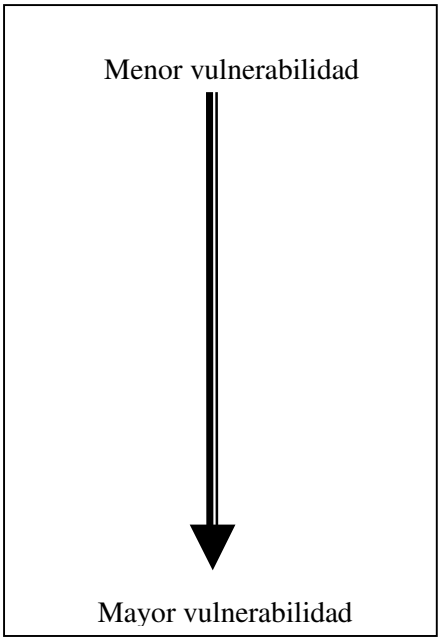
6 VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES

Dado que se disponía del Catastro Municipal, lote por lote, en formato digital ArcView, además de información relacionada con cada uno de ellos, obtenida de la encuesta e inventario realizado a principios del año 2003, como parte de este proyecto, se decidió realizar un análisis preliminar de vulnerabilidad física de las edificaciones localizadas en la ciudad de Cañas.

Debido a que en Costa Rica no se cuenta con funciones de vulnerabilidad o matrices de daño para edificaciones tipo, en vez de utilizar las desarrolladas en otros países, se decidió realizar un análisis cualitativo de la vulnerabilidad física, basado en consideraciones sobre el comportamiento de los diferentes sistemas constructivos ante sismos, calidad del diseño y construcción, edad, condición física aparente, y a relaciones empíricas desarrolladas a nivel mundial referentes al nivel de daños esperados de acuerdo al tipo de estructura y el nivel de intensidad sísmica (Sauter, 1989; Kramer, 1996; Wald *et. al*, 1999). En la figura 11 se presentan los diferentes tipos constructivos identificados en la ciudad de Cañas.

Fig. 11: Edificaciones tipo identificadas en la ciudad de Cañas.

Parta efectos de realizar el análisis, se consideró inicialmente que las edificaciones tipo de la ciudad de Cañas, presentan una vulnerabilidad física, ante sismos, menor o mayor de acuerdo al orden en que se presentan a continuación. Es conveniente indicar que esta valoración es específica para esta ciudad y de este estudio en particular.



- Edificios de concreto, casas de bloques de concreto reforzados o confinados.

- Casas prefabricadas: hay control de calidad del concreto y del refuerzo en fábrica. Aunque se pueden presentar problemas en la fase constructiva debido a desconocimiento del método.

- Mixtas-Bloques y madera: Se pueden presentar cambios de rigidez y problemas en las juntas.

- Casas de madera: Aunque es conocido el buen comportamiento de las edificaciones de madera ante sismos, en el caso de la ciudad de Cañas se considero que la mayoría de ellas están bastante viejas y deterioradas y presentan problemas de tipo constructivo.

La vulnerabilidad de estas edificaciones además estará influenciada por la edad de las mismas y el aspecto o condición física aparente, de tal forma que edificaciones más viejas y más deterioradas presentan mayor vulnerabilidad y lo contrario en el caso de edificaciones más recientes y de una buena condición física aparente. Otro aspecto que fue considerado a la hora de evaluar la edad, fue que el primer Código Sísmico de Costa Rica, que da la normativa de diseño antisísmico, fue publicado en el año 1986, por lo que se esperaría un mejor diseño de la estructuras a partir de dicho año. Los niveles de daños esperados representados como mayor, considerable, moderado a menor y menor

Utilizando la base de datos lote por lote, se prepararon los mapas temáticos relacionados a tipo constructivo (TC), edad (ED) y condición física aparente (CFA) (ver Anexo I). Luego los mapas fueron cruzados entre sí, primero TC con ED y luego TC con CFA, para ambas combinaciones se obtuvieron niveles de daño para I(MM) de VII y VIII, de acuerdo a los resultados del estudio de amenaza sísmica. Los mapas resultantes de estas dos combinaciones fueron cruzados, luego las combinaciones fueron reclasificadas escogiéndose la peor condición y obteniéndose los mapas finales de vulnerabilidad física ante sismos que se muestran en las figuras 12 y13. Es importante indicar, que debido a la representación de estos mapas lote por lote, en algunos casos se puede generar una falsa indicación de grandes áreas vulnerables o riesgosas, cuando realmente lo que se encuentra es la presencia de pequeñas y únicas construcciones ubicadas en grandes lotes, por lo que se debe tener cuidado a la hora de interpretar estos mapas, especialmente en estos casos.

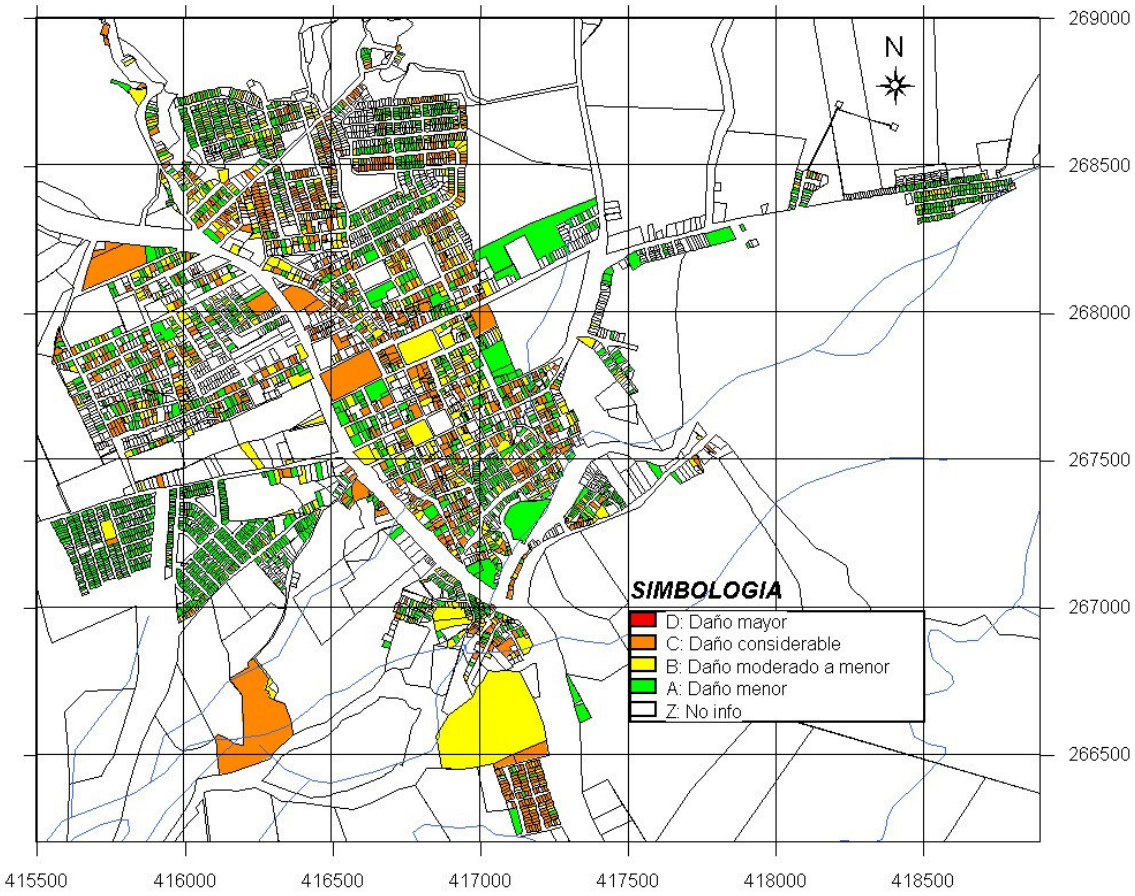


Fig. 12: Mapa de riesgo sísmico en la ciudad de Cañas, cuantificado de acuerdo a la cantidad de daños esperado, dado que se presenta una Intensidad MM VII.

De acuerdo al mapa de la Figura 12 y a la estadística calculada, en el caso de presentarse una intensidad de grado VII Mercalli Modificada en la ciudad de Cañas, no se esperaría la ocurrencia de daños mayores en las edificaciones, un 68 % del total de ellas sufriría daños menores y un 32 % daños de consideración, por lo que un 25 % de la población se vería afectado de manera importante y de diferentes formas. Para el grado de intensidad VII (MM) los daños considerables están relacionados con edificaciones muy pobremente diseñadas y construidas.

En el caso del mapa de la Figura 13, se puede resumir indicando que de presentarse una intensidad de grado VIII Mercalli Modificada en la ciudad de Cañas, se esperaría que se presenten daños mayores en un 30 % y que un 28 % del total de edificaciones sufra daños de consideración, viéndose afectado un 50 % de la población. El resto de las edificaciones sufrirían daños menores. Para el grado de intensidad VIII los daños mayores y considerables están relacionados con edificaciones pobremente diseñadas y construidas. Se esperaría entonces que aquellas construcciones que hayan sido bien construidas y diseñadas para resistir cargas horizontales debido a sismo, sufran daños leves o moderados, fácilmente reparables y no estén propensas a colapso.

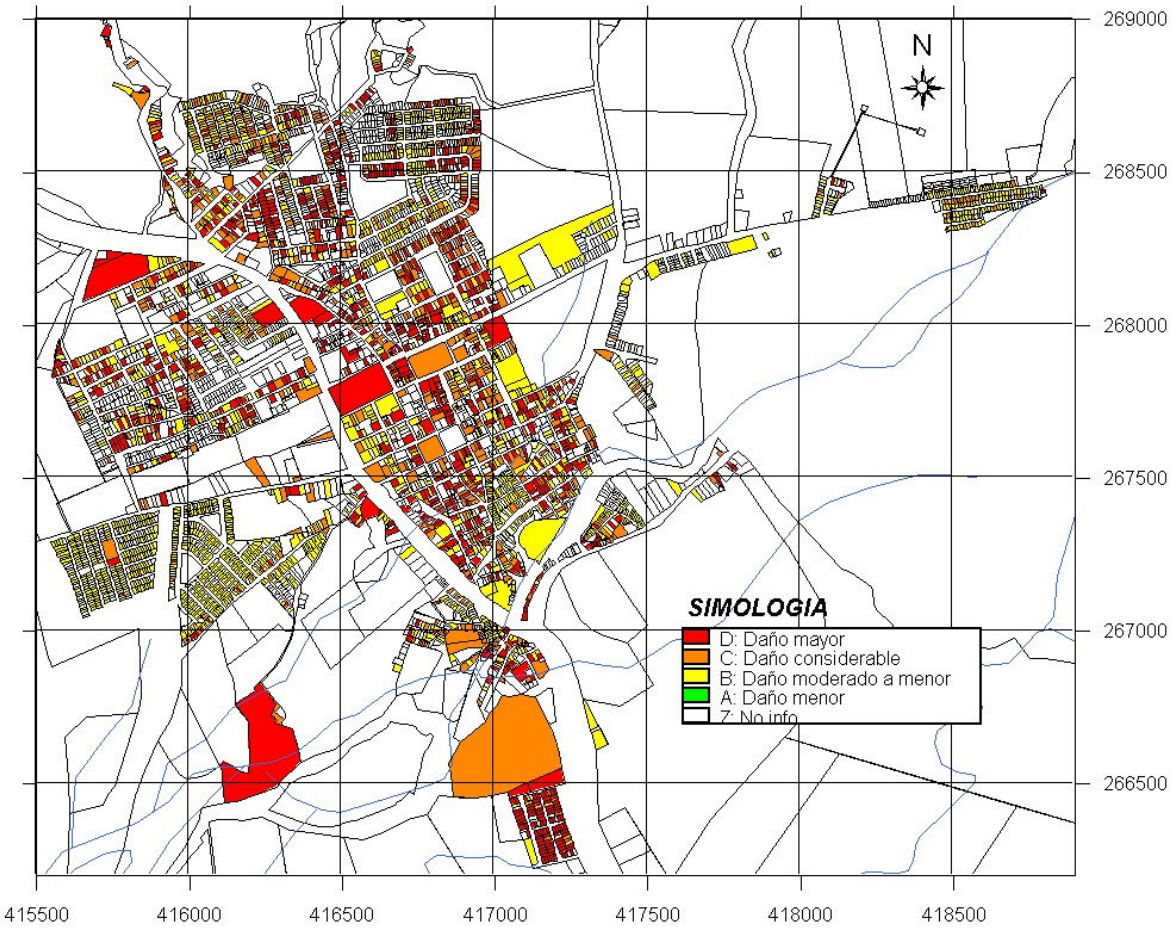


Fig. 13: Mapa de riesgo sísmico en la ciudad de Cañas, cuantificado de acuerdo a la cantidad de daños esperado, dado que se presenta una Intensidad MM VIII.

Se considera conveniente indicar que en la ciudad de Cañas las edificaciones que aparecen con estimación de daños indicados como mayores o considerables, posiblemente presentan problemas constructivos y deterioro por falta de mantenimiento, especialmente en las casas de madera, las cuales en general son bastante viejas. Una de las principales maneras de mitigar y reducir estos efectos, dado que ocurre un sismo severo, es la de mejorar la calidad del diseño civil y las prácticas constructivas utilizadas en nuevas edificaciones y reforzando las ya existentes.

Finalmente se preparó un mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Cañas considerando la combinación de la ocurrencia de sismo y la generación de fuego (Fig. 14). Para realizar este mapa se partió de los mapas temáticos tipo constructivo y tipo de energía utilizada para cocinar (ver Anexo I), considerando que las casas de madera son más vulnerables al fuego que las casa de concreto, y que el uso de cocinas que usan madera y gas para cocinar son más propensas a generar fuego que las que usan electricidad. En el Anexo I se incluye también un mapa de vulnerabilidad considerando solo la variable fuego y tipo constructivo (Fig. I-5). No

se incluyo en este mapa la ubicación de la estación de bomberos ni la distribución de los hidrantes disponibles.

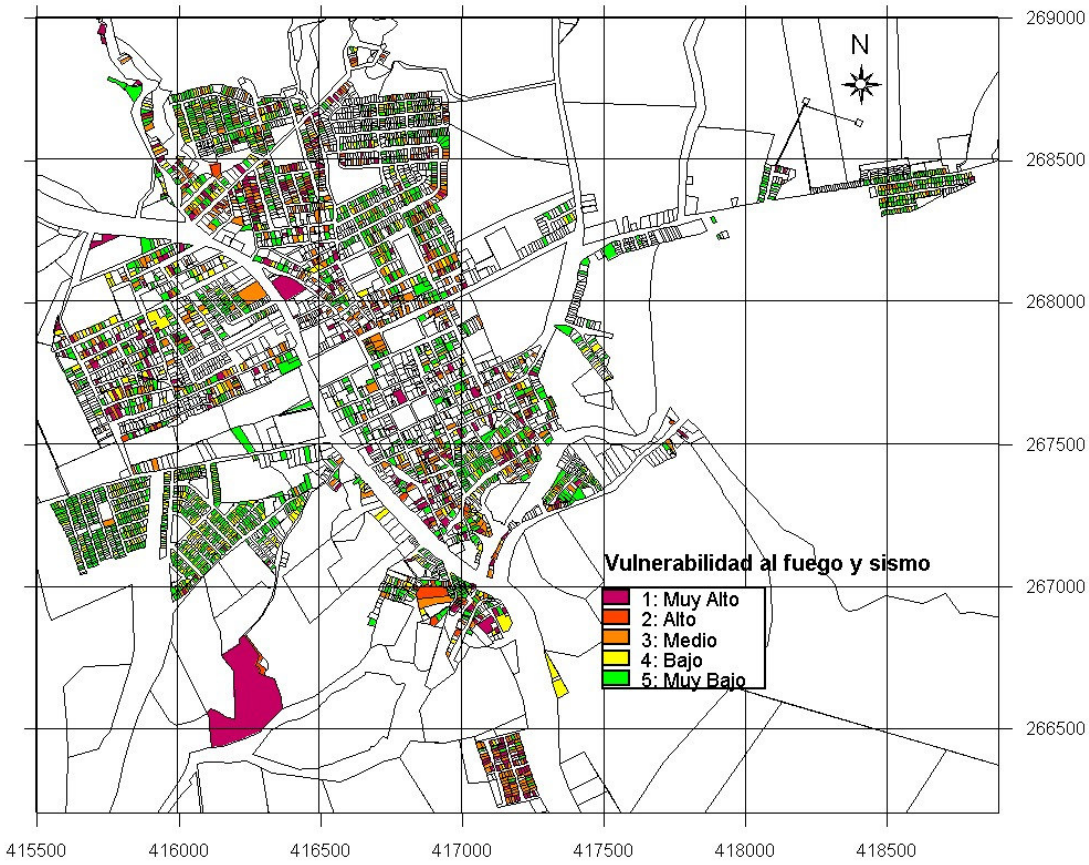


Fig. 14: Mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Cañas considerando sismo y fuego.

7 CONCLUSIONES

Del estudio determinístico de amenaza sísmica, se estimó que de ocurrir sismos de magnitud 7,7 y 6,5 en la zona de subdución (Península de Nicoya) y en la falla Chiripa o la Cote-Arenal respectivamente, en la ciudad de Cañas el terreno y edificaciones estarían expuestos a sacudidas sísmicas del grado VII y VIII de la escala Mercalli Modificada, por lo que las mismas serían percibidas por las personas de muy fuerte a severamente. En el caso de presentarse una intensidad de grado VII (MM), no se esperaría la ocurrencia de daños mayores en las edificaciones, un 68 % del total de ellas sufriría daños menores y un 32 % daños de consideración, por lo que un 25 % de la población se vería afectado de diferentes formas. En el caso de presentarse una intensidad de grado VIII, se esperaría que se presenten daños mayores en un 30 % y que un 28 % del total de edificaciones sufra daños de consideración, viéndose afectado un 50 % de la población. El resto de las edificaciones sufrirían daños menores. Efectos más severos podrían presentarse en sitios muy puntuales debido a condiciones especiales de los suelos o a deslizamientos en las regiones montañosas vecinas.

La menor o mayor vulnerabilidad física de la edificaciones en la ciudad de Cañas, es un reflejo de la calidad del diseño civil ante sismos y de los métodos constructivos utilizados. Los niveles de daños esperados e identificados como mayores o considerables, en los mapas de las figuras 12 y 13, indican que en estos lotes se presentan problemas constructivos y gran deterioro físico de las edificaciones. Lo anterior debido al envejecimiento, falta de mantenimiento, deterioro y falta de reforzamiento de las mismas, especialmente en las casas de madera que son muy viejas.

Los sismos son eventos naturales, cuya ocurrencia no puede ser evitada, por lo tanto aquellas regiones, zonas o ciudades que estén expuestas a ellos deben de estar preparados para mitigar sus efectos reduciendo la vulnerabilidad física de las edificaciones y líneas vitales.

8 RECOMENDACIONES

Para efectos de reducir la vulnerabilidad de cualquier tipo de proyecto de infraestructura a desarrollarse en la ciudad de Cañas, debido al impacto adverso de los efectos directos e indirectos de la ocurrencia de un evento sísmico, se recomienda diseñar y construir en forma correcta para disminuir la vulnerabilidad física. Lo anterior siguiendo la normativa nacional, como el Código Sísmico de Costa Rica 2002 y apoyándose en recomendaciones internacionales. A la vez establecer los controles del caso para que se cumpla con las especificaciones, cantidades y dimensionamientos propuestos en estos códigos de diseño.

Que las autoridades de la ciudad de Cañas utilice la información presentada en este informe, como el detonante para desarrollar planes de mitigación ante eventos sísmicos, que incluyan como punto importante la concientización de la población civil de la importancia de que sus viviendas y edificaciones estén bien construidas y se les de el mantenimiento y reforzamiento civil del caso, para efectos de reducir la vulnerabilidad de las mismas, y por lo tanto asegurar sus vidas.

La vulnerabilidad debido a la ocurrencia de efectos secundarios disparados por eventos sísmicos, podrá ser disminuida, si con respecto a los proyectos a desarrollar, se indica claramente la ubicación de zonas de laderas potencialmente inestables, depósitos marinos con potencial de licuefacción y valles de inundación, ya que estas condiciones locales aumentan el potencial de daños debido a la ocurrencia de un evento sísmico severo.

Es conveniente que los resultados aquí presentados sean complementados con estudios de vulnerabilidad de las líneas vitales en la región, que permitan tener una idea clara de la continuidad de la prestación de los servicios de electricidad, agua potable, telecomunicaciones, carreteras, puentes, etc.

9 REFERENCIAS

Alvarado, G., 1989: Consideraciones neotectónicas recientes en los alrededores de la Laguna de Arenal, Costa Rica. Boletín del Observatorio Vulcanológico del Arenal, 2(3):6-21.

Astorga, A., Fernández, J.A., Barboza, G., Campos, L., Obando, J., Aguilar, A. y Obando, L. G., 1991: Cuencas Sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburo. Rev. Geol. Amér. Central. 13: 25-59.

Bard, P., 1995: Local Effects on Strong Ground Motions. Basic Physical Phenomena and Estimation Methods for Microzonation Studies. International Trainning Course on Seismology and Seismic Hazard Assessment. Managua, Nicaragua. 33 pp.

Barquero, R., 1990: Sismicidad y tectónica de la región NW de Costa Rica, con énfasis en la zona del Proyecto Geotérmico Miravalles. Tesis de Licenciatura, Escuela C.A. de Geología, Univ. de Costa Rica, 90 pp.

Boschini, I. 1985: Informe preliminar de la actividad sísmica en la zona cercana al volcán Miravalles, abril-mayo 1985. Inf. Int. ICE. 3 págs.

Climent, A., Taylor, W., Ciudad Real, M., Strauch, W., Villagrán, M., Dahle, A., Bungun, H. 1994: Spectral strong motion attenuation in Central America. Tech. Report No. 2-17 NORSAR. 63 pp.

Climent, A. y Arroyo, I., 2002: P.H. Boruca, Estudio de Amenaza Sísmica. Inf. Interno ICE. C.S. Exploración Subterránea, PySA. 27 pp + figs.

Cornell, C.A., 1968: Engineering Seismic Hazard Analysis. Bull. Seismic. Soc. Amer., 58,(5), 1583-1606.

Giardini, D. y Basham, P. (eds.), 1993: Global Seismic Hazard Assessment Program. Istituto Nazionale di Geofisica, Annali di Geofisica, Special issue, UN/IDNDR. XXXVI, 3-4: vi + 257 pp.

Gutenberg, B y Richter, C., 1954: Seismicty of the Earth and Associated Phenomena. Hajner. New York.

ITC, 2001: ILWIS 3.0 Academic. User`s Guide. Unit Geo Software Development Sector Remote Sensing & GIS, IT Department. International Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Nederlands.

Jacob, K. H., Pacheco, J. y Santana, G., 1991: Seismology and Tectonics. En Costa Rica Earthquake of April 22, 1991-Reconnaissance Report. Earthquake Spectra, Supplement B to Volumen 7. 15-33.

Kramer, S., 1996: Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall. Civil Engineering and Engineering Mechanics Series. 653 pp.

Krinitzsky, E.L. Gould, J.P. y Edinger, P.E., 1993. Fundamentals of earthquake-resistant construction. -John Wiley & Sons, Inc., New York, xxviii + 299 pp.

Krinitzsky, E. L., 1995a: State of the Art for Assessing Earthquake Hazard in the United States. Selection of Earthquake Ground Motions for Engineering. U.S. Army Corps of Engineers. Report 29. 54 pp.

Krinitzsky, E. L., 1995b: Deterministic versus probabilistic seismic hazard analysis for critical structures. Engineering Geology 40:1-7.

Laporte, M., Lindholm, C., Bungum, H. y Dahle, A., 1994: Seismic hazard for Costa Rica. Technical Report No. 2-14, RONDICA Project. Kjeller, Noruega. 73 pp.

Laporte, M., Barquero, R. y Climent, A., 1995: Estudio de amenaza sísmica para los P.H. Peñas Blancas y Laguna Hule y el P.G. Miravalles III. Inf. Interno ICE. 56 pp.

Matumoto, T., Liaw, H.B., Guendel, F., Avila, G. y Olivares, E., 1978: Análisis de datos pasivos red sismográfica de Guanacaste. Inf. Interno ICE. 26 pp.

McGuire, R.K., 1976: FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis, USGS, Open File Report 76-67.

Miyamura, S. 1980: Sismicidad de Costa Rica. Ed. Univ. de Costa Rica. 190 pp.

Montero, W., 1984: Sismicidad y riesgo sísmico del Proyecto Sandillal, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. Inf. Interno ICE, 52 pp..

Montero, W., 1989. Sismicidad histórica de Costa Rica 1638-1910. Geof. Int., Vol. 28-3 , pp 531-559.

Montero, W., 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca de Panamá. Rev. Geológica de América Central, 24:29-56.

Montero, W. y Alvarado, G. E., 1988: Los terremotos de Bagaces de 1935 y 1941: Neotectonismo transversal a la Cordillera Volcánica de Guanacaste, Costa Rica. Ciencia y Tecnología: 12(1-2):69-87.

Mora, S. y Morales, L.D., 1986: Los sismos como fuente generadora de deslizamientos y su influencia sobre la infraestructura y líneas vitales de Costa Rica. 4° Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-reistente. Seminario de Ingeniería Estructural.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 3-8 noviembre de 1986, San José, 201-214.

Morales, L.D., 1983. Riesgos geológicos asociados con terremotos en los alrededores del Golfo de Nicoya. Bresensia 21:93-117.

Morales, L.D., 1985: Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores. Rev. Geol. de Amér. Central, 3:69-101.

Peraldo, G. y Montero, W., 1994: Temblores del período colonial de Costa Rica.- Ed. Tecnológica de Costa Rica. 162 pp.

Plafker, G. 1973: Field reconnaissance of the effects of the earthquake of april 1973 near Laguna de Arenal, Costa Rica. Bull. Seismol. Soc. Amer. 63:1847-1856.

Red Sismológica Nacional: Boletín sismológico de Costa Rica (1984-2002).

Reiter, L., 1991. Earthquake Hazard Analysis, Issues and Insights. Columbia University Press, New York. X+254 pp.

Rojas, W., Bungum, H. y Lindhom, C., 1993: A catalog of historical and recent earthquakes in Central America. -NORSAR report, 77 pp.

Rojas, W., Lindholm, C., Bungum, H., Boschini, I., Climent, A., Barquero, R., Alvarado, G., Soto, G., Montero, W., Ferámdez, M., Protti, M., Moya, A., Esquivel, L. y Schmidt, V., 1998: Seismic Hazard Analysis for the Metropolitan Area of the Central Valley, Costa Rica. Technical Report, Norsar, Norway. 58 pp.

Sauter, F., 1989: Fundamentos de Ingeniería Sísmica 1. Introducción a la Sismología. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 271 pp.

Tristán, J.F., 1916: The Costa Rica Earthquake of February 27, 1916.- Bull. Seism. Soc. Amer. 4:332-335.

Wald, D., Quitoriano, V., Heaton, T. y Kanamori, H., 1999: Relations between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra, Volume 15, No. 3, pp. 557-564.

White, R. A., and D. H., Harlow, 1993: Destructive upper-crustal earthquakes of Central America since 1900, Bull. Seismol. Soc. Amer., vol. 83, No. 4:1115-1142.