

ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS SISMOS EN COSTA RICA, 2010-2017

Moisés Coto Hernández
Melissa Valverde Hernández
Universidad de Costa Rica

RESUMEN

Este estudio se realiza un análisis estadístico espacial de los sismos en Costa Rica en el periodo 2010-2017. El objetivo del estudio es determinar y conocer la distribución espacial de los sismos en el territorio costarricense. Se utilizan los datos de la Red sismológica Nacional de Costa Rica, de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Se consideran los sismos con magnitud a 4 grados escala de Richter. El procedimiento estadístico utilizado fue realizar un análisis espacial mediante procesos puntuales, se estiman las funciones K, L, G y F para identificar la dependencia de los sismos a nivel espacial. Además, se estiman dos modelos Poisson no homogéneos uno con intensidad log-lineal y otro con intensidad log-cuadrática. Entre los principales resultados se obtiene que las funciones para identificar tendencia espacial indica que existen agrupamientos de los sismos en el territorio nacional y además los modelo de Poisson indican que la intensidad espacial de los sismos se encuentra asociada a la localización.

INTRODUCCIÓN

“Un sismo consiste en la manifestación superficial de la liberación de energía interna del planeta, transmitida en ondas sísmicas” (Vallejos et al, 2012).

Costa Rica es un país altamente sísmico, se ve afectado por dos placas tectónicas, que son la Caribe y la del Coco. La placa del Coco se hunde (subduce) bajo la placa Caribe y durante este proceso es que se generan la mayoría de los sismos que nos afecta.

Este escenario general, también define dos tipos de sismos, los de interplaca y los de intraplaca. Los primeros ocurren en las zonas de choque de estas placas, como por ejemplo el sismo del Golfo de Papagayo en 1916, el de Osa Golfito en 1983 y en general los que han ocurrido frente a las costas de Garabito, Parrita y Aguirre, estos eventos aunque de magnitudes importantes, suelen ocurrir lejos de centros de población, sin embargo cuentan con capacidad de generar daños.

Los sismos de intraplaca, se generan dentro de las placas tectónicas, han ocurrido con mayor frecuencia en la historia sísmica del país, su magnitud en promedio es menor con relación a los eventos de interplaca, no los excluye de ser los que han generado mayores pérdidas

materiales y humanas, principalmente por su cercanía a centros de población. Ejemplos de este tipo de sismos tenemos: terremotos del Tablazo y Santa Mónica en 1910, Patillos en 1952, Toro Amarillo en 1955, Tilarán en 1973, Pérez Zeledón 1983, Puriscal 1990, Cinchona 2009.

Una vez definidos los conceptos anteriores y debido a la importancia que tiene este tema, en la sociedad costarricense surge la necesidad de conocer la distribución espacial de los sismos en el país, en particular los procesos puntuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de este trabajo es utilizar el análisis espacial para determinar si la distribución de los sismos es igual en el territorio de Costa Rica.

Para el desarrollo de la investigación se obtienen los datos de la Red Sismológica Nacional, correspondiente a los sismos reportados en Costa Rica, con escala Richter superior a 4, de los años 2010-2017, los cuales estaba georeferenciados en longitud y latitud. Se realiza un análisis descriptivo de las variables cantidad de sismo por año y magnitud promedio.

Asimismo, se realizó un análisis espacial de los datos donde inicialmente se gráfica una visualización del patrón de puntos, y una visualización de la densidad espacial de los datos, se utilizó la función K de Ripley usando la llamada "función L" donde su funcionalidad es calcular la cantidad de puntos dentro de una distancia dada de cada punto en los sismos. Además, se calculan estimaciones de dependencia con las funciones G y F.

Posteriormente, se hizo un análisis estadístico de un proceso puntual espacial, donde se analizó la aleatoriedad espacial completa, los eventos están distribuidos independientemente, aleatoriamente y uniformemente en toda el área de estudio. Se hizo un análisis sobre el proceso Poisson mediante modelos no homogéneos con intensidad log-lineal y otro con intensidad log-cuadrática.

Para este análisis estadístico se utilizó el lenguaje estadístico R versión 3.6.1, algunas de las librerías utilizadas fueron: sp, Rgdal, raster, spatstat, dplyr y maptools. Se supone un nivel de significancia de 0.05 para el contraste de hipótesis de las pruebas estadísticas.

RESULTADOS

En el análisis de patrones puntuales para calcular las estadísticas de dispersión de los datos de estudio, se creó una ventana que define la extensión de nuestra trama las ubicaciones reales de los sismos en coordenadas absolutas, se revisa a ver si existen entradas duplicadas, ya que distorsionarán los cálculos, pero se logra observar que no hay datos duplicados.

Figura 1. Sismos de Costa Rica, 2010-2017

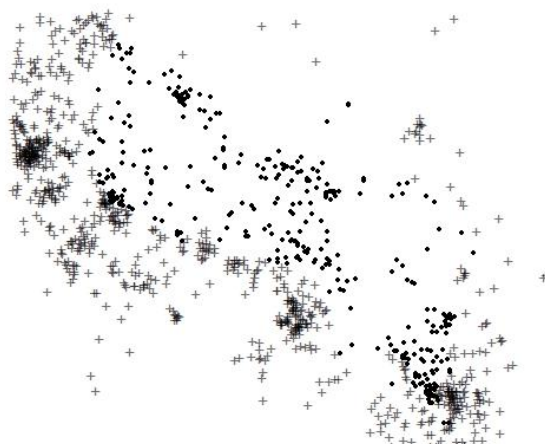
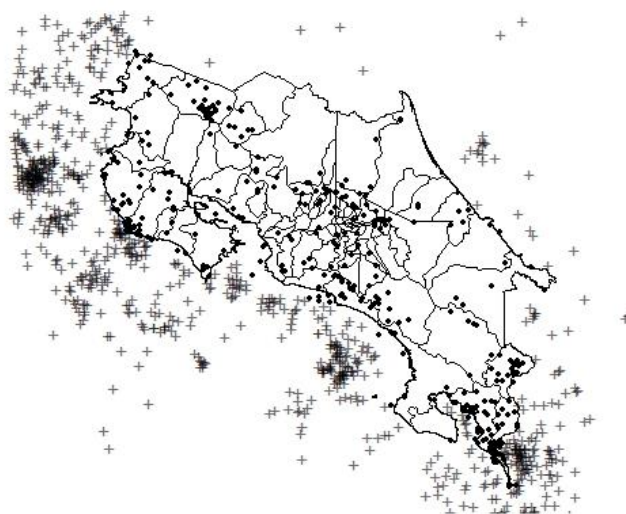
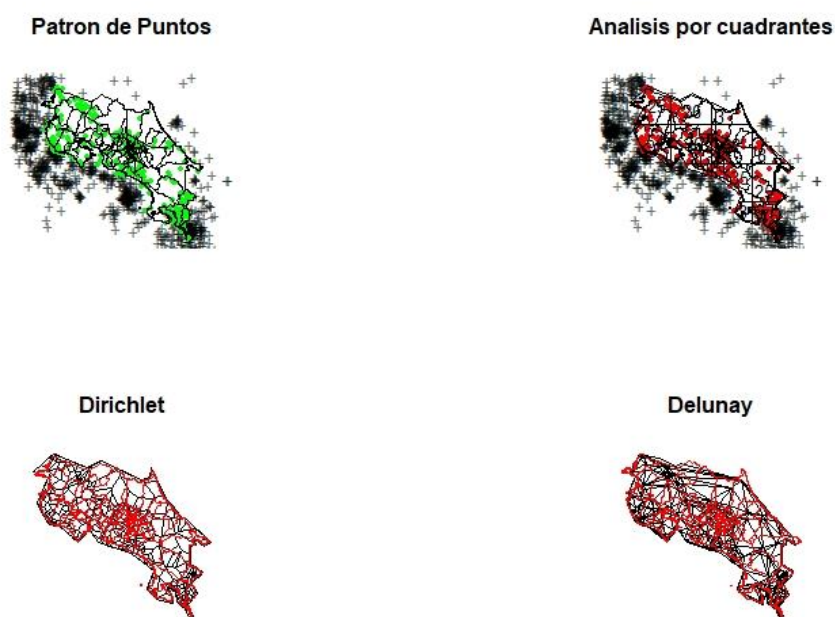


Figura 2. Distribución de los sismos en el territorio marítimo y terrestre de Costa Rica, 2010-2017



Según la Figura 1, se observa varias nubes de puntos, donde pareciera que los sismos se encuentran distribuidos uniformemente en el espacio, y estas nubes o concentraciones concuerdan con el choque de placas Caribe y la del Coco, en donde la placa del Coco se hunde (subduce) bajo la placa Caribe y durante este proceso es que se generan la mayoría de los sismos en el territorio nacional (Ver Figura 2). Se destaca que, en la zona sur del país, Punta Burica, y parte de la provincia de Guanacaste, se identifica una mayor cantidad de sismos.

Figura 3. Diferentes patrones de los sismos en el territorio marítimo y terrestre de Costa Rica, 2010-2017



En la Figura 3, se muestran algunos patrones de los sismos pues son una forma de mostrar nuestro patrón de puntos sísmicos, en un nivel algo más abstracto, en los patrones se muestra por puntos, cuadrantes, Dirichlet y Delunay; donde se calculan distancias para visualizar el patrón. Se visualiza que se presentan concentraciones en el centro del territorio y en las periferias donde se encuentran las placas de Coco y Caribe.

Posteriormente se realiza un cálculo de la densidad espacial de los sismos en el territorio nacional, en la Figura 4, se visualiza la densidad de los sismos. Las mayores magnitudes de densidad de presentan en la costa pacífica del país

Figura 4. Densidad espacial de los sismos en el territorio terrestre de Costa Rica, 2010-2017

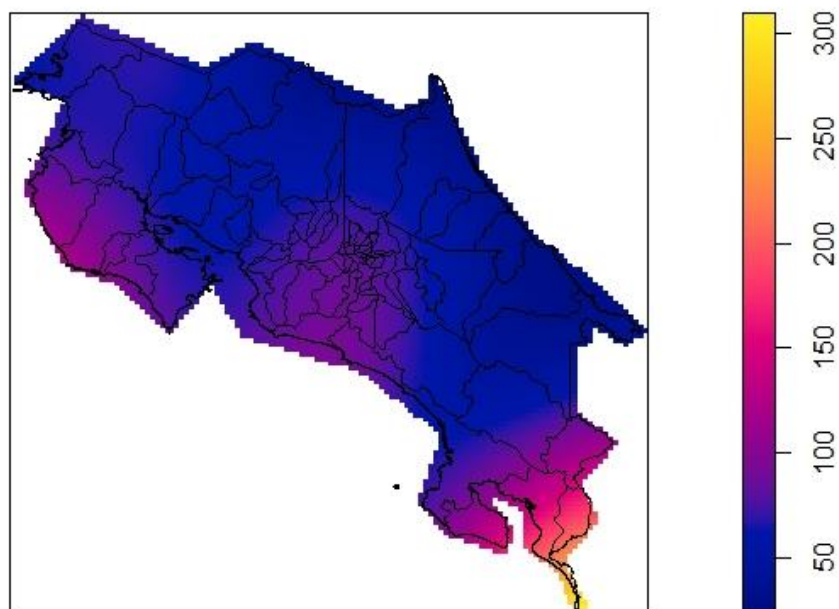
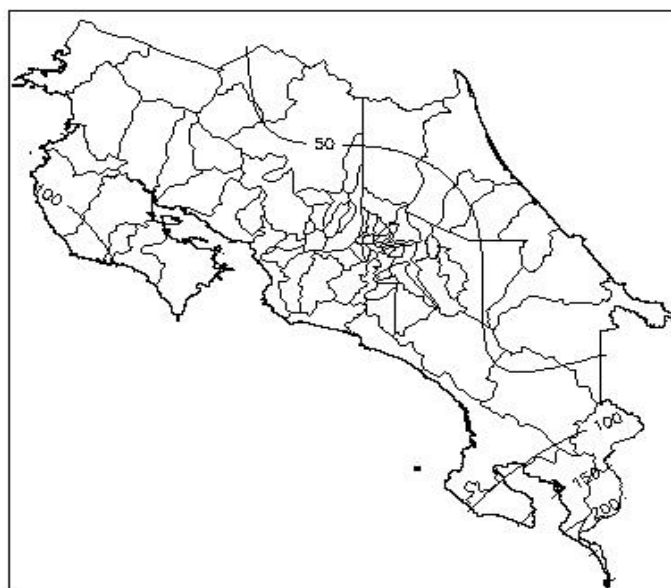
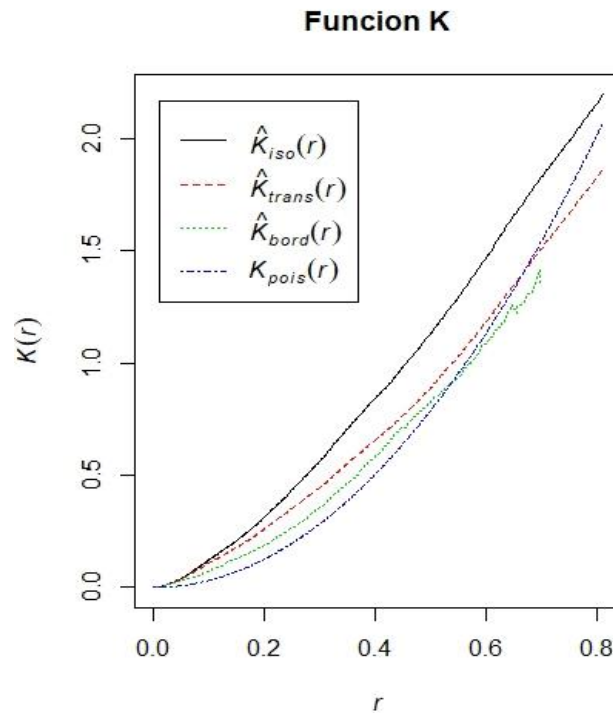


Figura 5. Curvas de nivel de la densidad espacial de los sismos en el territorio terrestre de Costa Rica, 2010-2017



En las Figuras 4 y 5, no se logra observar concretamente la distribución de los sismos, dado que la mayoría se encuentran en la costa del país, por lo que lo se verifica estadísticamente con pruebas formales, por lo que se usa la función de Ripley que es realizar una cantidad de puntos dentro de una distancia dada de cada punto de los sismos.

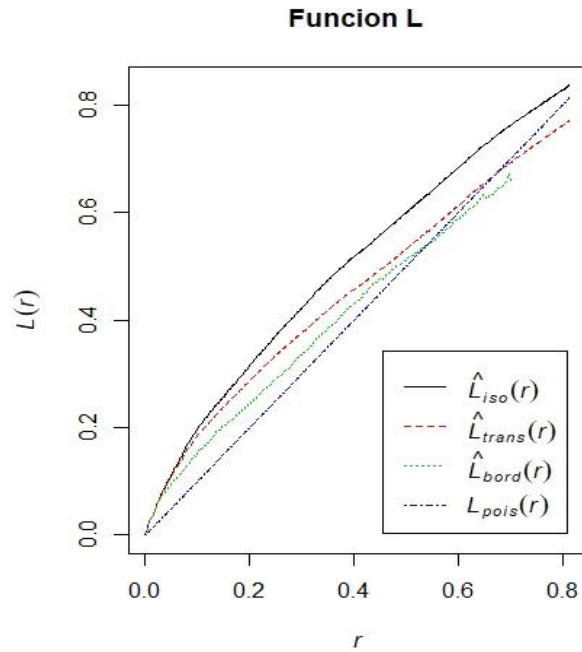
Figura 6. Resultados de la función K de los sismos en Costa Rica, 2010-2017



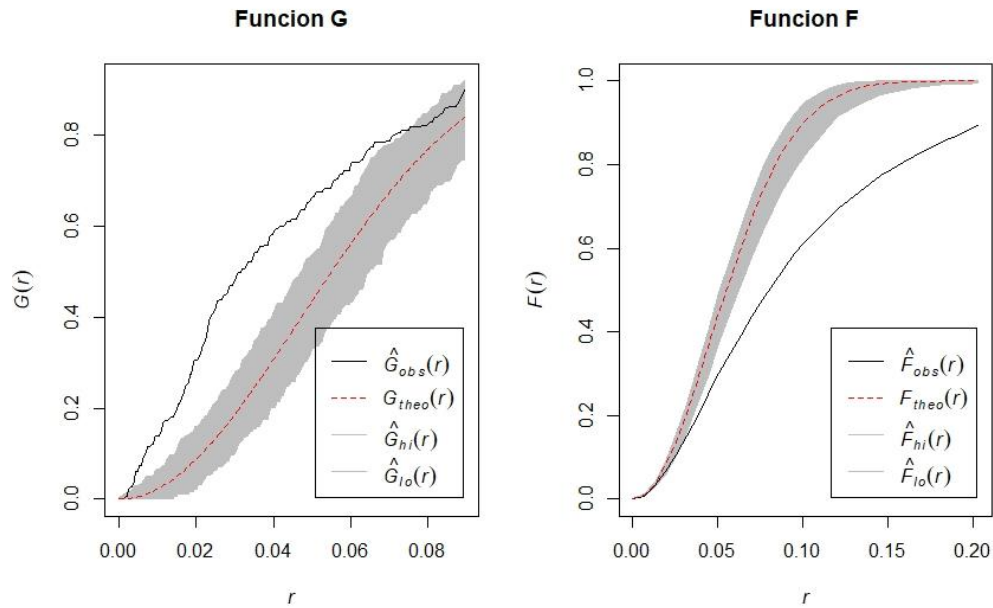
Según se observa en la Figura 6, la línea azul es la línea de referencia de la distribución teórica de Poisson, la línea verde muestra la distribución observada con la llamada corrección de borde de "muestra reducida", estadísticamente, este es el método de corrección de bordes menos eficiente, la línea roja representa la distribución observada usando la llamada corrección de borde de "traducción" y la línea negra es nuevamente la distribución observada usando la corrección de borde 'isotrópica'. En este caso la línea negra es mayor a la azul lo cual indica agrupamiento.

La naturaleza exponencial de la función K de Ripley hace que sea difícil interpretar los resultados correctamente, por lo tanto, es aconsejable corregir la distorsión exponencial. Esto se puede lograr usando la llamada "función L".

Figura 7. Resultados de la función L de los sismos en Costa Rica, 2010-2017



En la Figura 7, se observa que las desviaciones de la distribución de poisson "ideal" son mucho menos dramáticas a mayores radios que las indicadas por Ripley's K. Un problema con este enfoque es el hecho de que se compara los puntos observados con una distribución ideal que también depende de las observaciones, es decir, las distancias mínima y máxima entre los puntos. Además, para las funciones G y F, se observa que la distribución observada de los sismos no se ajusta de manera apropiada (ver Figura 8).

Figura 8. Resultados de la función G y F de los sismos en Costa Rica, 2010-2017

Posteriormente, se estiman dos modelos relacionados a los procesos puntuales, el modelo de Poisson no homogéneo con intensidad log-lineal y otro con intensidad log-cuadrática. El modelo homogéneo es estacionario e isotrópico, estacionario porque la intensidad es constante e isotrópico porque la intensidad de segundo orden depende solamente de la posición relativa de dos puntos (es decir, de la distancia y la dirección), los datos no siguen una distribución CSR, por lo que no se presenta un proceso poisson homogéneo.

Tabla 1
Modelo de Poisson no homogéneo con una intensidad que es log-lineal en las coordenadas cartesianas

Parámetro	Estimado	Intervalo de confianza (95%)		Ztest	Zval
Intercepto	-37,33	-50,55	-24,11	0,00	-5,53
x	-0,63	-0,80	-0,45	0,00	-7,01
y	-1,13	-1,34	-0,91	0,00	-10,18

En la Tabla 1, se muestran los coeficientes estimados del modelo homogéneo de Poisson, los resultados indican que la intensidad espacial de los sismos se encuentra asociada a la latitud y longitud, ambos coeficientes son significativos. En la Figura 9, se visualiza la intensidad ajustada por el modelo de Poisson homogéneo, donde se muestra que en la costa pacífica del país, en particular la parte sur, se intensifica mayormente los sismos.

Figura 9. Resultados de la Intensidad del modelo Poisson no homogéneo log-lineal de los sismos en Costa Rica, 2010-2017

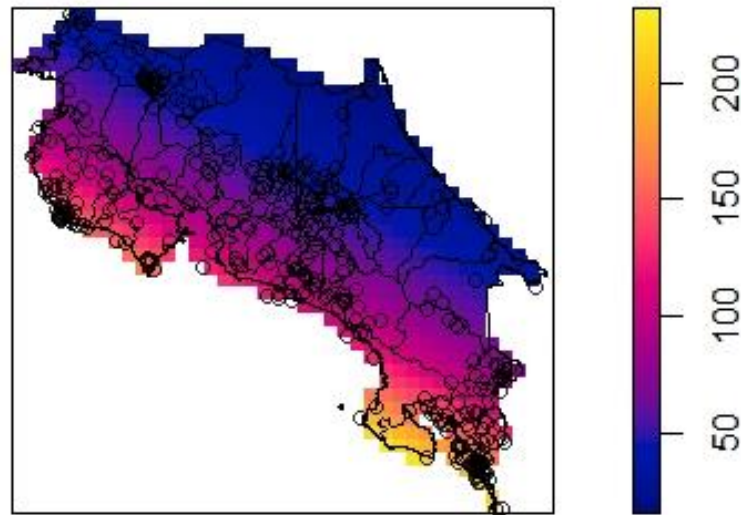
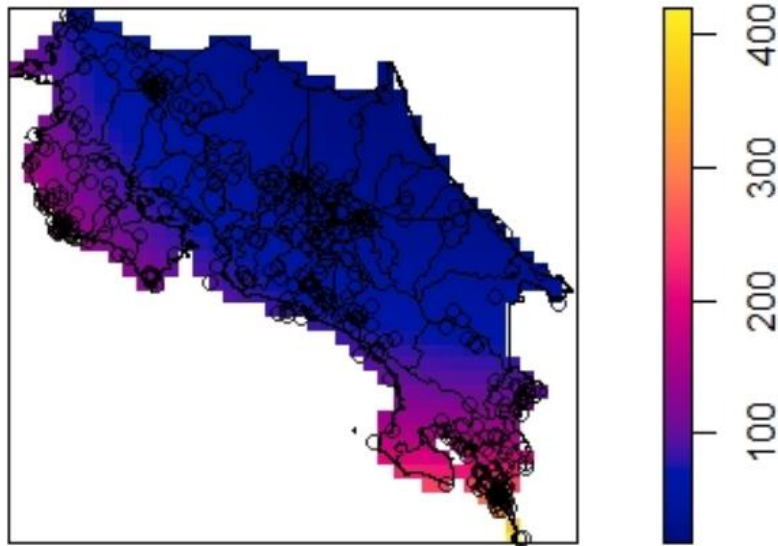


Tabla 2
Modelo de Poisson no homogéneo con una intensidad que es log-cuadrático en las coordenadas cartesianas

Parámetro	Regulares	Exponenciales
Intercepto	1247.02	Inf
x	28,13	1,64 e+12
y	-15,73	0,00
x^2	0,16	1,17
$x*y$	-0,14	0,87
y^2	0,16	1,17

Con respecto al modelo Poisson no homogéneo log cuadrático, los resultados de la estimación del modelo se encuentran en la Tabla 2. Se presenta que existe asociación entre la intensidad y las coordenadas de la ubicación de los sismos.

Figura 10. Resultados de la Intensidad del modelo Poisson no homogéneo log cuadrático de los sismos en Costa Rica, 2010-2017



Comparando ambos modelos de Poisson no homogéneos, se muestra que el modelo homogéneo log-lineal logra captar la intensidad en mayor parte del territorio nacional comparado con el no homogéneo log-cuadrático y además logra detectar mayor intensidad en los sismos en la zona sur de país que el modelo no homogéneo (ver Figuras 9 y 10).

CONCLUSIONES

Entre las principales conclusiones del estudio se identifica que las zonas donde se presentan la mayor cantidad de sismos en la costa pacífica del país, donde se ubica las placas Cocos y Caribe.

Con respecto a la dependencia espacial de los sismos en Costa Rica, según lo estimado en las funciones K, L, G y F; se presentan agrupamientos de los sismos en el territorio marítimo y terrestre.

Finalmente, con respecto a la estimación de los modelos Poisson no homogéneo, en el homogéneo log-lineal se presenta que la intensidad espacial de los sismos tiene una asociación con la ubicación (latitud y longitud). Además, el modelo homogéneo log-lineal detecta mayor intensidad en el territorio nacional que el modelo no homogéneo log cuadrático.

BIBLIOGRAFÍA

Red Sismologica Nacional (2019). Archivo Catalogo de sismos de Costa Rica.
Recuperado de: https://rsn.ucr.ac.cr/images/Sismologia/RSN_Catalogue.txt

Vallejos. S, Esquivel, L. y Hidalgo, M. (2012) Histórico de Desastres en Costa Rica (Febrero 1723 - Setiembre 2012) -- San José, C.R. : CNE, 2012. Recuperado de: <https://www.bvs.sa.cr/ambiente/4923.pdf>