

**INSTITUTO COSTARRICENSE ELECTRICIDAD
Y SERVICIOS ASOCIADOS
C.S. EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA**



La amenaza sísmica en la zona de Cartago



Por: Geól. Rafael Barquero P.

ÁREA AMENAZAS Y AUSCULTACIÓN SÍSMICA Y VOLCÁNICA

Mayo 2010

Introducción

Tal y como ha sido identificado en diversos estudios e informes (Aguilar, 1980, Salazar et al., 1992; Alvarado & Boschini, 1988, Fernández & Montero, 2002, Montero et al. 2005), Cartago se encuentra localizada en un área sísmicamente activa y localmente caracterizada por la existencia de fallas activas y potencialmente activas. Aunado a ello tenemos la presencia de laderas inestables, en las cuales son frecuentes los deslizamientos. Por todo lo anterior, el área se considera como muy vulnerable a los terremotos.

Localmente, los daños asociados con la ocurrencia de un evento sísmico pueden ser el resultado de los efectos directos de la ruptura en superficie de fallas, o más probablemente debido a los efectos de la sacudida sísmica del suelo (propagación de las ondas sísmicas). Sin embargo, efectos secundarios relacionados con la sacudida sísmica, como lo es el comportamiento del suelo (deslizamientos y compactación de sedimentos), son los que preocupan más y pueden ser potenciales generadores de daños.

En el presente estudio, se realizó una revisión de la información sismológica. Para ello se utilizaron los datos que se tienen de la Red Sismológica Nacional, así como los nuevos aportes al conocimiento de la tectónica de la región de los últimos 25 años. Este estudio tiene como objetivo primordial, estimar las características de la sacudida sísmica en la zona de Cartago por la ocurrencia futura de sismos severos.

Sismicidad histórica

Dentro de la zona de Cartago se han presentado varios terremotos importantes durante los siglos XIX y XX (Cuadro 1, Fig. 1). De ellos, los más destructivos han sido los de 1841 y 1910 que provocaron gran cantidad de daños en las ciudades de Cartago, Paraíso y Tres Ríos, principalmente. El terremoto de 1912, generó severos daños en Tres Ríos y se originó posiblemente en alguna falla cortical cercana a esta ciudad. El terremoto de 1951, originó daños de importancia en Paraíso. Estos terremotos se originaron en el sistema de fallas Agua Caliente-Guarco-Coris (Montero & Miyamura, 1981). El sismo de 1841 parece ser originado en la Falla Lara (Peraldo & Montero, 1999), el de 1951 por su ubicación, puede estar asociado a la falla Agua Caliente o la Navarro. El terremoto de 1952 se ubica en el costado oeste del volcán Irazú, en la localidad de Patillos, en donde se generaron grandes deslizamientos (Montero & Alvarado, 1995).

Cuadro 1: Sismicidad histórica de la región Sur y SE del Valle Central

Fecha	Mag.	Intensidades Máx.
1841/09/02	6,4	IX
1910/04/13	5,2	VII
1910/05/05	5,5	VIII
1912/02/21	5,2	VII
1951/08/21	5,0	VII-VIII
1952/12/30	5,7	VII-VIII

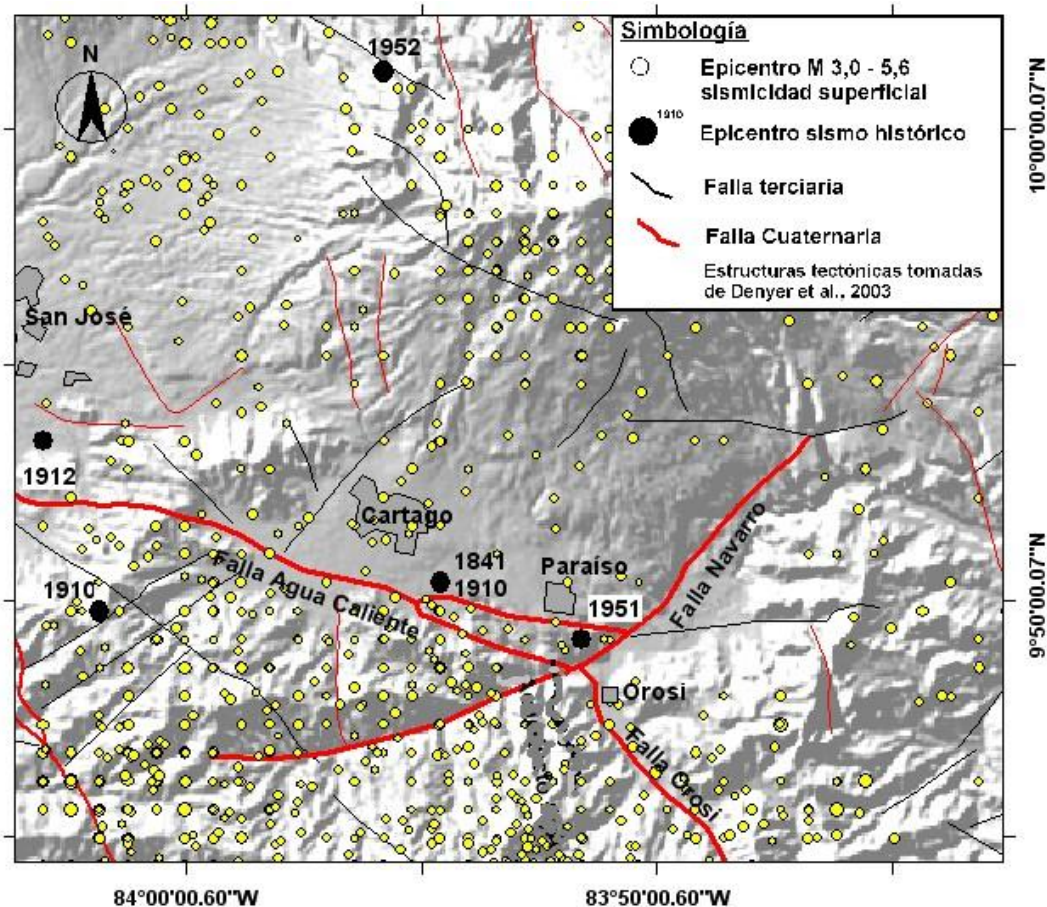


Fig. 1: Tectónica, terremotos históricos y sismicidad superficial (Prof. < 20 km) (1985-2005)

Sismicidad superficial reciente del Valle Central

La sismicidad dentro del Valle Central es dispersa con algunos focos ubicados hacia el norte de Cartago, NE y S de San José y Cartago (Fig. 1).

La sismicidad superficial registrada y localizada al sur y sureste del Valle Central en los últimos 20 años, se caracteriza principalmente por la ocurrencia de sismos de magnitud moderada a baja ($M = 2-4$), que se extiende por varios días o semanas, siendo las profundidades de los sismos por lo general menores a 20 km. La actividad sísmica más importante registrada por la Red Sismológica Nacional (RSN) en los últimos años en esta área ha sido la de 1990, año en que se produjeron varios enjambres sísmicos al sur de Tejar del Guarco, disparados por el terremoto de Cóbano del 25 de marzo de 1990 y posteriormente por el de Limón del 22 de abril de 1991. La mayor parte de la sismicidad en la zona es de moderada a baja, con gran cantidad de eventos de magnitud menor o igual a 3,0 tal y como se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Sismicidad superficial (prof. < 20 km) período 1985-2005 (RSN)

Rango mag.	M < de 3,0	3,0 <M < 4,0	4,0<M<5,0
Número sismos	933	151	7

Los principales sismos ocurridos en la zona durante los últimos 20 años se presentan en la Fig. 2 y Cuadro 3. Como se puede observar en la figura 2, hay una buena cantidad de eventos sísmicos en las cercanías o sobre las trazas de las fallas Agua Caliente, Navarro y Orosi, fallas muy importantes para la amenaza sísmica dada su cercanía a la ciudad de Cartago.

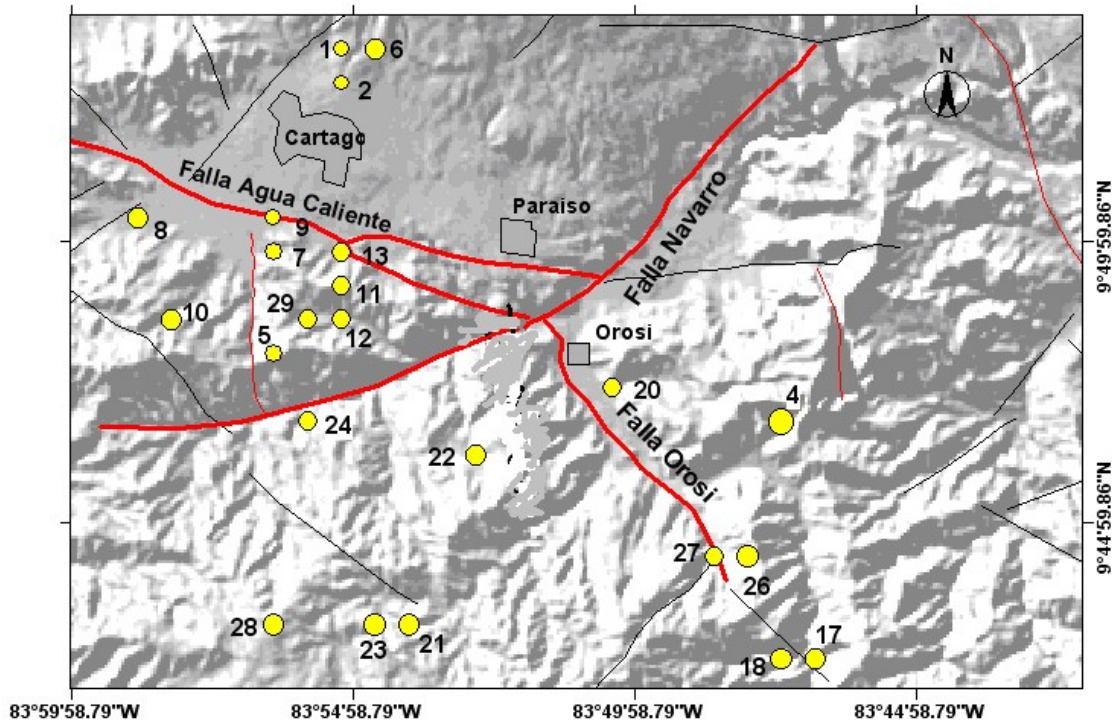


Fig. 2: Principales sismos de la zona sur de Cartago (1985-2005).

Cuadro 3: Sismos locales sentidos (1985-2005) de la zona sur de Cartago

No.	Fecha	Lat	Long	Mag	Prof	Epicentro
1	06/01/1987	9.89	-83.92	2,0	2	Cartago
2	06/01/1987	9.88	-83.92	2,0	2	Cartago
3	22/09/1987	9.66	-83.80	3,8	4	19 km S Cachi Cartago
4	31/01/1988	9.78	-83.79	5	14	20 km S Juan Vifas
5	27/06/1988	9.8	-83.94	2,8	6	Navarro
6	23/10/1988	9.89	-83.91	3,6	9	2 km N Cartago
7	23/10/1988	9.83	-83.94	2,6	5,1	Tejar
8	29/09/1989	9.84	-83.98	3,4	5	2 km NW Tobosi
9	17/04/1990	9.84	-83.94	2,3	6,8	Tejar
10	10/07/1990	9.81	-83.97	3,3	14,2	Tejar
11	30/07/1990	9.82	-83.92	3,1	3,6	Tejar
12	31/07/1990	9.81	-83.92	3,1	4,4	Tejar
13	01/08/1990	9.83	-83.92	2,8	15,6	Tejar
14	29/04/1991	9.76	-83.91	4,7	22,5	10 km SE Tejar
15	30/06/1991	9.31	-83.80	4,1	4	16 km SE Cartago
16	21/07/1992	9.65	-83.71	4	15	Orosi
17	14/07/1993	9.71	-83.78	3,5	11	12 km SW Orosi
18	14/07/1993	9.71	-83.79	3,9	13	14 km SE Orosi
19	25/09/1994	9.72	-84.02	3,4	7	15 km SW Cartago
20	03/11/1994	9.79	-83.84	3,3	6	Orosi
21	27/04/1995	9.72	-83.9	3,9	11	8 km SW Orosi
22	17/11/1995	9.77	-83.88	3,5	10	5 km SW Orosi
23	08/10/1997	9.72	-83.91	3,8	13	15 km Sur Cartago
24	20/05/1999	9.78	-83.93	3,1	20	10 km SSW Cartago
25	03/06/1999	9.81	-84.02	2,8	13	12 km SSW Guarco
26	16/10/2003	9.735	-83.799	4	10	9 km SW Orosi
27	16/10/2003	9.742	-83.811	3,1	14	8 km SW Orosi
28	02/06/2004	9.721	-83.938	3,7	11	15 km Sur Cartago
29	25/10/2005	9.813	-83.935	3,1	10	6 km S Cartago

Intensidades

Las intensidades estimadas, con base en el terremoto del 5 de mayo de 1910 que han ocurrido en la zona de Cartago y áreas vecinas, se presentan en la Fig. 3. Como podemos observar, tenemos valores máximos del orden VIII MM (escala Mercalli Modificada), lo que indica que pueden ocurrir sacudidas muy fuertes y con efectos secundarios como deslizamientos en lugares con taludes de alto ángulo y condiciones de suelo pobres o inestables. Es importante tener en cuenta que de ocurrir un sismo similar al de 1910 los daños en infraestructuras como puentes, carreteras, acueductos, gasoductos, líneas eléctricas y telefónicas y edificaciones con deficientes condiciones estructurales o de suelo pueden presentar serios daños. El caso específico del acueducto que abastece desde Orosi al área metropolitana de San José y cantones vecinos, es muy vulnerable, por lo es recomendable que se cuente con un acueducto alternativo en un futuro cercano. También es importante que el gasoducto de RECOPE cuente con medidas de seguridad en caso de sismos severos para evitar posibles fugas o incendios.

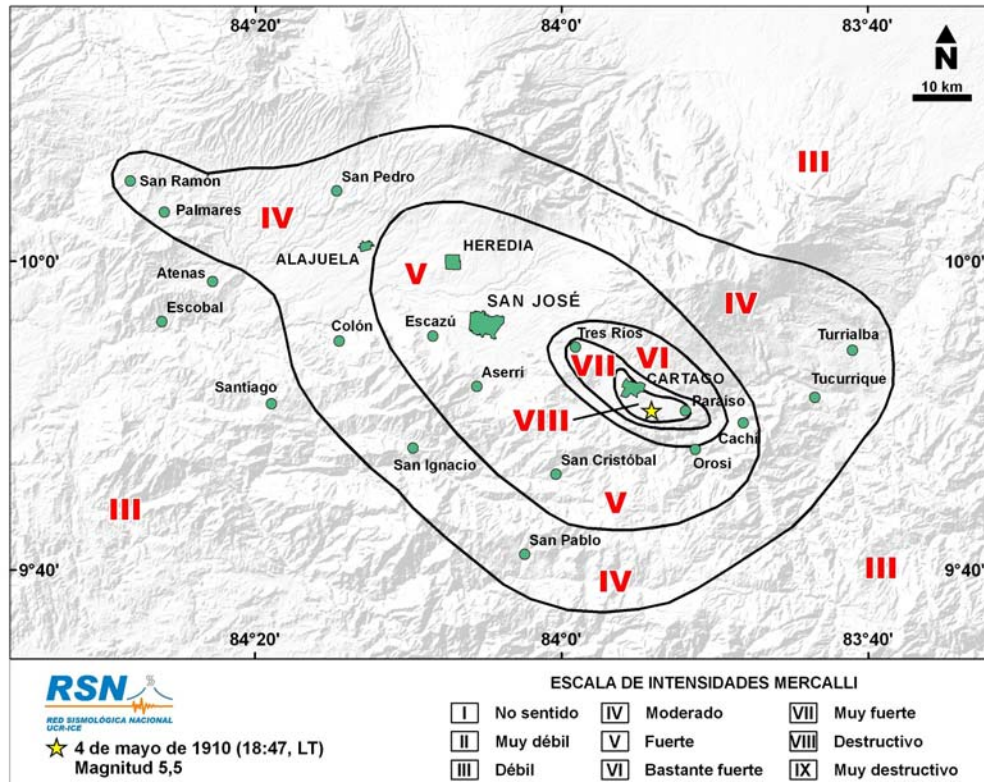


Fig. 3: Intensidades Mercalli Modificada para el terremoto de Cartago del 5 de mayo de 1910.

Periodos de recurrencia

Con base en los sismos históricos de los dos últimos siglos se pueden realizar estimaciones preliminares de periodos de recurrencia para la sismicidad asociada con fallamiento local en la región del Valle Central, aunque se debe tener ciertas reservas sobre estas, ya que hay un alto nivel de incertidumbre. Montero (1986) hizo estimaciones para todo el Valle Central y obtuvo un periodo de retorno de $29,5 \pm 9,9$ años. Alvarado & Boschini (1988) estimaron un periodo de recurrencia de $42,3 \pm 24,2$ años para la región oriental y sur del Valle Central. Las estimaciones de Montero (1986) ya se cumplieron con el sismo de Puriscal de 1990. Así, con dicho evento, se establecería un nuevo periodo de recurrencia de $32,2 \pm 1,6$ años, que de cumplirse, se esperaría un nuevo evento telúrico en algún momento entre el presente y el 2020. Por otro lado, si utilizáramos el periodo de recurrencia estimado por Alvarado & Boschini (1988), el mismo no se ha completado aún dado que es exclusivo para el Valle Central Oriental y el mismo se cumpliría teóricamente entre el presente y el 2018. Con base en todo lo anterior, en general se concluye que existe la probabilidad de que ocurra otro evento importante dentro del Valle Central en los próximos 25 años, aunque no es posible predecir la fecha exacta y en cuál falla específica se va a producir.

Neotectónica

Las fallas activas y potencialmente activas que se localizan en el Valle Central presentan una gran complejidad, se encuentran limitando el borde sur como el norte de la depresión tectónica que constituye esta región del país. En el sector norte se localizan varias fallas en la falda sur como en la propia Cordillera Volcánica Central. En el sector sur se presentan las fallas como límite de la estribación norte de la Cordillera de Talamanca. A nivel local, se han definido claramente los sistemas de fallas Orosi, Agua Caliente y Navarro (Fig. 2), que son muy importantes para la determinación de la amenaza sísmica en la zona de Cartago. Existen otras fallas más regionales que también pueden afectar al Valle Central como las fallas Tablazo, Jaris y Candelaria, así como los sistemas de fallas de Puriscal que estuvieron muy activos en el año 1990.

Falla Agua Caliente

La falla Agua Caliente ha sido definida por diferentes autores como Dóndoli & Torres (1954), Montero et al., 1989, Montero et al., 1991, Montero, 1994, Fernández & Montero, 2002. Esta falla ubicada en la zona sur de Cartago, presenta un rumbo entre EW y WNW, es de movimiento predominantemente sinistral y tiene una zona transtensiva en el sector entre Quebrada Honda y Bermejo. En el extremo este, la falla tiene una débil prominencia y termina en contra la falla Navarro. Geomorfológicamente esta falla presenta alineamientos de promontorios truncados, contraescarpes de depósitos recientes, alineamientos de valles y fuentes termales, lomos y sillas de falla. (Fernández & Montero, 2002). Por su extensión, se estima que esta falla tiene un potencial para generar un sismo de una magnitud máxima Mw 6,5 con una profundidad de menos de 10 km. Este sismo presentaría fuertes aceleraciones del suelo capaces de generar daños importantes principalmente en la zona sur de la provincia de Cartago.

Falla Navarro

Un estudio de Salazar et al. (1992), basado en las evidencias de la interpretación de las fotografías aéreas, imágenes de radar e investigaciones de campo (incluyendo trincheras), concluye que la falla del río Navarro, orientada ENE, por más de 15 km, es de rumbo sinistral con componente normal, en donde el bloque norte está hundido con respecto al sur, con desplazamientos verticales acumulados del orden de varias decenas a centenas de metros. Geomatrix (1994) y Montero et al., (1998) encontraron evidencias de su actividad en una trinchera realizada al sur de Paraíso en donde se encontraron rocas volcánicas y sedimentarias cortadas por esta falla.

Falla Orosi

Sistema formado por una zona de falla que llega a alcanzar más de 7 km de longitud por un kilómetro de ancho, sobre la cual se asienta la Ciudad de Orosi. Se trata de una falla presumiblemente normal, orientada NNW-SSW donde el bloque deprimido es el oriental y presenta evidencias como cerros aislados, bloques facetados, fuentes termales y contactos por falla (Salazar et al., 1992).

Actividad sísmica reciente

Con respecto a la sismicidad, se debe de mencionar dos secuencias sísmicas que se pueden asociar con las fallas Orosí y Navarro, respectivamente son: a) El temblor de Orosí-Paraíso (2-8-1951, I máx=VIII), y b) el enjambre de temblores de Navarro (3 al 9-09-1980), cuyas magnitudes fueron ≤ 4 (Aguilar, 1980; Geomatrix, 1994). Durante el periodo 1985-2005, la zona está caracterizada por temblores moderados y superficiales ($M < 4$; $h < 20$ km); principalmente concentrados hacia el suroeste de Cartago y cerca de Orosí, presumiblemente asociados a las fallas Aguacaliente, Navarro y Orosí como lo muestra la figura 1 y 2. La falla Navarro presenta mayor sismicidad en su tramo SSW que en el NE. Los terremotos históricos más importantes de la zona pueden estar relaciones con estas fallas como se observa en la Fig. 1.

Conclusiones

La tectónica de la zona sur de Cartago es compleja, con varios sistemas de fallas importantes entre los que destacan: sistema Agua Caliente, Navarro y Orosí.

Históricamente, han ocurrido terremotos importantes en esta región, siendo los de 1910 los más importantes pues provocaron severos daños en la ciudad de Cartago y numerosas muertes (más de 400 fallecidos). El terremoto más reciente tuvo lugar en 1951, sismo que puede estar asociado ya sea a la falla Navarro o a la Agua Caliente. Desde entonces, no se ha registrado otro terremoto similar en la zona, por lo que es de esperar otro evento dentro de los próximos años.

Con base en los estudios emprendidos por diferentes autores en los últimos 25 años y la actividad sísmica registrada por la Red Sismológica Nacional (RSN), se desprende que las fallas Agua Caliente y Navarro son fallas activas, aunque no es posible predecir cuándo va a ocurrir su próxima reactivación. Ante un evento sísmico, ya sea en las fallas Navarro, Agua Caliente o en la Orosí, la zona podría verse afectada por el efecto del evento telúrico en sí (sacudida sísmica) con intensidades Mercalli máximas del orden de IX y se darán otros efectos secundarios (derrumbes y/o avalanchas) en sectores de altas pendientes. La ruptura en superficie de estas fallas puede ocurrir con un temblor de magnitud mayor a $M_w 5,5$ y el potencial de las fallas identificadas en esta zona es para magnitudes máximas de $M_w 6,5$.

Es importante, ante este escenario sísmico que la población de Cartago esté bien informada y preparada y que la infraestructura más crítica que pueda ser afectada sea bien identificada (poblaciones más vulnerables, vías de comunicación, acueductos, centros educativos, etc.) para que se tomen las medidas del caso. La planificación del desarrollo urbano en la zona de Cartago debe considerar muy seriamente el aspecto sísmico y seguir con detalle las recomendaciones del Código Sísmico de Costa Rica. Dada la importancia de los sistemas de fallas que se han definido en la zona de Cartago y su historial sísmico, es importante continuar las investigaciones geológicas como las que está actualmente realizando la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica conjuntamente con la Universidad Politécnica de Madrid y con la Universidad Complutense, de España. Así mismo la Red Sismológica Nacional continuará monitoreando con detalle la actividad sísmica en esta región para detectar cualquier anomalía que se pueda presentar en el futuro y alertar a la población de ser necesario.

Bibliografía

- Alvarado, G.E., Boschini, I. 1988: Evaluación preliminar de las amenazas geológicas y periodos de recurrencia en el Valle del Guarco, Cartago: Su eventual incidencia en el deslizamiento de San Blas. IV Seminario Nac. de Geotécnia. San José, abril 1988. 14 pp.
- Aguilar, A., 1980: Sismicidad del 3 al 9 de setiembre de 1980 y su relación con la geología en la cabecera del río Navarro, Cartago.- Tesis de Licenciatura, Escuela Centroamericana de Geología, Univ. Costa Rica, 160 pp.
- Dóndoli, C. & Torres, A., 1954: Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. -180 pp. Min. Agricultura e industria. San José.
- Fernández, M., Montero, W. 2002: Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago Y San José, Valle Central de Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central.* 26:25-37.
- Geomatrix Consultants, 1994;: Informe final: Acueducto de Orosi, estudio de la Vulnerabilidad sísmica de la conducción: El Llano a Tres Ríos, provincia de Cartago, Costa Rica. 139 pp. Geomatrix Consultants Report, San Francisco, CA.
- Montero, W., Barahona, M., Rojas, W., Taylor, M. 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.
- Montero, W., 1986: Períodos de recurrencia y tipos de secuencias sísmicas de los temblores interplaca a intraplaca en la región de Costa Rica. -*Rev. Geol. Amér. Central*, 5:35-72; San José.
- Montero, W., Madrigal, R., Mora, R., Seeley, M., Alt, J., Clines, M. 1989: Lineaments suggestive of recent fault activity, escala 1:50 000 (Mapa inédito).
- Montero, W., Obando, L, Mora, R., Salazar, L., Leandro, G., 1991: Informe final proyectos habitacionales Los Diques y Duarco-Suerre. 72 pp. Univ. Costa Rica. Inf. Interno.
- Montero, W. 1994: Sismicidad y geotectónica. En: Denyer, P., Kussmaul, S. (eds), 1994: Atlas geológico Gran Área Metropolitana:147-160; Ed. Tecnológica de Costa Rica.
- Montero, W., Barquero, R., Alvarado, G.E., Cowan, H.; Machette, M., Haller, K.M., Dart, R.L. 1998: Map and database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions. 63 pp. USGS (Open file report 98-481).
- Montero, W., Alvarado, G.E., 1995: El terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 ($M_s=5,9$) y el contexto geotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica. - *Rev. Geol. Amér. Central*, 18:25-42.
- Montero, W., Miyamura, S., 1981: Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central. -*Rev. Inst. Geográfico Nac.*, julio-diciembre, 9-34.
- Salazar, L.G. Obando, L., Mora, R., 1992: Acueducto Metropolitano, tramo Embalse El Llano-Río Navarro (Costa Rica): Un sitio bajo amenaza. *Rev. Geol. Amér. Central*, 14: 85-96.