

Aportes de la sismología a la reducción del riesgo

Contributions of Seismology to Risk Reduction

Mario Fernández Arce¹
Jorge Rodríguez Campos²

Resumen

Este artículo se refiere a los aportes de la Sismología a la reducción del riesgo a través del nuevo conocimiento generado recientemente, de estudios territoriales de amenaza sísmica y de aplicaciones a la evaluación del potencial de deslizamientos. Actualmente es más necesario dar a conocer la importancia del quehacer científico por cuanto los presupuestos para la investigación científica son cada vez más reducidos. El trabajo pretende que la Sociedad y las entidades estatales reconozcan y valoren la importancia de la Geofísica en la reducción de desastres y en la generación de bienestar y seguridad para la población. Esta publicación se basó en una investigación previa que requirió revisión documental, síntesis de estudios sismológicos y cálculo del parámetro de disparo de deslizamiento por sismo, utilizando datos de intensidad y aceleración sísmica. El resultado más importante es que el nuevo conocimiento y el dato sismológico sirve para reducir el riesgo y aumentar la protección, la seguridad y el bienestar de la población.

Palabras clave: sismología, amenaza, riesgo, conocimiento, terremotos.

Abstract

This article refers to the contributions of Seismology to risk reduction through the new knowledge generated recently, territorial studies of seismic hazards and applications to the evaluation of the landslide potential. Every day it is more necessary to promote the importance of scientific work, as budgets for scientific research are increasingly reduced. The work intends that the Society

¹ Preventec Gestión del Riesgo, S.A., San José, Costa Rica, correo electrónico: mario.fernandez@preventecgr.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3618-9995>.

² Preventec Gestión del Riesgo, S.A., San José, Costa Rica, correo electrónico: jerc315@gmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2316-0886>.

and state entities recognize and value the importance of Geophysics in disaster reduction and in the generation of well-being and security for the population. This publication was based on a previous investigation which required documentary review, synthesis of seismological studies and calculation of the landslide trigger due to earthquakes, using intensity and seismic acceleration data. The most important result is that the new knowledge and seismological data serve to reduce risk and increase the protection, safety and well-being of the population.

Key words: seismology, hazard, risk, knowledge, earthquakes.

Introducción

Este artículo contiene información sobre el aporte de la Geofísica y particularmente, de la Sismología, a la reducción del riesgo. En él se da a conocer nuevo conocimiento derivado de los últimos grandes temblores del planeta y como él contribuye con la reducción del riesgo. También se indica el uso de los datos sismológicos para hacer normas que llevan a la protección y seguridad de la población, particularmente en el cantón La Unión, de la provincia de Cartago, Costa Rica. Además, se menciona el uso del dato sismológico para reducir el desastre por deslizamiento.

La publicación se hace porque es bien sabido que una de las principales amenazas naturales para la humanidad son los terremotos. Ellos han causado y seguirán causando graves daños al ser humano y a las obras civiles construidas por él. Desde que iniciaron los estudios sismológicos hasta el presente se ha logrado adquirir conocimiento sobre los temblores, pero todavía no se sabe todo al respecto. Por tanto, deben continuar los estudios sobre los movimientos de la tierra, sobre las placas tectónicas y sobre cómo se fractura la tierra, cómo se generan los sismos, como está constituido el interior del planeta y como se amplifican las ondas sísmicas. En casi todos los países ha habido reducción de los recursos destinados a Ciencia y Tecnología por lo que cada día es más necesario dar a conocer la importancia del quehacer científico.

Se pretende que este trabajo sirva para recordar a la Sociedad que la sismología es importante porque ayuda a los expertos a realizar estudios sobre la ubicación de las fuentes sísmicas y sobre los eventuales daños que podría generar un terremoto o sismo. También para recordarle a las autoridades gubernamentales que los datos sismológicos son muy útiles en ingeniería sísmica para ver cómo va a impactar la llegada de las ondas en los edificios y traducirlos eventualmente en reglamentos constructivos o en algún otro producto ingenieril. Del dato sismológico surgen códigos sísmicos que repercuten directamente en la reducción de desastres e incrementan la seguridad y el bienestar de la población. Con este artículo se espera que los entes estatales y la Sociedad se enteren de la importancia de la Sismología en la reducción del riesgo y sigan aportando recursos para las investigaciones geofísicas.

La publicación surge de una investigación que requirió documentación bibliográfica sobre los últimos grandes temblores del planeta y el nuevo

conocimiento que surgió de ellos. Los anterior demandó la revisión de artículos publicados en prestigiosas revistas científicas internacionales (*Nature* y *Science*). También se compilaron resultados sobre el uso del dato sismológico para la estimación de la amenaza sísmica del cantón La Unión de la provincia de Cartago, Costa Rica, y la elaboración del Código Sísmico del país. Se hizo el cálculo del parámetro de disparo de deslizamiento por sismo, utilizando datos de intensidad y aceleración sísmica.

Entre los resultados más importantes destacan que los más recientes conocimientos derivados de la ocurrencia de los últimos grandes temblores del planeta han roto paradigmas que podrían haber contribuido a incrementar la magnitud del desastre generado por futuros eventos. También destaca que los datos sismológicos han permitido elaborar un código sísmico que contribuye con la protección, seguridad y bienestar de la población costarricense. Y, finalmente, que el dato sismológico ayuda a conocer la susceptibilidad a deslizamiento del suelo.

Metodología

Este trabajo está basado en una revisión documental que incluyó artículos científicos, tesis y notas de prensa sobre sismicidad. Fue necesario estudiar publicaciones sobre estimaciones de zonas de riesgo y sus respectivos mapas, sobre la magnitud de los temblores generados por movimientos a lo largo de fallas geológicas y sobre el disparo de temblores distantes a causa de grandes terremotos locales. Mediante el análisis de los documentos se escogieron aquellos útiles para la elaboración del artículo y se clasificaron de acuerdo con los contenidos. Posteriormente se extrajo la información pertinente y relevante para el objetivo propuesto. Luego del análisis se hizo una síntesis de los datos provenientes de las diversas fuentes y se presentaron en formato de publicación, con su respectiva evaluación e interpretación.

Previo a este trabajo se hizo la investigación titulada: Determinación de amenazas y vulnerabilidad mediante la generación de indicadores, a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG): Estudio de caso: Cantón, La Unión, Cartago, Costa Rica, la cual correspondió con un proyecto de tesis de Maestría (Rodríguez, 2020). Tal investigación contiene aportes de la sismología a la reducción del riesgo del cantón La Unión. El impacto de temblores pasados en el área de estudio se comprobó con notas periodísticas sobre sismos históricos locales y otros documentos relacionados con fallamiento y sismicidad del cantón La Unión.

Finalmente, se estimó el parámetro sísmico de la fórmula de la metodología Mora-Varhson para determinar la susceptibilidad a deslizamiento, calculando el porcentaje de la aceleración de la gravedad asociada a la aceleración pico encontrada por Climent et al. (2008) en La Unión. El valor resultante fue comparado con los rangos de porcentaje propuestos en dicha metodología, a los cuales

corresponde un valor del parámetro sísmico buscado. La fórmula previamente indicada es la siguiente:

$$H = (Sl * Sh * Sp) * (Ds + Dll)$$

Donde:

H: Susceptibilidad a deslizamiento

Sl: valor del parámetro de susceptibilidad litológica,

Sh: valor del parámetro de humedad del terreno,

Sp: valor del parámetro de la pendiente

Ds: valor del parámetro de disparo por sismicidad,

Dll: valor del parámetro de disparo por lluvia

Resultados

Reducción de desastres con nuevo conocimiento

Cuanto más conozcamos los procesos del interior de la tierra más capacidad tendremos para gestionar el riesgo sísmico. El conocimiento erróneo puede conducir al desastre y definitivamente, no se conoce todo sobre el proceso sísmico, pese a que han transcurrido miles de años desde que iniciaron los estudios sismológicos. Prueba de ello es que los último grandes temblores que han ocurrido en el planeta tierra han roto importantes paradigmas como los que se describen a continuación.

Paradigma 1. Los grandes temblores solo ocurren en las zonas consideradas de alto potencial sísmico. Esta idea se consideraba una verdad irrefutable y lógica. Pero este paradigma cayó con el terremoto de Japón de marzo del 2011, el cual ocurrió en una zona que no estaba entre las áreas de mayor potencial sísmico de dicho país. De hecho, Lay (2012) indicó que, aunque los grandes temblores individuales aun nos sorprendan, ha ocurrido el más importante cambio en nuestro pensamiento y es que debemos permitir la posibilidad de ocurrencia de grandes temblores en zonas donde nosotros pensábamos que el potencial no existía. Bela (2014) mostró en un mapa temblores que ocurrieron en zonas consideradas de baja amenaza.

Paradigma 2. Los temblores generados por fallas no alcanzan gran magnitud. En abril del 2012 ocurrió un temblor de magnitud 8,7 frente a la costa de Sumatra, Indonesia, seguido por una réplica de 8,2 unas horas después. De acuerdo con Universidad de California en Santa Cruz (2012), dicho evento fue sorprendente y el más grande jamás registrado en medio de una placa tectónica e implicó una ruptura sin precedentes (Yue *et al.*, 2012; Meng *et al.*, 2012). De acuerdo con Yue *et al.* (2012), la ruptura atravesó la corteza y se extendió otros 30 a 40 kilómetros hacia el manto superior. En el informe de la Universidad de California, se indicó que nadie estaba anticipando un temblor de este tamaño y tipo.

Paradigma 3. Los temblores no provocan sismicidad lejos de ellos. En nota de la Universidad de California en Berkeley (2012) sobre el paradigma, el investigador Roland Burgmann indicó: "Hasta ahora los sismólogos siempre hemos dicho no se preocupe sobre temblores distantes disparados por temblores locales" (traducción de los autores). Burgmann también dijo que encontraron muchos temblores alrededor del mundo que significativas sacudidas a nivel local que de haber ocurrido en zonas urbanas habrían sido potencialmente destructivos. Velasco et al. (2008) propusieron que pequeños temblores pueden ser disparados por cambios locales del campo de esfuerzos provocados por el paso de ondas sísmicas superficiales provenientes de grandes temblores remotos; tales autores concluyeron que el disparo dinámico de temblores es un fenómeno obicuo (en todas partes al mismo tiempo) independientemente del ambiente tectónico del evento principal. Pero Pollitz et al. (2012) mostraron que la tasa de ocurrencia de terremotos remotos $M \geq 5.5$ aumentó casi cinco veces durante seis días después del evento de 2012 de Indonesia del 2012, y se extendió en magnitud a $M \leq 7$.

Bela (2014) menciona errores en pérdidas humanas esperadas debidos a incorrectas estimaciones de la amenaza sísmica. Si la exposición, inseguridad y muerte de las personas se debe a los incorrectos cálculos, que carecen de información precisa y se apoyan en datos inciertos, el nuevo conocimiento contribuirá con la reducción del riesgo por cuanto eliminará la falsa expectativa de seguridad y de menor peligro en una zona consideradas de bajo riesgo. En relación con lo anterior, la identificación del riesgo, que incluye la determinación objetiva de las amenazas y vulnerabilidades, es necesaria para la reducción del riesgo de desastre (Fernández y Chavarría, 2012)

La detección y ubicación de grandes temblores provocados por fallas geológicas contribuye con la reducción del riesgo porque deja atrás una idea equivocada que podría conducir a un desastre en caso de restar magnitud a un evento cortical de origen cercano a centros de población. Y, finalmente, saber que un gran temblor puede provocar temblores de significante magnitud a grandes distancias, puede contribuir con la preparación de las personas y con ello, con la prevención de un desastre. Y, como se dijo previamente, desconocer o ignorar esa información podría conducir a desastres. Afortunadamente ahora si sabe más de temblores que antes de que ocurrieran los últimos grandes sismos del planeta y eso nos hace más resilientes, es decir, más hábiles para enfrentarlos.

Aportes a la reducción de desastres en el cantón La Unión

Ei territorio de La Unión tiene fuentes sísmicas corticales pues es atravesado por la falla inversa Cipreses (Montero, 2001; Fernández y Montero, 2002; Montero et al., 2005; Rodríguez, 2016). El cantón La Unión ha experimentado destructivos temblores que han ocurrido dentro de él, como el de la madrugada del 21 de febrero de 1912 (magnitud 5,7 según RSN, 2023) que causó temor y estrago en Tres Ríos, cabecera del cantón, y fue sentido en casi todo el país. Sobre el impacto

y los daños del evento en esa ciudad, el periódico El Noticiero (22 de febrero de 1912) indicó:

En esta población el movimiento ha sido tan fuerte, como nunca recuerdan haberse observado. Fue de más duración y más intensidad que cualquiera de los sentidos en 1910. Los daños aquí son muchos; el edificio escolar y el municipal están en ruinas, hay que destruirlos. El muro del cementerio, donde están los nichos, se rajó en gran parte, abriéndose las tumbas y quedando a descubierto los cadáveres. En las calles alrededor de la plaza se abrieron varias grietas. El río Chiquito, que corre como a 300 metros al Este de la villa se secó. La autoridad envió una comisión a investigar la causa. El comercio ha tenido grandes pérdidas. Todos los habitantes de esta población se alarmaron y al huir de sus casas algunos se golpearon.

Gracias a los datos sismológicos (sismos y sus parámetros, fallas geológicas, zonas de subducción, aceleración sísmica) se ha logrado determinar la amenaza sísmica de un país (Climent *et al.*, 2008) y hasta de regiones que contienen varios países (Benito *et al.*, 2012). Y esa información es utilizada para conocer la amenaza de zonas aún más pequeñas, como es el caso del cantón La Unión, de la provincia de Cartago, Costa Rica. La figura 1, que deriva de la investigación de Climent *et al.* (2008), muestra dos zonas de amenaza sísmica de dicho cantón. La zona 1 es la banda territorial con las mayores aceleraciones sísmicas del país las cuales varían entre 501 y 601 gales. La zona 2 es de un rango de aceleración menor que oscila entre 451 y 500 gales (1 gal es igual a 1 cm/s^2). En la primera banda territorial ocurren las mayores aceleraciones producidas por los temblores del país y, por ende, los mayores esfuerzos sísmicos. La otra pequeña parte del cantón está en la banda de aceleraciones que varía entre los 451 y 500 gales, lo cual quiere decir que es la segunda zona sísmica en orden de importancia del país. Los esfuerzos sísmicos actúan sobre las obras civiles y si estas no son sismorresistentes, pueden colapsar y causar la muerte a quienes estén en ellas al momento de un eventual desplome (USGS, 2023).

De los estudios de amenaza sísmica surgen códigos y normas que sirven para construir adecuadamente obras civiles que resistan el embate de las ondas sísmicas y los esfuerzos asociados a ellas. En Costa Rica ya se dio ese paso al elaborar un código sísmico en cuya última versión es del año 2010. En dicho instrumento se indica que la aceleración media que debe ser usada para la construcción de obras civiles en el cantón La Unión son las que se indican en el Cuadro 1.

Por lo anterior, los datos sismológicos constituyen valiosa información para construir obras seguras y resistentes a sismos. Y si las construcciones son sismorresistentes, la población estará segura dentro de ellas (Figura 2).

Aportes a la reducción del desastre por deslizamiento

Mora (2011) indicó que la sismicidad es el factor natural que más deslizamientos ha generado en el mundo. En relación con ello, los temblores pueden desestabilizar suelos no consolidados y disparar deslizamientos en zonas de alta pendiente,

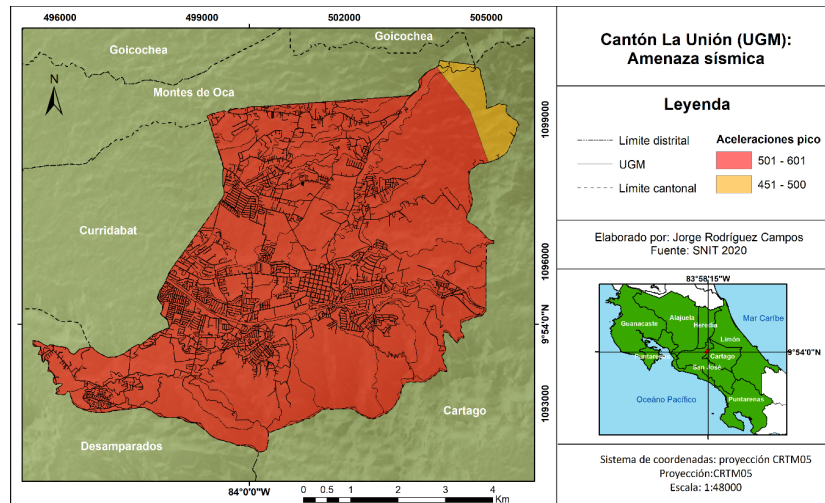


Figura 1. Amenaza sísmica del cantón La Unión. Adaptada de Climent et al. (2008).

Cuadro 1. Aceleración Pico Efectiva de Diseño para un periodo de retorno de 475 años para el cantón La Unión (zona sísmica III del Código Sísmico de Costa Rica).

Tipo de suelo	Aceleración Pico Efectiva
S1	0.30
S2	0.33
S3	0.36
S4	0.36

Sitio tipo S1 Un perfil de roca o suelo rígido o denso con propiedades semejantes a la roca. Sitio tipo S2 Un perfil de suelo con condiciones predominantes de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido. Sitio tipo S3 Un perfil de suelo con 6 a 12 m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o con más de 6 m de suelos no cohesivos de poca o media densidad. Sitio tipo S4 Un perfil de suelo que contenga un estrato de más de 12 m de arcilla suave. Fuente: Código Sísmico de Costa Rica.

creando daños y pérdidas considerables, si los movimientos de masas afectan asentamientos humanos. Tal fue el caso del terremoto de magnitud 7,6 Mw del 13 febrero del 2001 que ocurrió frente a las costas salvadoreñas. De acuerdo con Evans y Bent (2004), el deslizamiento de Las Colinas fue uno de los miles disparados por el mencionado temblor y fue tan destructivo que causó la muerte a 585 personas aproximadamente. Ante esta evidente realidad, se incluyó dicho factor sísmico en una metodología para estimar la susceptibilidad a deslizamientos de la Corteza Terrestre. Dicha metodología, denominada Mora Varhson, relaciona



Figura 2. Los códigos sísmicos generan obras seguras y protección a la población.

el potencial de generación de deslizamientos con la intensidad de los temblores y las aceleraciones causadas por ellos.

La fórmula de la metodología Mora-Varhson es $H = (SI * Sh * Sp) * (Ds + DII)$, donde Ds es el parámetro de disparo por sismicidad. Como se indicó, para encontrarlo se utilizan las intensidades y las aceleraciones como se aprecia en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Valoración del disparo por sismo Ds

Intensidad Mercalli-Modificada	Aceleración pico (%g) (Trifunac y Brady, 1975)	Valoración del parámetro D
I	0,3-0,6	1
II	0,6-1,1	2
III	1,1-2,2	3
IV	2,2-4,5	4
V	4,5-8,9	5
VI	8,9-17,7	6
VII	17,7-35,4	7
VIII	35,4-70,5	8
IX	70,5-140,8	9
X	140,8-280,8	10
XI	280,8-560,4	11
XII	>560,4	12

Fuente: Mora *et al.* (1992)

Considerando las dos zonas de amenaza sísmica de La Unión (Figura, 1), sabiendo que las aceleraciones en la zona de mayor amenaza oscilan entre 501 y 601 Gales o cm/s^2 , se puede averiguar el porcentaje de g (%g) correspondiente a esos valores. Para ello debemos tomar en cuenta que si un $\text{Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$ la Aceleración de la Gravedad, cuya magnitud es 9.81 m/s^2 , es equivalente a 981

Gales. Por tanto, al multiplicar el valor de la aceleración sísmica (Pico) por 100 y dividir el resultado entre el total de Gales de la Aceleración de la Gravedad ($501 \times 100 / 981$) obtendremos el porcentaje de la Aceleración de la Gravedad correspondiente al valor de la aceleración sísmica de una zona. Así, para el rango de aceleración sísmica de la zona de mayor amenaza sísmica de la Figura 1, los porcentajes son 51,1% y 61,3%. Haciendo lo mismo, se obtiene que los porcentajes de la otra zona sísmica son 45,97% y 50,97%. Estos valores se comparan con los del cuadro 2 y se obtiene que el parámetro de disparo por sismo de la zona de mayor amenaza es 8 y corresponde con la intensidad VIII. El parámetro de la otra zona es también 8. Una vez obtenido ese valor de disparo por sismo, se introduce en la ecuación para cálculo de la susceptibilidad a deslizamientos de la Metodología Mora-Vahrson. Con este valor se contribuye a estimar la susceptibilidad a deslizamientos en el cantón La Unión, un territorio donde ha habido muertes a causa de este evento natural. Esta es otra manera en que el dato sismológico contribuye con la reducción del riesgo.

Conclusiones

El nuevo conocimiento científico sobre sismicidad, obtenido gracias a la existencia de redes y centros sismológicos, es útil para manejar de manera más precisa el riesgo sísmico y reducirlo, previniendo así la materialización del desastre. Ese conocimiento ha roto paradigmas importantes que podían inducir a error en la estimación del riesgo y conducir a estados de seguridad y confianza nocivos, capaces de incrementar la magnitud de un desastre.

Uno de los mayores aportes del dato sismológico a la reducción del riesgo es que constituye la materia prima para la elaboración de códigos sísmicos, cuyo fin es construir obras resistentes a sismos. Esas obras dan seguridad y protegen a la población del poder destructivo de un terremoto por lo cual, la Sismología en particular y la Geofísica en general, verdaderamente sirven para prevenir desastres y mitigar el impacto de los sismos.

Entre otros aportes, el dato sismológico es importante para calcular la susceptibilidad a deslizamiento, otra amenaza que suele provocar destrucción y muerte del ser humano.

Agradecimiento

Agradecimiento póstumo Luis Palma (qdDg) por colaborar con la búsqueda de datos y a la empresa Preventec Gestión de Riesgos S. A. por aportar una imagen de la Figura 2.

Bibliografía

- Bela, J. (2014), Too generous to a fault? Is reliable earthquake safety a lost art? Errors in expected human losses due to incorrect seismic hazard estimates, *Earth's Future*, 2, 569–578, DOI:10.1002/2013EF000225.
- Benito, M., Lindholm, C., Camacho, E., Climent, A., Marroquin, G., Molina, E., Rojas, W., Escobar, J., Talavera, E., Alvarado, G., Torres, Y., (2012). A New Evaluation of Seismic Hazard for the Central America Region. *Bulletin of the seismological society of America*, 504-523 .
- Climent, A., Rojas, W., Alvarado, G., Benito, B. (2008). Evaluación de la Amenaza Sísmica en Costa Rica. Informe interno, Proyecto RESIS II, 122 pp.
- El Noticiero* (22 de febrero de 1912). Los temblores de la madrugada de ayer se sintieron en toda la república, alarmando a todos sus habitantes.
- Evan, S, Bent, A. (2004). The Las Colinas landslide, Santa Tecla, A highly destructive flowslide triggered by the January 13, 2001, El Salvador Earthquake, In: Rose, W, Boomer, J., López, D., Carr, M., Major, J. (Eds.), *Natural Hazards in El Salvador*. Boulder, Colorado, Special Paper 375, p. 25-37.
- Fernández, M., Chavarría, A. (2012). *Las TIC y la gestión de riesgo a desastres, en: Hacia la Sociedad de la Información y el Conocimiento*. PROSIC, Universidad de Costa Rica.
- Fernández, M., Montero, W. (2002). Fallamiento y sismicidad entre Cartago y San José. *Rev. Geol. Amer. Central*, 26, 25-37.
- Lay, T. (2012). Why giant earthquakes keep catching us out, *Nature*, Vol. 483: 149-150.
- Meng, L., Ampuero, J., Stock, J., Duputel, Z, Luo, Y., Tsai, V. (2012). Earthquake in a maze: compressional rupture branching during the 2012 Mw 8.6 Sumatra earthquake, *Science*, 337, 724–726.
- Montero, W. (2001). Neotectonica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca Panama, *Rev. Geol. Amer. Central*, 24, 29-56.
- Montero, W., Barahona, M., Taylor, W. (2005). Los sistemas de falla Agua Caliente y Río Azul y relevos compresivos asociados, valle central de costa rica. *Rev. Geol. Amer. Central*, 33, 7-27.
- Mora, R. (2011). Análisis de la Vulnerabilidad Global en el Barrio Corazón de Jesús, La Uruca, San José. San José: Trabajo Final de Graduación, Maestría en Gestión del Riesgo en Desastres y Atención de Emergencias. Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica.
- Mora, R., Vahrson, W., Mora, S. (1992). *Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. San José, Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC) .
- Pollitz, F., Stein, R., Sevilgen, V., Bürgmann, R. (2012). The 11 April 2012 east Indian Ocean earthquake triggered large aftershocks worldwide. *Nature*, 490, 250–253.
- Rodríguez, E. (2016). Evaluación neotectónica de la falla Cipreses, y sus implicaciones en la zonificación del uso del suelo en los cantones Montes de Oca, Curridabat y La Unión. Tesis de Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 94 pgs

- Rodríguez, J, (2020). *Determinación de amenazas y vulnerabilidad mediante la generación de indicadores, a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estudio de caso: Cantón, La Unión, Cartago, Costa Rica*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Sede Costa Rica.
- RSN (Red Sismológica Nacional) (2023), Sismos históricos. <https://rsn.ucr.ac.cr/actividad-sismica/sismos-historicos>.
- Universidad de California, Santa Cruz (2012). Study reveals complex rupture process in surprising 2012 Sumatra quake. Newscenter, Home / 2012 / September / 2012 Sumatra earthquake. <https://news.ucsc.edu/2012/09/sumatra-earthquake.html>.
- Universidad de California, Berkely (2012). Sumatra earthquake triggered temblors worldwide for nearly a week, research shows. Home, Earth, Earth Sciences.
- USGS (United State Geological Survey) (2023). Earthquake Facts & Earthquake Fantasy, Fact: Earthquakes don't kill people, buildings and their contents do <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquake-facts-earthquake-fantasy#:~:text=The%20deadliest%20earthquake%20in%20recorded,killed%20more%20than%2040%2C000%20people>.
- Velasco, A., Hernandez, S., Parsons, T., Pankow, K. (2008). Global ubiquity of dynamic earthquake Triggering. *Nature Geoscience*, 1, June.
- Yue, H., Lay, T. Koper, K., 2012. En échelon and orthogonal fault ruptures of the 11 April 2012 great intraplate earthquakes. *Nature*, 490, 240–244. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nature11492>.

