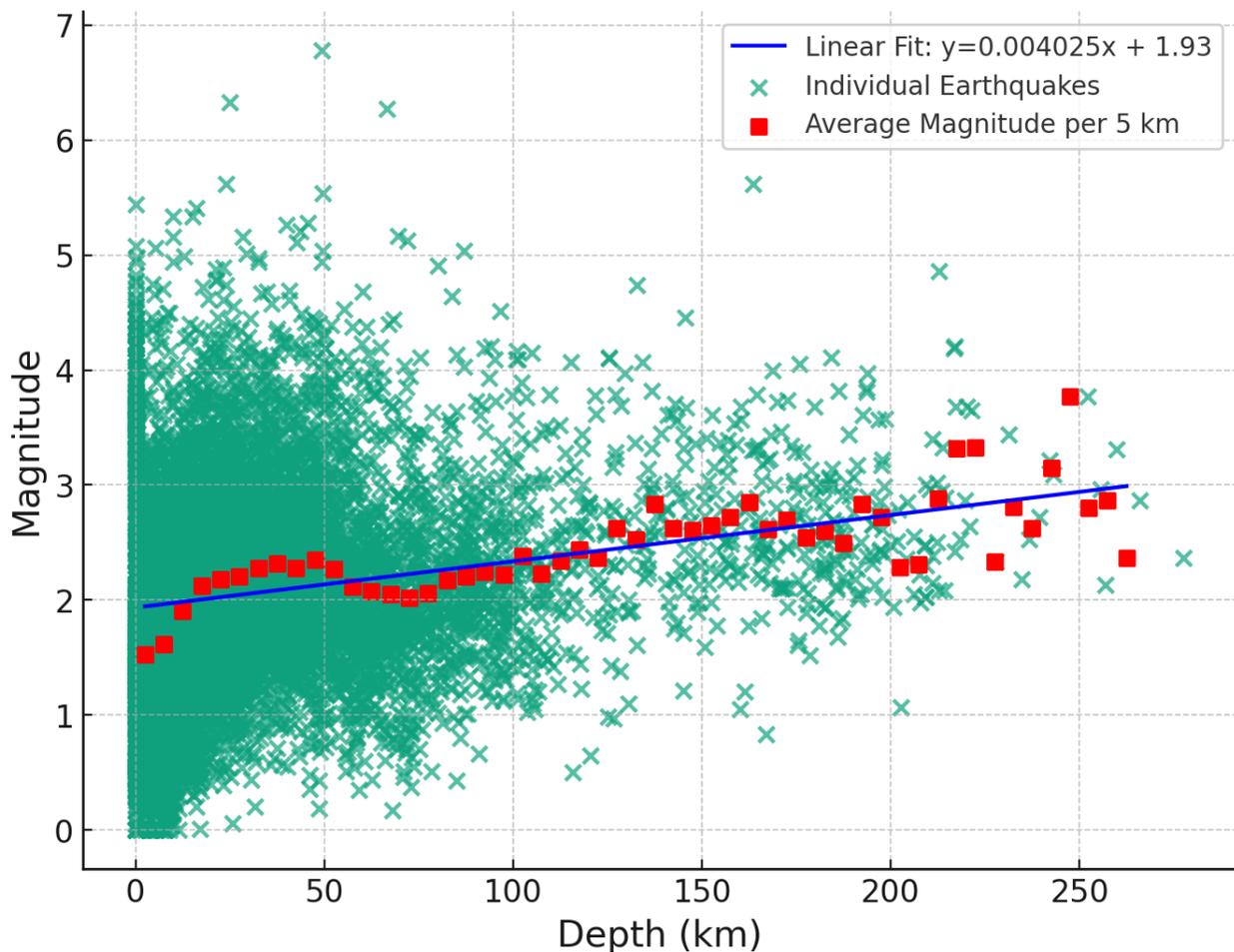


Figura 3. Distribución de la magnitud del catálogo sísmico del OVSICORI en función de la profundidad (en km) de los eventos. En color rojo se muestra la magnitud promedio de los sismos por cada 5 km de profundidad.

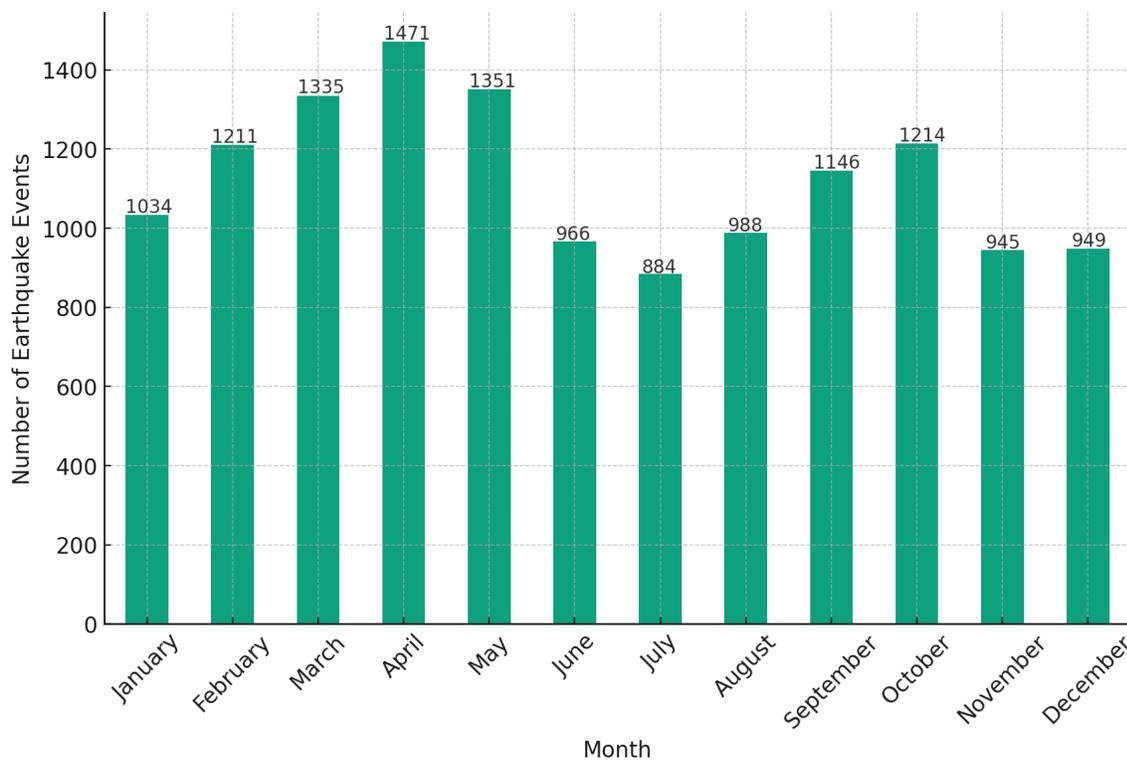


Figura 4. Diagrama de barras mostrando la cantidad mensual de sismos localizados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA durante el año 2023.

Zonas sísmicamente más activas en Costa Rica durante el 2023

Para comprender de manera sistemática y cuantitativa cuáles regiones del país y vecindad fueron sísmicamente más activas durante el año 2023, se dividió en cuadrantes la región mostrada en el mapa de la figura 6. Cada cuadrante tiene un área de 2000 km². Para cada cuadrante se calculó la densidad sísmica, es decir, el número de temblores por kilómetro cuadrado, incluyendo todos los temblores ocurridos en un rango de profundidad de 0 a 250 km, y se seleccionaron aquellos cuadrantes cuya densidad sísmica fuese igual o mayor a 0,001, o bien, tuviera un total mínimo de 2 sismos por km². El valor final de esta densidad se puede observar dentro de cada uno de los cuadrantes correspondientes en el mapa. Los cuadrantes sin valores numéricos fueron, claramente, descartados del análisis.

Para cada uno de estos cuadrantes se determinó, además, el rango de magnitud, profundidad y momento sísmico de los eventos que lo componen. Esta información es de gran utilidad para monitorear la evolución espacio-temporal de las zonas sismogénicas en el país en respuesta a la geodinámica y distribución de esfuerzos tectónicos en el territorio nacional.

De acuerdo con el análisis descrito anteriormente, las 5 regiones con la mayor cantidad de sismos durante el año fueron (en orden de mayor a menor): 1. Región central: Santa María de Dota y San Marcos de Tarrazú por fallamiento local, 2. Región Central: San Rafael y San Isidro de Heredia por fallamiento local, 3) Pacífico Central: Frente a las costas de Quepos y Uvita de Puntarenas por la subducción de la placa del Coco por debajo de la microplaca de Panamá, además de fallamiento local hacia el noroeste de Quepos, 4) Zona Sur: Pérez Zeledón por fallamiento local y 5) Pacífico Central: Garabito de Puntarenas por el proceso de subducción de la placa del Coco por debajo de la placa del Caribe. Esta información se detalla también en la tabla 2.

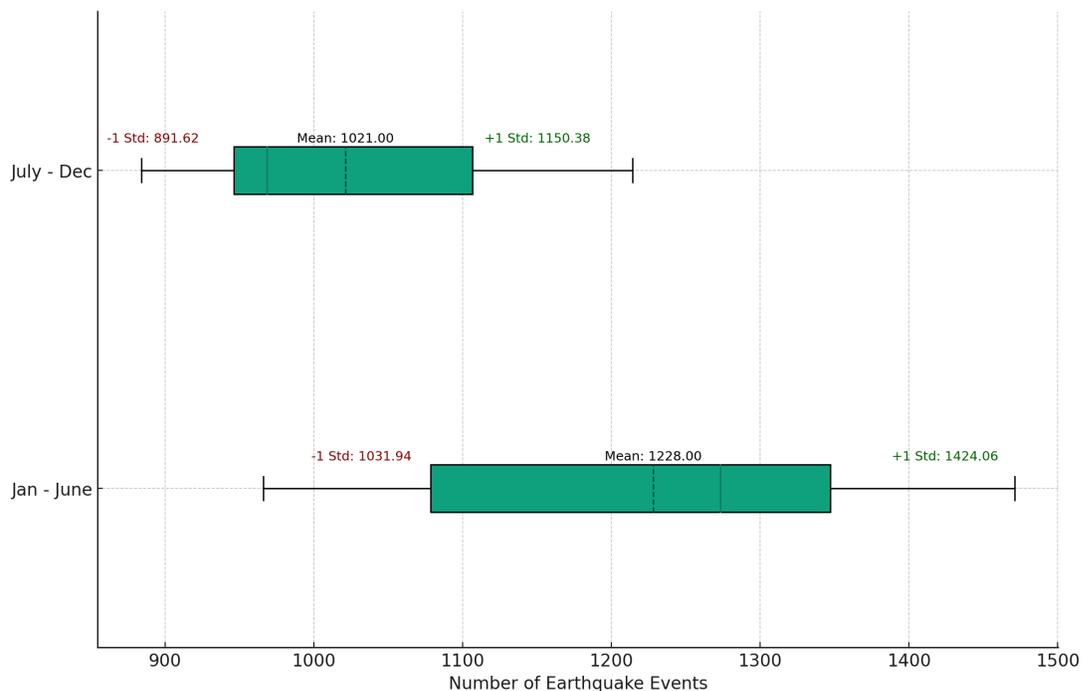


Figura 5. Caja de bigotes mostrando el promedio semestral de sismos localizados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA en el año 2023.

Tabla 2. Zonas sísmicamente más activas de Costa Rica durante el 2023.

Ubicación Geográfica	Cantidad de temblores por km ²	Latitud media	Longitud media	Magnitud promedio (MI)	Momento sísmico total (Nm)	Prof. promedio (km)

Región Central: Santa María de Dota y San Marcos de Tarrazú	2184	9.633294	-83.950083	1.30	1.822644e+23	19.43
Región Central: San Rafael y San Isidro de Heredia	976	10.03618 9	-83.950083	1.45	2.011627e+23	22.15
Pacífico Central: Frente a la costa de Quepos, Puntarenas	809	9.230399	-83.950083	2.11	1.776979e+23	29.21
Zona Sur: Pérez Zeledón	799	9.633294	-83.5434	1.78	1.580284e+24	10.81
Pacífico Central: Garabito de Puntarenas: Jacó, Herradura, Esterillos, Tárcoles	736	9.633294	-84.763394	2.07	2.417442e+23	20.73

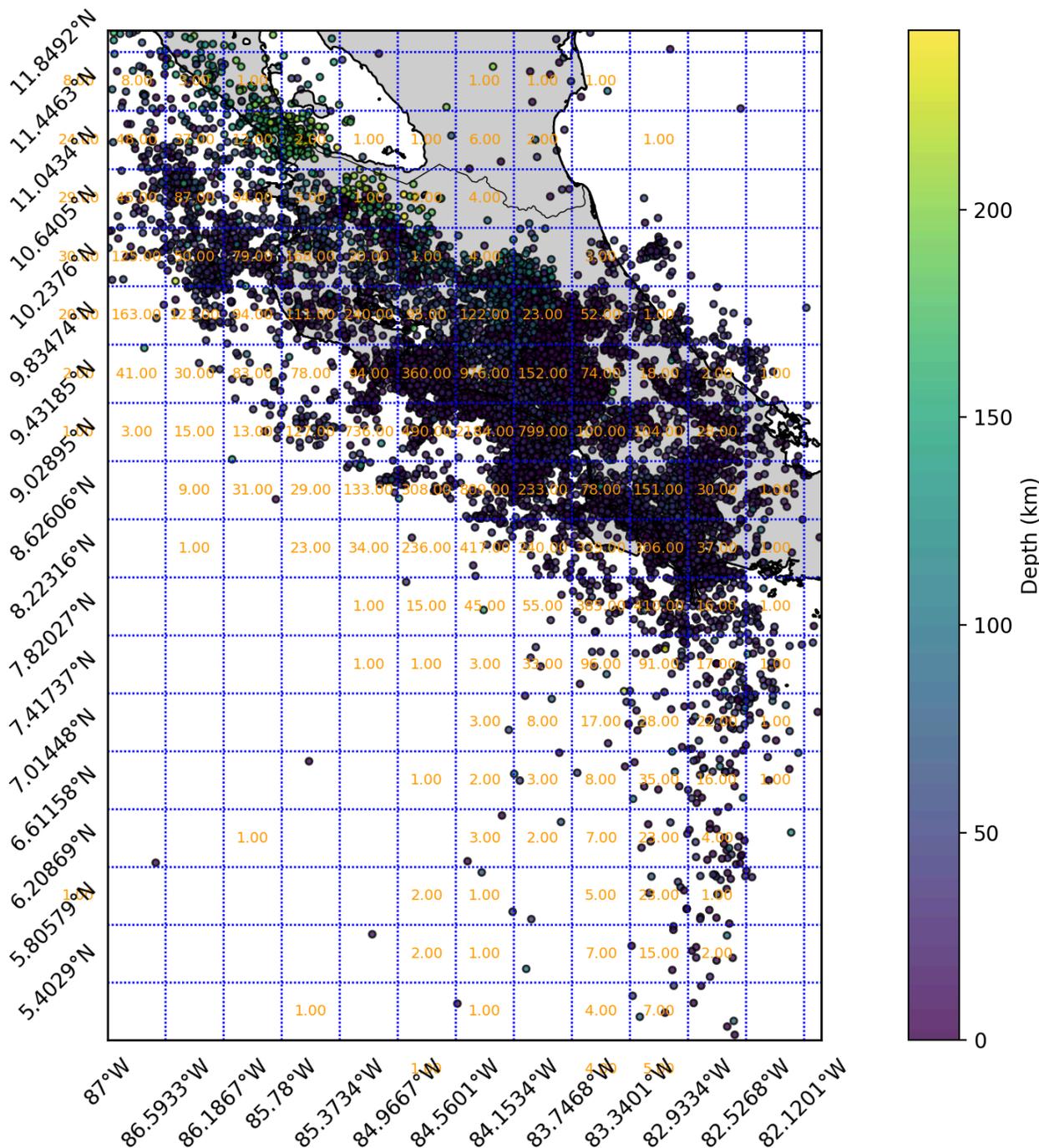


Figura 6. Mapa con la distribución de actividad sísmica en Costa Rica durante el 2023. Se muestra además la segmentación del territorio en cuadrantes con un área de 2000 km² para los cuales se calculó la densidad de temblores por kilómetro cuadrado. El valor de la densidad sísmica se presenta dentro de cada cuadrante en color naranja. Para conocer el número de sismos por km² se debe multiplicar el número indicado por 2000.

Sismos sentidos en Costa Rica entre 2010 y 2023

Entre 2010 y 2023, la población costarricense ha reportado como sentido un total de 2,114 temblores, lo cual representa un 1,5 % del catálogo sísmico total del OVSICORI en 14 años de registro digital. Gracias a la expansión nacional de los servicios de Internet, al desarrollo de las redes sociales y al incremento en la cantidad de seguidores en las páginas de Facebook y X (Twitter) operadas por el OVSICORI, el reporte de estos eventos ha sido cada vez más sencillo y accesible para la población nacional e inclusive para la población cercana a los límites fronterizos Costa Rica-Nicaragua y Costa Rica-Panamá.

La distribución mensual por rango de magnitud de los sismos sentidos se muestra en la figura 7. Durante estos 14 años de la muestra, la magnitud local, M_L , promedio ha sido de $3,60 \pm 1,03$. La evolución temporal de la magnitud promedio, mínima y máxima para el catálogo de sismos sentidos se muestra en la figura 8. Mientras que entre 2010 y 2015 la magnitud promedio trimestral mostró una oscilación prominente con valores entre 3,0 y 4,5, a partir de 2016, su comportamiento fue menos variable, con valores de entre 3,4 y 4,0. El 75 % del catálogo de sismos sentidos tiene magnitudes inferiores o iguales a 4,3, mientras que el 25% tiene magnitudes inferiores o iguales a 2,8. Temblores con magnitud entre 5 y 7,6 son los menos frecuentes, tal y como se muestra también con las barras de color rojo de la figura 7.

Tabla 3. Estadística descriptiva sobre el catálogo de sismos sentidos en Costa Rica entre 2010 y 2023.

Conteo total de sismos sentidos	2,114
<i>Magnitud promedio</i>	3,6
<i>Desviación estándar de la magnitud</i>	1,03
<i>Magnitud mínima</i>	0,1
<i>Percentil 25%</i>	2,83
<i>Percentil 75%</i>	4,3

Existe un incremento notable en la cantidad de reportes de sismo sentido a partir del año 2016. Este efecto puede estar dado por una combinación de factores, entre ellos el incremento en la disponibilidad de internet a nivel nacional y en el uso de las redes sociales como herramientas de comunicación inmediata. Por ejemplo, la figura 9 muestra series de tiempo extraídas de la base de datos del Banco Mundial que demuestran cómo a partir de 2016 alrededor de 3,7 millones de personas obtuvieron acceso al servicio de internet en Costa Rica. Durante este mismo periodo se dio un incremento significativo en la cantidad de líneas telefónicas móviles (teléfonos inteligentes), sobrepasando inclusive al número de líneas telefónicas fijas a nivel nacional.

A partir de 2013, inició un incremento sostenido en la cantidad de suscripciones móviles en diferentes plataformas de Internet (incluidas las redes sociales como Facebook y Twitter), alcanzando un número mayor a los 8 millones en el 2016.

Otro factor de importancia en el reporte de sismos sentidos corresponde con la ocurrencia de secuencias sísmicas en cascada (donde existe un evento principal de mayor magnitud), las cuales tienden a incrementar la cantidad de reportes al Observatorio debido al número de réplicas de magnitud intermedia que son generadas durante la secuencia y también percibidas por la población. Por ejemplo, entre 2010 y 2023 ocurrieron en Costa Rica un total de 37 sismos con una magnitud igual o mayor a 6,0 (Figura 10), los cuales, además de ser sentidos, mantienen a la población en alerta y sensible ante la ocurrencia de posibles réplicas y por lo tanto al reporte de estas.

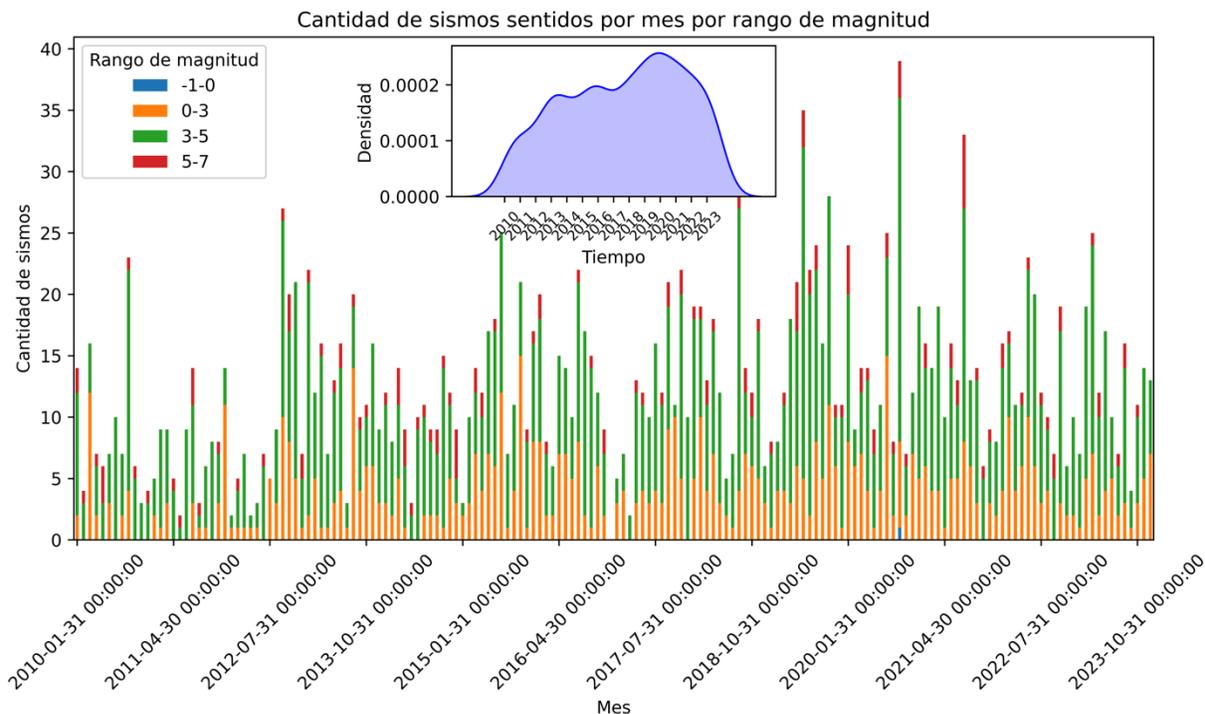


Figura 7. Cantidad mensual de sismos sentidos en Costa Rica entre 2010 y 2023, distribuido por rangos de magnitud. En el interior de la figura se muestra además la curva de densidad anual de sismos sentidos. Nótese el incremento en la cantidad de sismos sentidos a partir del año 2016.

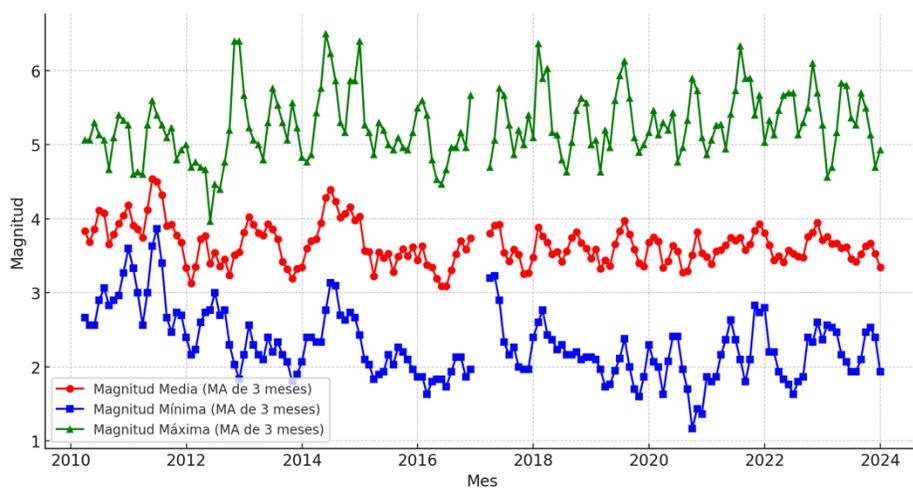
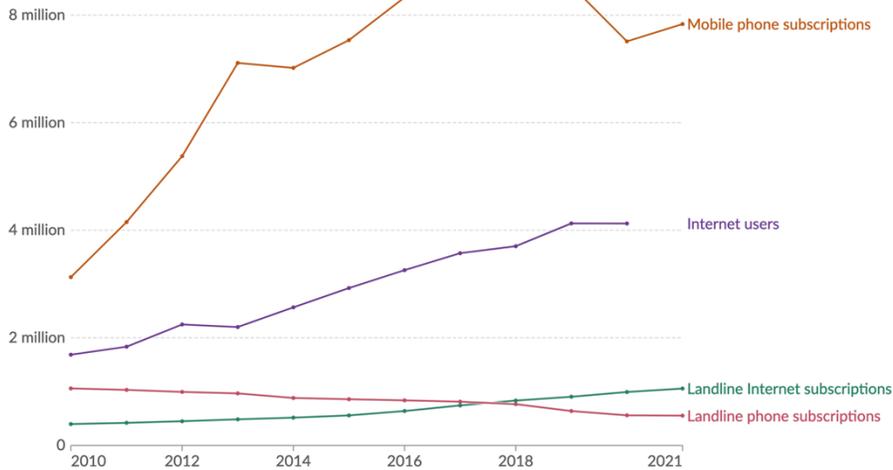


Figura 8. Evolución temporal de la magnitud de sismos sentidos desde 2010 y hasta el 31 de diciembre de 2023. En color verde, rojo y azul se presenta el promedio trimestral de las magnitudes máximas, medias y mínimas, respectivamente, en el catálogo sísmico.

Adoption of communication technologies, Costa Rica



Data source: International Telecommunication Union (via World Bank) OurWorldInData.org/technological-change | CC BY
 Note: Landline Internet subscriptions are defined as a fixed access to the public Internet with a download speed of at least 256 kbit/s. Internet users are people who have accessed the Internet from any location in the last three months.

Figura 9. Series de tiempo que muestran la aceptación y el uso de las tecnologías de información (como el Internet y las redes sociales) en Costa Rica entre 2010 y 2021. Datos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, accedidos a través de la plataforma del Banco Mundial.

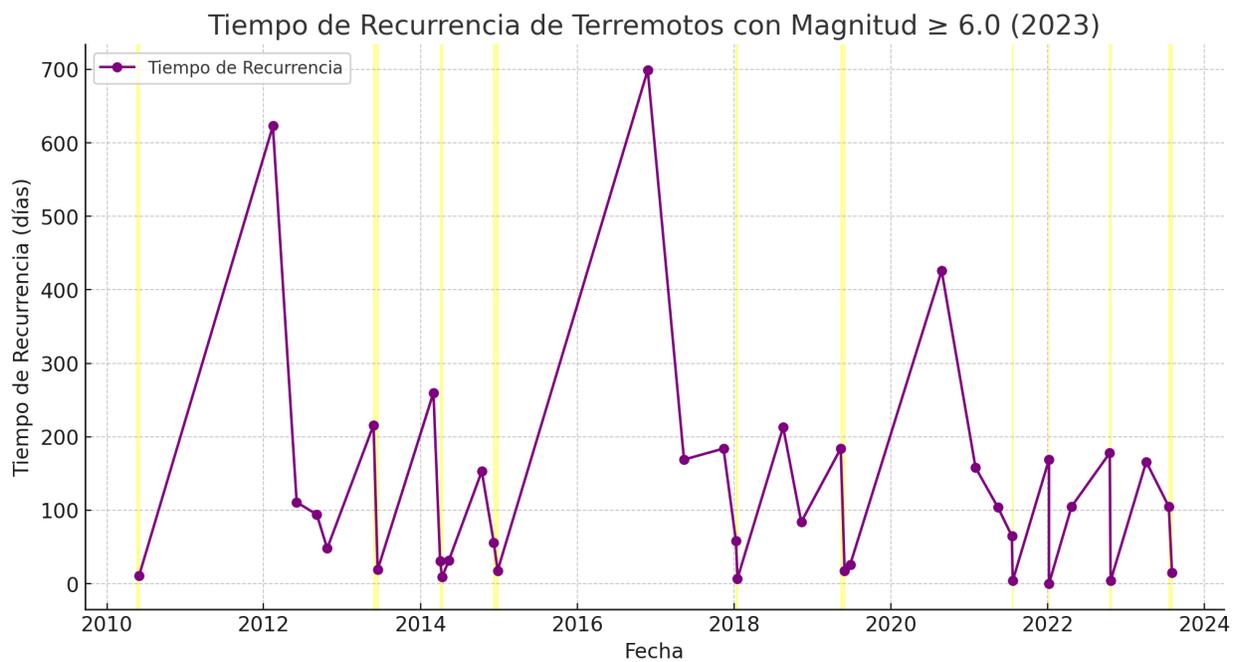


Figura 10. Tiempo de ocurrencia entre sismos sucesivos con magnitudes iguales o mayores a 6,0 ocurridos en Costa Rica entre 2010 y 2023. Las barras de color amarillo indican los periodos en donde dos o más sismos con este rango de magnitud han ocurrido en menos de 20 días.

Tiempo de ocurrencia de sismos fuertes en Costa Rica entre 2010 y 2023

Entre 2010 y 2023 ocurrieron en Costa Rica un total de 37 sismos con una magnitud igual o mayor a 6,0 (ver mapa de la figura 11) y el periodo de recurrencia observado para estos temblores varía entre menos de 20 días y hasta 700 días. Tal y como se puede observar en la figura 10, existen 3 episodios principales de menor recurrencia, con 600 días entre 2010 y 2012, 700 días entre 2015 y 2017 y 400 días entre 2019 y 2021. Entre estos episodios existen, igualmente, 3 episodios en donde los eventos ocurrieron con mayor frecuencia y en donde inclusive se generaron dos o más eventos con ventanas de tiempo entre 20 días (indicado por las barras de color amarillo) y 200 días. Estos sismos se generaron a lo largo del mismo segmento de falla (como por ejemplo en la Zona de Fracturas de Panamá o la zona de subducción en Nicaragua), o bien, en fallas distribuidas en diferentes partes del país y con diferentes geometrías o contextos geológicos.

Cada uno de los eventos mostrados en las figuras 10 y 11 y también descritos en la tabla 4, generó una secuencia de réplicas en cascada y muchos de estas (incluyendo el evento principal) fueron sentidos por la población y reportados al OVSICORI-UNA.

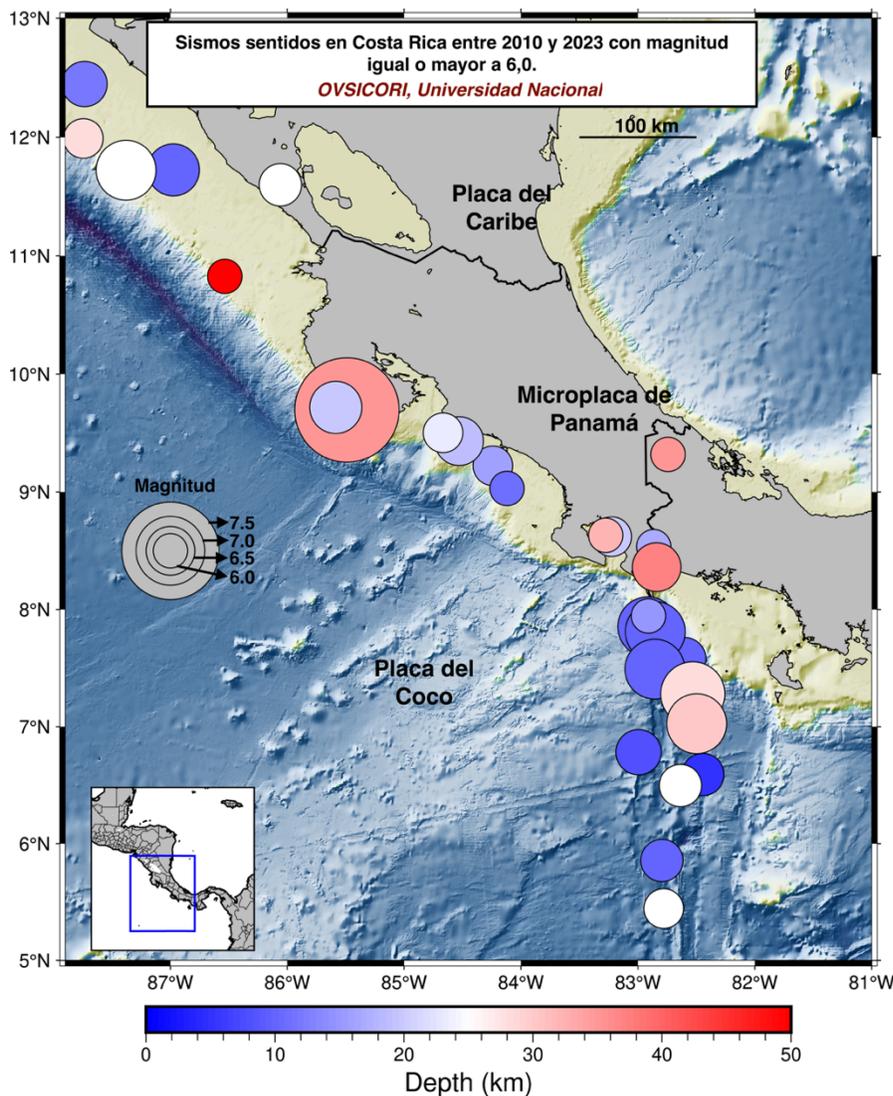
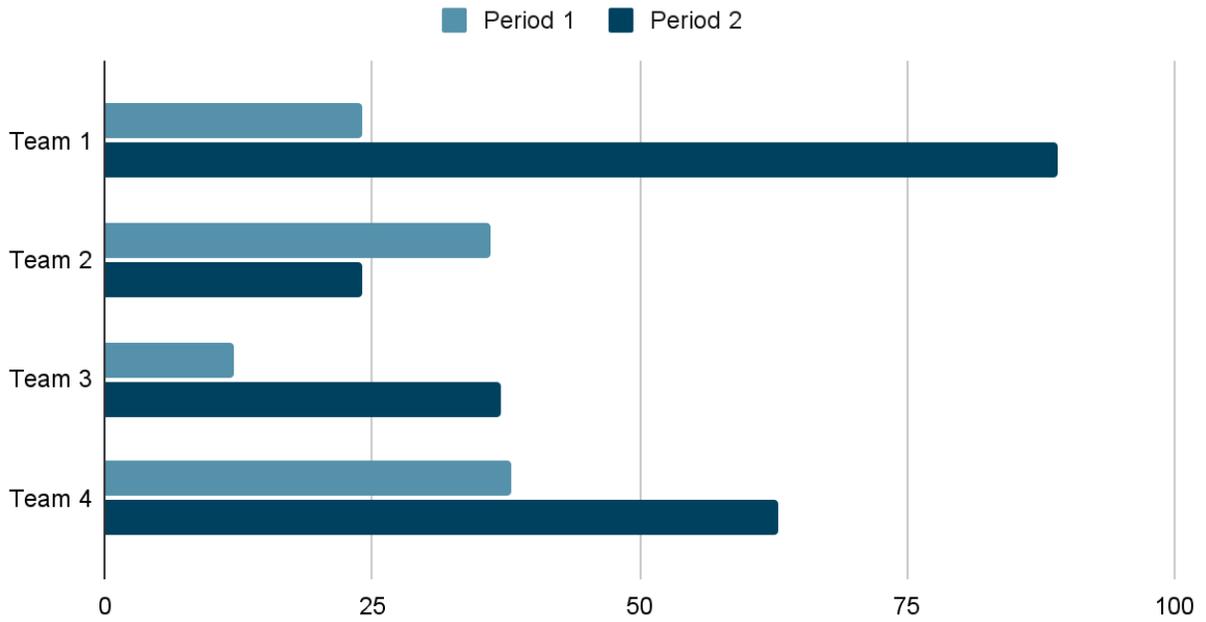


Figura 11. Mapa con la distribución de sismos sentidos en Costa Rica entre 2010 y 2013 con una magnitud igual o mayor a 6,0. El tamaño y color de los círculos indica su magnitud y profundidad,

Points scored



respectivamente.

Tabla 4. Catálogo de sismos sentidos con magnitud mayor o igual a 6,0 y registros por el OVSICORI-UNA entre 2010 y 2023.

Fecha	Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud
20100520.0	9.2221	-84.2406	10.0	6.1
20100531.0	9.2221	-84.2406	16.0	6.2
20120213.0	9.0294	-84.1199	11.0	6.0
20120603.0	5.856	-82.795	10.0	6.3
20120905.0	9.696	-85.49	35.0	7.6
20121023.0	9.718	-85.586	20.0	6.6
20130527.0	9.319	-82.7429	35.0	6.0
20130615.0	11.725	-86.975	10.0	6.6
20140302.0	12.448	-87.735	12.0	6.4
20140402.0	7.58	-82.599	10.0	6.3
20140411.0	11.6	-86.06	98.0	6.3
20140513.0	7.8521	-82.9157	10.0	6.8
20141013.0	12.576	-88.046	67.0	7.3
20141208.0	7.8108	-82.852	10.0	6.8
20141226.0	6.5917	-82.4448	5.0	6.3
20161124.0	11.9597	-88.8355	10.0	7.0
20170512.0	13.01	-90.04	15.0	6.5
20171112.0	9.4316	-84.5302	19.0	6.5
20180109.0	17.5	83.6	10.0	7.8
20180116.0	10.8269	-86.5347	50.0	6.0
20180817.0	8.62	-83.2243	20.0	6.2
20181109.0	8.6316	-83.2761	32.0	6.0
20190512.0	8.5342	-82.8649	17.0	6.0
20190530.0	13.082	-88.4854	65.0	6.6
20190625.0	8.3597	-82.8395	37.0	6.5
20200824.0	9.502	-84.6671	23.0	6.2
20210129.0	7.9451	-82.9095	15.0	6.0
20210513.0	6.4971	-82.6362	51.0	6.3
20210717.0	6.7825	-82.9942	8.0	6.4
20210721.0	7.4915	-82.8555	10.0	6.8
20220106.0	11.9902	-87.7453	28.0	6.2
20220106.0	11.9902	-87.7453	28.0	6.2
20220421.0	11.7229	-87.3799	25.0	6.8
20221016.0	4.38	-87.52	10.0	6.5
20221020.0	7.2795	-82.5298	28.0	6.9
20230404.0	7.0259	-82.4969	30.0	6.8
20230718.0	12.814	-88.127	70.0	6.5
20230802.0	5.444	-82.7794	25.0	6.2

Distribución anual y mensual de sismos sentidos

Durante estos 14 años de registro sísmico se han reportado un total de 2114 sismos sentidos. Estos sismos son generados en su mayoría dentro del territorio nacional, sin embargo, algunos de estos fueron generados en los países vecinos de Nicaragua y Panamá, en las cercanías de nuestras fronteras. El 2011 es el año donde se percibieron menos temblores, mientras que el 2019 es el año con la mayor cantidad de sismos sentidos por la población (Figura 12), con un total de 215. Durante el 2019, a pesar de que múltiples eventos generados en el Valle Central y el Pacífico Central fueron sentidos, dos sismos con magnitud igual o mayor 6,0 y sus réplicas de mayor magnitud (ver tabla 4), ocurridos en Puerto Armuelles, en la frontera con Panamá, incrementaron de manera significativa la cantidad de reportes en las redes sociales que el OVSICORI-UNA opera en Facebook y X (Twitter).

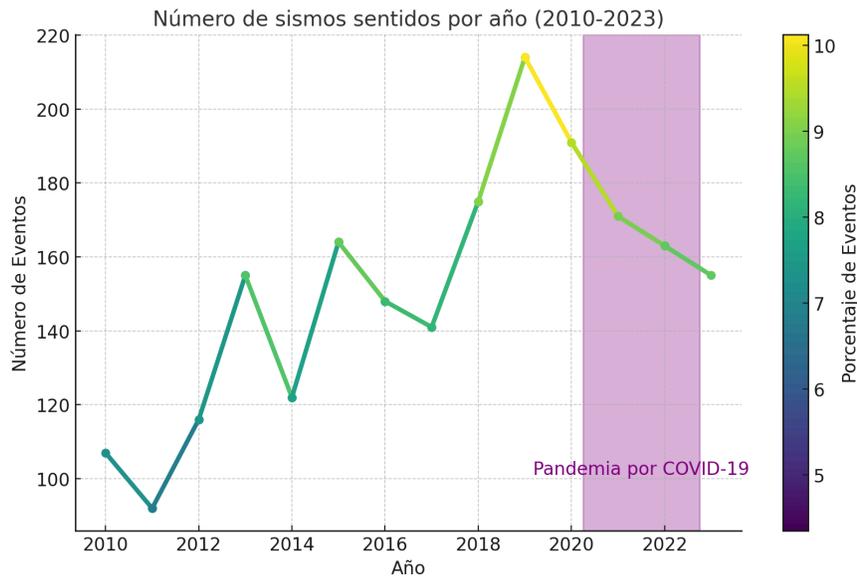


Figura 12. Conteo de sismos sentidos por año entre 2010 y 2023. El color de las líneas indica el porcentaje de eventos anuales con respecto a la cantidad total que conforma el catálogo de sismos sentidos.

La distribución mensual unificada de sismos sentidos entre 2010 y 2023 se muestra en el diagrama de barras de la figura 13. De acuerdo con los datos, los meses con la mayor cantidad de reportes de sismos sentidos corresponden a julio y setiembre, con más de 200 eventos percibidos en cada uno de estos meses. Por el contrario, los meses de febrero, abril y diciembre, son los meses con la menor cantidad de sismos sentidos en Costa Rica. La magnitud unificada promedio para cada mes se muestra como una línea de color rojo en la figura 13. En general este valor oscila entre 3,4 y 3,7 MI.

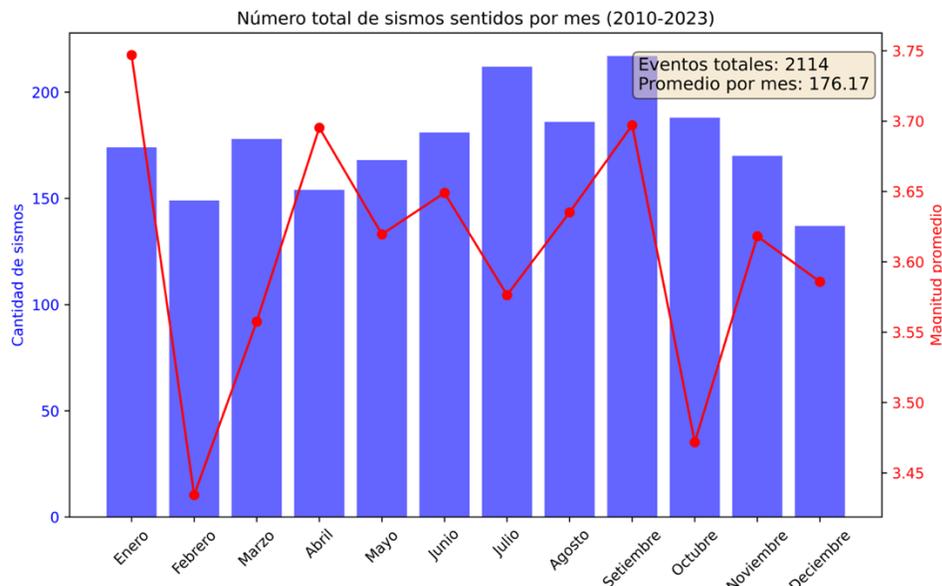
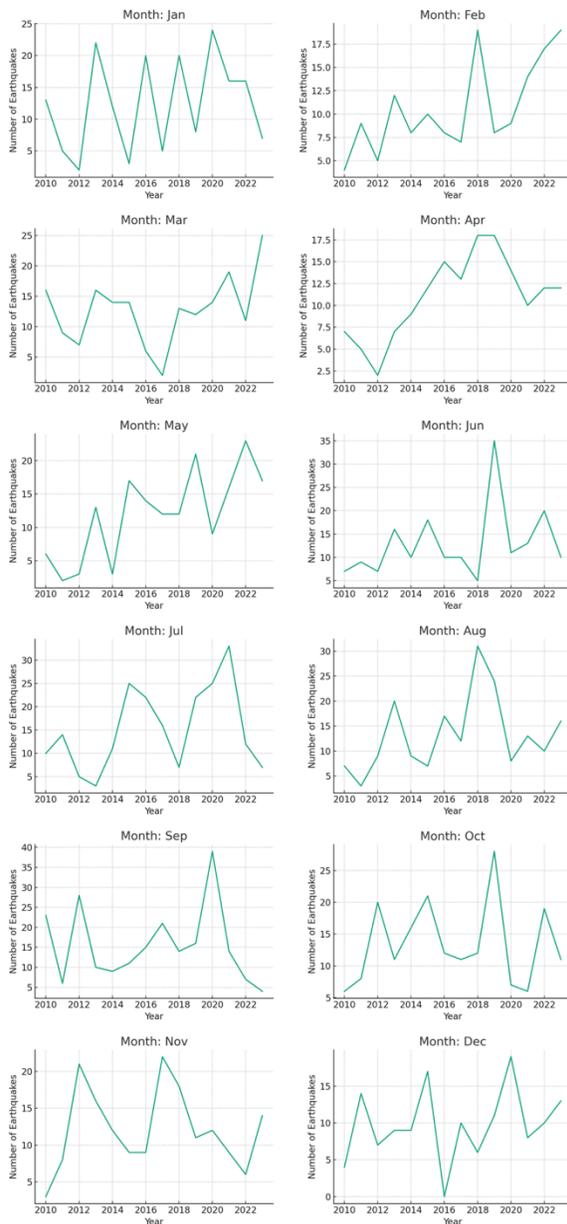


Figura 13. Cantidad mensual unificada o total de sismos sentidos en Costa Rica entre 2010 y 2023 (barras de color azul). Para cada mes, se muestra en color rojo la magnitud

promedio de sismos sentidos.



Aunque la distribución mensual de sismos sentidos presentada en la figura 13 sugiere una ligera variación estacional en donde existe un aparente incremento en la cantidad de sismos sentidos durante la época lluviosa con respecto a la época seca, se analizó la cantidad mensual de sismos sentidos durante estos 14 años de registro sísmico, es decir, entre 2010 y 2023, para entender esta tendencia y evaluar el efecto aparente de estacionalidad.

Para determinar si existen realmente variaciones estacionales en la cantidad de sismos sentidos, es necesario analizar el conteo mensual de eventos durante los 14 años de la muestra con el propósito de extraer un patrón consistente en función del tiempo. De manera que, para cada mes del año se analizó su respectivo conteo de sismos sentidos o conteo temporal entre 2010 y 2023. Este conteo se muestra en la figura 14.

Figura 14. Cantidad total de sismos registrados por mes del año en función del tiempo. En cada panel se presenta la serie de tiempo con la cantidad total de sismos (para dicho mes) que fueron sentidos y reportados al OVSICORI-UNA, así como su evolución entre 2010 y 2023

Con excepción del mes de enero, el conteo mensual de sismos sentidos presenta una distribución aleatoria o estocástica, lo que sugiere que no existe una relación directa entre la cantidad de sismos sentidos y la época (seca o lluviosa) del año. El coeficiente de correlación entre las series de tiempo anuales permite además determinar si existe o no algún patrón estacional que se repita de manera consistente en el tiempo. El coeficiente de correlación es un valor que puede variar entre -1 y 1, donde, por ejemplo, 0 indica la no correlación y 1 la correlación máxima entre dos valores o series de tiempo. Una correlación de -1 indica la correlación inversa entre en las series de tiempo.

Al calcular la correlación cruzada entre las 14 series de tiempo anuales y graficar la matriz de correlación que se despliega en la figura 15, se puede observar que todos los valores fuera de la diagonal (que indica la autocorrelación de cada serie anual) presentan valores relativamente bajos (baja correlación) o negativos (anti-correlación), **por lo que no existe variación estacional en la cantidad de sismos sentidos, o bien, no hay un incremento en la cantidad de sismos sentidos durante la época lluviosa con respecto a la época seca, sino más bien que su distribución es aleatoria.**

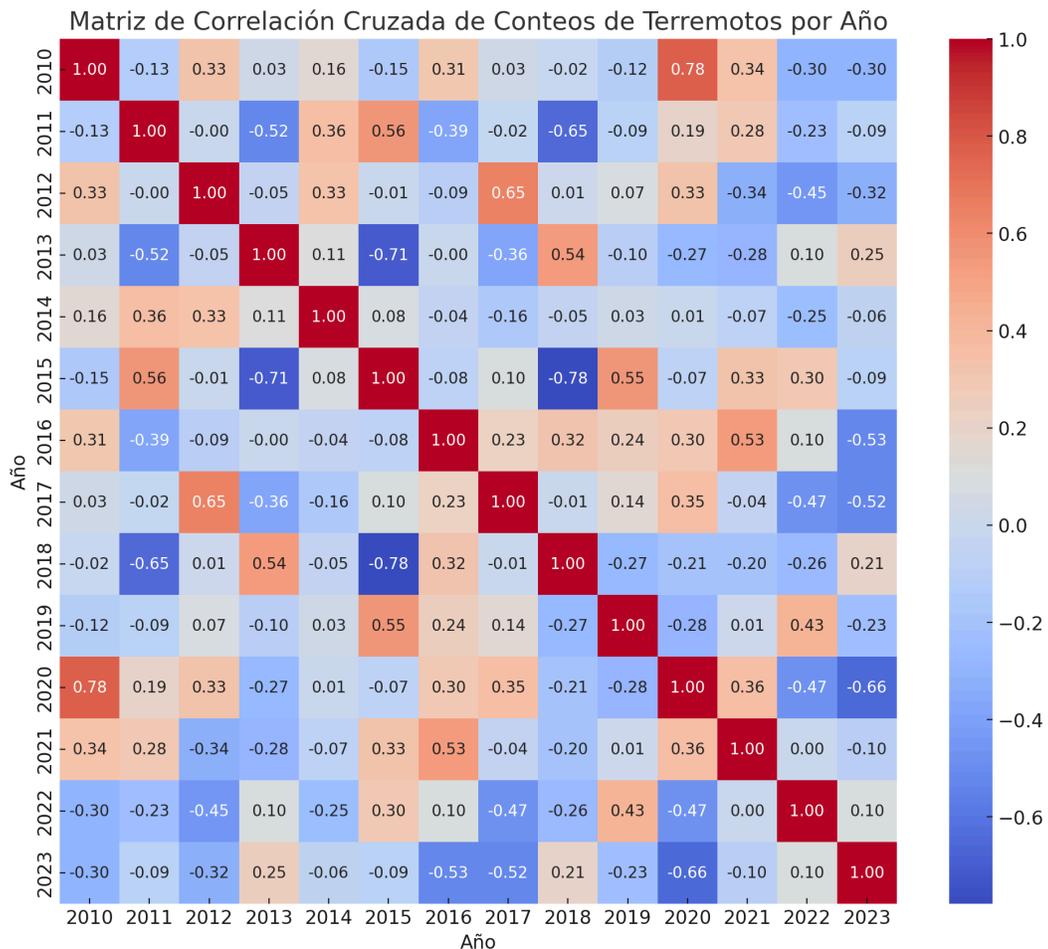


Figura 15. Matriz de correlación cruzada para las series de tiempo anuales de sismos sentidos en Costa Rica entre 2010 y 2023. No existe correlación entre la distribución mensual de sismos y la estación del año.

El catálogo de sismos sentidos puede ser revisado desde la página web del OVSICORI-UNA utilizando el siguiente enlace: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/sismos-sentidos>.

Deformación cortical observada por mediciones GNSS

El monitoreo geodésico basado en mediciones GNSS muestra que 2023 fue un año con velocidades típicas de un año inter-sísmico en todas las zonas del país es decir Nicoya y ante arco volcánico, llanura Caribeña; el Valle central, Pacífico Central, Talamanca y Península de Osa y Burica.

En la región de Nicoya y el ante arco de Costa Rica, se han observado interesantes patrones de movimiento cortical a través de mediciones GNSS. Tomando como referencia la estación de Veracruz, ubicada al este de Upala (identificada por un rombo verde en la Figura 16), se detectan velocidades horizontales orientadas hacia el noroeste. Estas velocidades alcanzan los 30 mm/año en la costa, particularmente en el suroeste de Nicoya, cerca de Playa Garza. Sin embargo, estas velocidades disminuyen progresivamente en dirección hacia el arco volcánico.

En la parte sur de la península, las velocidades horizontales continúan reduciéndose, y en Jacó, situado en el Pacífico central, se registra una velocidad hacia el noreste de tan solo 11 mm/año, según se indica en la Figura 16. Hacia el norte, la deformación cortical experimenta un cambio de dirección, rotando hacia el oeste, especialmente al norte de Liberia, aunque estas velocidades son significativamente menores, no superando 1 centímetro al año.

En lo que respecta a la componente vertical, existe un gradiente de velocidad notable entre la costa y el arco volcánico. Se observa una tasa de hundimiento de -28 mm/año en la costa, mientras que en el arco volcánico, el movimiento vertical es casi nulo o incluso positivo en algunos casos. Este levantamiento vertical al norte de Liberia se atribuye principalmente a la inflación casi continua del volcán Rincón de la Vieja, mientras que el movimiento vertical detectado al este de Bagaces, cerca del volcán Tenorio, se asocia principalmente a un efecto de sitio.

En la región del tras arco volcánico y la planicie Caribeña, tanto los movimientos verticales como los horizontales son casi imperceptibles. Por ejemplo, se registra un movimiento vertical de -2.7 mm/año hacia el sur en Los Chiles, un desplazamiento de 2.8 mm/año hacia el sur-sureste en la estación CoopeVega al norte de Ciudad Quesada, y un movimiento de 2.7 mm/año hacia el norte en Ciudad Quesada.

El patrón de deformación cortical en Costa Rica observado en 2023 puede ser predominantemente atribuido a la dinámica de subducción entre las placas de Cocos y Caribe. Este fenómeno se manifiesta claramente en la zona de alto acoplamiento bajo la península de Nicoya, donde se acumula tensión significativa y genera velocidades importantes cerca de la ciudad de Nicoya. La liberación de esta tensión fue dramáticamente evidenciada durante el terremoto de magnitud 7.6 el 5 de septiembre de 2012.

Los datos de 2023 reflejan una continua y compleja interacción entre las placas tectónicas en esta región, subrayando la importancia de monitorear y analizar estas deformaciones para anticipar posibles eventos sísmicos futuros. El terremoto de Nicoya sirve como un recordatorio clave de la potencial energía acumulada en estas zonas de acoplamiento y la necesidad de vigilancia constante. A la luz de

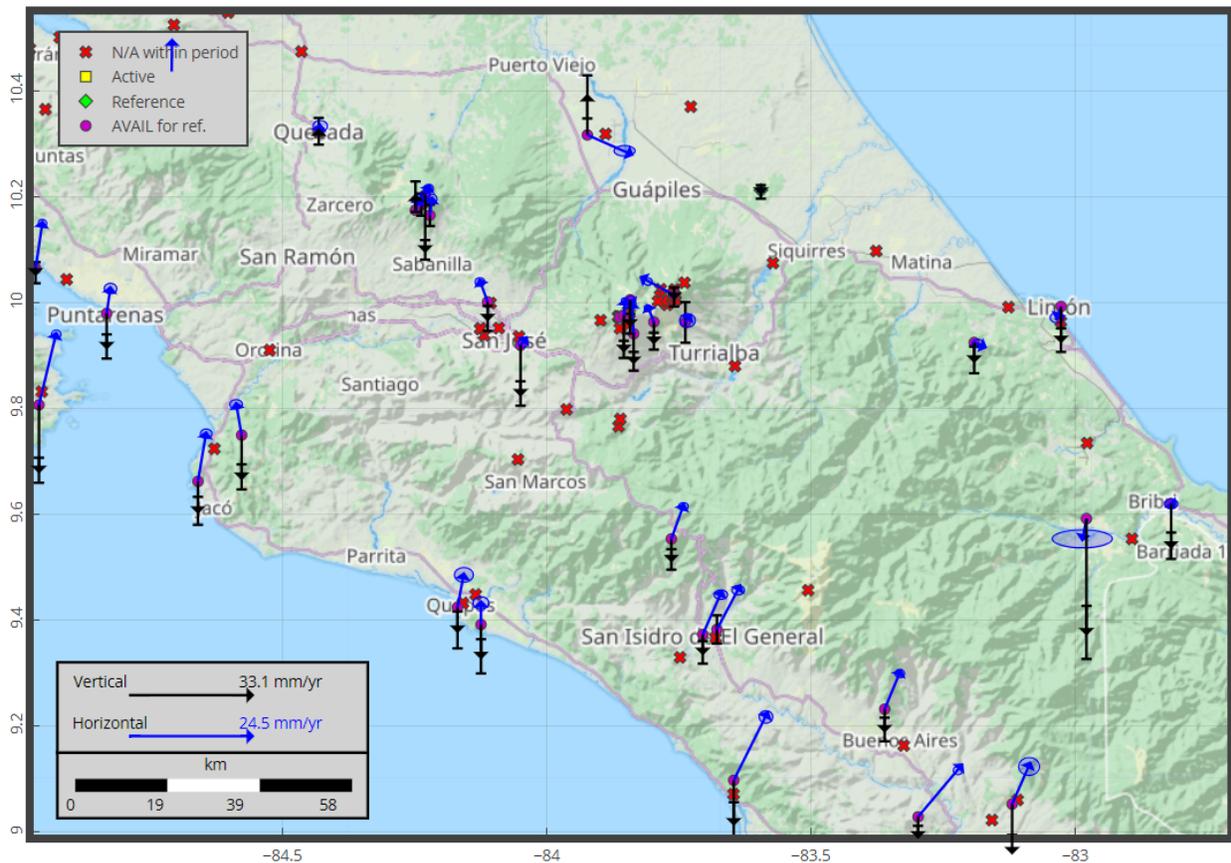


Figura 17: Mapa de las estaciones geodésicas del centro de Costa Rica y de sus movimientos en 2023. Los vectores azules y los elipses son los vectores de velocidades horizontales y su incertidumbre a 95%. Los vectores negros y las barras de errores son los vectores de velocidades verticales y su incertidumbre a 95%. Las cruces rojas indican puntos de campañas o estaciones GNSS continuas sin datos durante el periodo. Referencia altimetría y planimetría VRBA en Liberia.

En la región sur y en la península de Osa, se ha identificado un patrón de deformación similar al observado en la península de Nicoya. En estas áreas, tanto las velocidades de desplazamiento como los niveles de subsidencia son elevados en las zonas costeras, disminuyendo progresivamente a medida que nos alejamos de la costa. En la estación PIRO, ubicada al sur de Puerto Jiménez, se registran las velocidades máximas, alcanzando hasta 48 mm/año en dirección norte. En contraste, en San Vito y a lo largo de la fila costera, las velocidades disminuyen a aproximadamente 30 mm/año, y son casi nulas en el lado del Caribe. Cerca de Bahía Drake, en la estación más occidental de la península, la velocidad se reduce a solo 30 mm/año, a pesar de que en años anteriores esta estación registraba las velocidades más altas.

Las velocidades en el sur de la península son sensiblemente más altas que los años anteriores con un aumento de un 30% de la velocidad.

En cuanto a la subsidencia vertical, esta alcanza hasta 5 mm/año en la península. Sin embargo, en Neilly, la subsidencia es prácticamente inexistente. Por otro lado, en la fila costera se observan velocidades ligeramente positivas, variando entre 1 y 4 mm/año

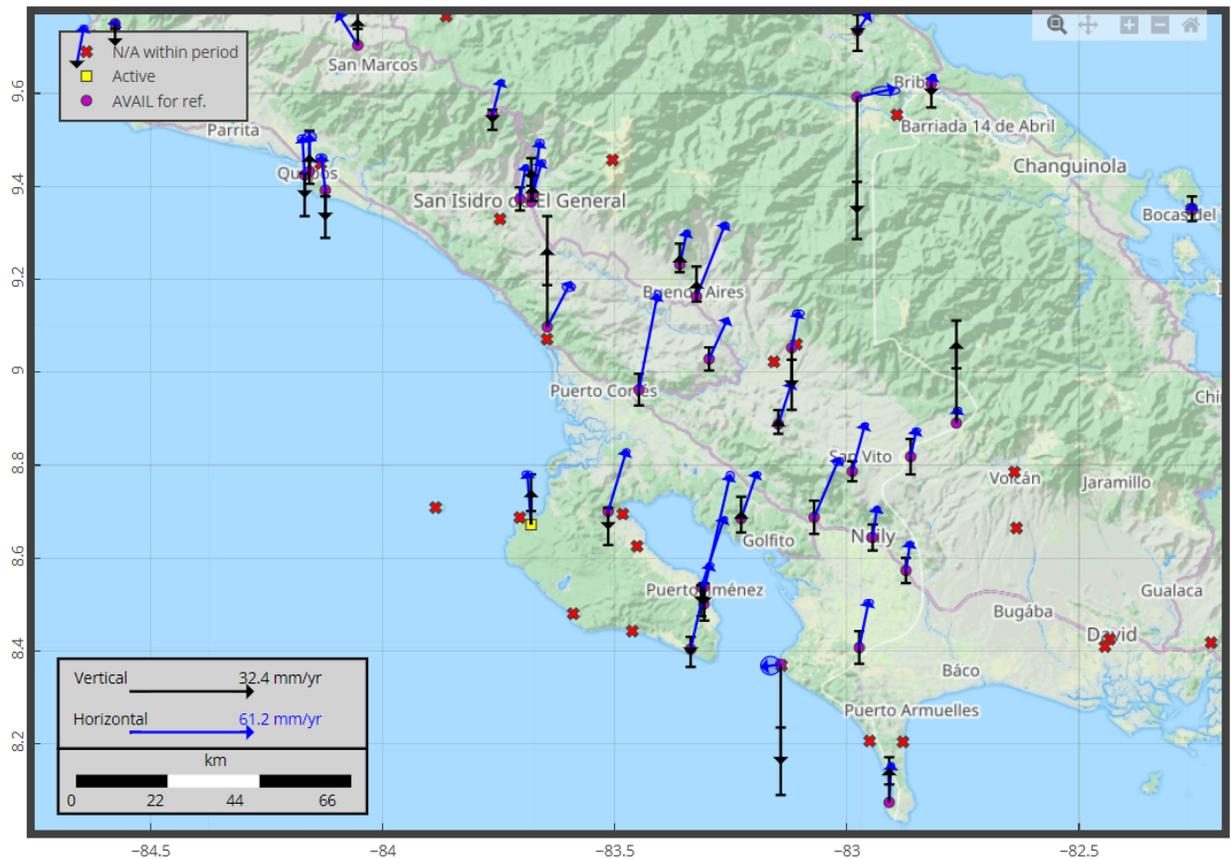


Figura 18: Mapa de las estaciones geodésicas del sur de Costa Rica y de sus movimientos en 2023. Los vectores azules y los ellipses son los vectores de velocidades horizontales y su incertidumbre a 95%. Los vectores negros y las barras de errores son los vectores de velocidades verticales y su incertidumbre a 95%. Las cruces rojas indican puntos de campañas o estaciones GNSS continuas sin datos durante el periodo. Referencia altimetría y planimetría VRBA en Liberia.

Ciencia para la Sociedad.
OVSICORI-UNA