

NEOTECTÓNICA EN LA REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL

NEOTECTONICS IN THE CENTRAL AMERICAN JOURNAL OF GEOLOGY

Walter Montero

Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG),
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
wmontero@geologos.or.cr

(Recibido: 15/05/2014; aceptado: 10/08/2014)

ABSTRACT: A review of the papers published in the Central American Journal of Geology have been done for the last thirty years (1984-2014), with the objective to identify studies related with the neotectonics research area. The publications have been classified in two geographical areas: 1. Central America and the Caribbean, and 2. Costa Rica. The last ones were subdivided into papers related with the northwestern, the central, the Caribbean or the southern part of the country. In relation with the impact of the Central American Journal of Geology in the advance of knowledge in the field of neotectonics, it is found that is very limited with respect to the Central America and the Caribbean region, because the scarcity of papers (9.2 % of the total) and their limited research results. In relation with Costa Rica, it is found a bigger impact, especially with respect to the research publications associated with the central part of Costa Rica (57.6 % of the publications of the country), and a significant advance of knowledge is identified about the fault system associated with the Central Costa Rica Deformed Belt.

Keywords: Neotectonics, seismology, Central America and the Caribbean, Costa Rica.

RESUMEN: Una revisión de los artículos publicados en la Revista Geológica de América Central se ha realizado para los últimos treinta años (1984-2014), con el objetivo de identificar estudios relacionados con el campo de la neotectónica. Las investigaciones determinadas se dividieron en dos áreas geográficas: 1. América Central y el Caribe y 2. Costa Rica, los cuales a su vez se subdividen en los que tienen como área temática el país completo, los del noroeste, los del centro, del caribe y los del sur del territorio nacional. Con respecto al impacto de la Revista Geológica de América Central en el avance del conocimiento en el campo de la neotectónica, se encuentra que este ha sido muy limitado en lo relativo a la región de América Central y el Caribe, donde hay pocos trabajos publicados (9,2 % del total) y tienen

limitados resultados de investigación. Con relación a Costa Rica, se observa un mayor impacto, especialmente en las investigaciones realizadas en la parte central del país, donde se ubican el 57,6 % de las publicaciones del país, y se identifica un importante avance en el conocimiento del sistema de fallas, que se asocia con el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica.

Palabras clave: Neotectónica, sismología, América Central y el Caribe, Costa Rica

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza una revisión de los diversos trabajos publicados en la Revista Geológica de América Central (RGAC) durante los últimos treinta años, con el objetivo de identificar artículos, en los cuales se involucre a la neotectónica y la tectónica activa como tema de estudio, ya sea principal o secundario. Debe recordarse que después de la segunda mitad del siglo XX, y antes de que RGAC apareciera con su primer número en el año 1984, los geólogos nacionales y extranjeros publicaban sus artículos en dos revistas principales. Estas son, la Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Informe Semestral del Instituto Geográfico Nacional (IGN). En ambas revistas se pueden encontrar artículos en los cuales, el tema de la neotectónica aparece como objeto de estudio principal o como secundario, especialmente cuando se trata de explicar algún hallazgo.

Al realizar la revisión se encuentra que existen dos tipos de artículos relacionados con la neotectónica. Un primer grupo son aquellos artículos cuyo objetivo principal de estudio fue la neotectónica. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los autores también utilizan a la sismología como campo de investigación ya sea principal o secundario, lo cual les permite reforzar sus resultados o conclusiones. También en este grupo aparecen artículos cuyo objetivo inicial de investigación es la sismología, pero que para explicar sus resultados utiliza como herramienta de investigación a la neotectónica.

Un segundo grupo de publicaciones donde se involucra a la neotectónica, corresponde con aquellos trabajos que tuvieron como objetivo principal de estudio otras ramas de la geología

diferentes a la neotectónica. Entre estos resaltan el cartografiado geológico, la sedimentología, la geofísica y la hidrogeología. Sin embargo, los autores involucrados en las investigaciones, encuentran que las informaciones o resultados determinados se relacionan o se explican mejor si se involucra la neotectónica en las explicaciones.

Para que este artículo sea de mayor utilidad para el lector interesado en conocer que estudios se han realizado sobre neotectónica, en una zona geográfica específica, las investigaciones en este campo se dividen en dos grupos principales: 1. Los realizados en América Central y el Caribe y 2. Los realizados en Costa Rica. Estos últimos además se subdividen en los que tienen como área de estudio al país y zonas vecinas, así como los realizados en la parte noroeste, el centro, el caribe y el sur de Costa Rica. Esta división nos permite además aclarar la influencia que ha tenido la RGAC en la investigación neotectónica de cada una de las regiones anteriores.

ESTUDIOS NEOTECTÓNICOS EN LAS REVISTAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (UCR) Y EN EL INFORME SEMESTRAL (IGN)

El primer número de la Revista Geológica de América Central apareció en octubre de 1984. Sin embargo, antes de que esta revista viera la luz, los geo-científicos nacionales y extranjeros, escribían sus artículos en: 1. La Revista de Ciencia y Tecnología, bajo la tutela de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Costa Rica y cuyo primer número data de 1977. 2. El Informe Semestral, del Instituto Geográfico Nacional, cuyo primer número fue publicado en 1954, inicialmente como Informe Trimestral, y cuatro años

después cambió su nombre a Informe Semestral (Protti, 1984). Este último autor realizó un índice bibliográfico 1954-1983, donde incluye todos los artículos publicados en esta última revista en el período indicado. Se invita a los interesados a consultarla, si desean buscar bibliografía del campo de la geología, o en particular que tenga relación con la neotectónica.

Con respecto a la Revista de Ciencia y Tecnología, se considera que en esta revista nacional aparece el primer trabajo publicado por un costarricense en el campo de la neotectónica, el cual fue el realizado por el geomorfólogo Rodolfo Madrigal. Su investigación versó sobre los abanicos aluviales asociados con el frente pacífico de la cordillera de Talamanca y la posición del río General dentro del valle del mismo nombre (Madrigal, 1977). Hay otros estudios publicados en esta revista que tienen relación con la neotectónica. Entre estos destacamos el de Montero & Alvarado (1988) realizado sobre la neotectónica de la zona de Bagaces, noroeste de Costa Rica y como la misma se relaciona con los terremotos corticales de 1935 y de 1941. También, está el trabajo de Fernández et al. (1997), donde se relaciona la sismicidad histórica y reciente de la zona de Miramar-Arenal con el fallamiento cortical.

Conforme la Revista Geológica de América Central fue adquiriendo regularidad en su publicación, los geo-científicos nacionales e internacionales encontraron en esta un sitio adecuado para publicar sus trabajos. Por esta razón, la Revista Ciencia y Tecnología perdió relevancia como medio donde publicar trabajos de geología, mientras que el Informe Semestral del IGN perdió regularidad e igualmente dejó de ser un sitio donde los geólogos publicaban sus investigaciones.

ESTUDIOS NEOTECTÓNICOS EN LA REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL

A continuación se describen brevemente los principales aspectos neotectónicos identificados en los cincuenta números que ha publicado la RGAC a lo largo de treinta años (1984-2014). En esta revisión se mencionan una buena cantidad de nombres geográficos, los cuales no se muestran

en ninguna figura particular en este artículo, excepto los principales que están en la figura 1, por lo que se invita al lector a revisar directamente al artículo referido para ver el contexto geográfico del mismo.

Artículos sobre Costa Rica

El primer artículo donde se identifica una contribución a la neotectónica del país, aparece en la Revista No 6, donde Berrangé (1987) plantea un modelo de cuenca de tracción asociado con fallas dextrales, para explicar el origen del Golfo Dulce. A continuación y para facilitar a los lectores interesados en el tema de la neotectónica, la búsqueda de los artículos de su interés, estos se dividen de acuerdo con las siguientes zonas:

1. Artículos sobre Costa Rica y zonas aledañas.
2. Artículos del noroeste.
3. Artículos del centro.
4. Artículos del caribe y
5. Artículos del sur de Costa Rica.

Artículos de Costa Rica y zonas aledañas

El contexto neotectónico de Costa Rica se muestra en la figura 1. El primer artículo que incluye aspectos de neotectónica que involucra al territorio costarricense, es el de Montero & Morales (1990), quienes obtienen esfuerzos compresivos horizontales máximos (ECHM), los cuales varían de rumbo NNE cerca de la costa pacífica a N-S en el interior del país. El estudio utiliza mecanismos focales y alineamientos volcánicos para obtener los ECHM.

Un par de años después, Montero et al. (1992) realizan un mapa geodinámico de Costa Rica, mediante la compilación de diferentes datos geológicos y geofísicos (gravimétricos especialmente), incluyendo fallas cuaternarias, mecanismos focales y direcciones de esfuerzos compresivos horizontales máximos.

En un volumen especial publicado en el año 2004 sobre el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991 (M_s 7,6), aparecen varios artículos que hacen referencia a aspectos neotectónicos o de

fallamiento activo del territorio nacional. Por un lado, Escalante & Astorga (1994) describen los principales rasgos estructurales del este de Costa Rica y del oeste de Panamá, indicando que varios de ellos están claramente activos. Asimismo, Montero et al. (1994a) describen el marco neotectónico de Costa Rica-Panamá y su relación con la sismicidad.

Artículos del noroeste de Costa Rica

En el contexto neotectónico, el noroeste de Costa Rica se localiza en el margen convergente entre las placas Coco y Caribe y dentro del bloque del Antearco Centroamericano. Este último, donde se ubican la península de Nicoya y la cordillera volcánica del Guanacaste, está teniendo un escape tectónico al noroeste y paralelo a la fosa Mesoamericana, a una tasa entre 8 y 11 mm/año (zona con el número 1, en la figura 1).

Un primer artículo donde se identifica una referencia a la neotectónica del noroeste del país, es el de Denyer & Arias (1993), quienes realizan un cartografiado geológico del sector norte de la península de Nicoya. Ellos sugieren evidencia de una tectónica reciente en la formación de terrazas en el río Brasil y en una costa que muestra plataformas recientemente levantadas.

Una década después, Taylor (2004) realiza un estudio en los alrededores del campo geotérmico Las Pailas, falda oeste del volcán Rincón de la Vieja, cordillera volcánica del Guanacaste. Con base en localizaciones de microsismos, un mecanismo focal compuesto, fotogeología y trabajo de campo, sugiere dos sistemas de fallas activas de desplazamiento de rumbo (ambos sinestrales, uno de rumbo N60°W y el otro N66°E). Además, muestra la relación de las fallas con la sismicidad. Un tercer patrón de tipo sinistral y rumbo N10°E también fue identificado.

Civelli et al. (2005) describen la geología de la hoja Tierra Morenas, interpretando la presencia de fallas más antiguas NE-SW y más recientes N-S, identificando como la principal estructura tectónica al graben de la Fortuna.

Alvarado (2009) realiza el cartografiado geológico de la hoja Fortuna. Dentro de la estructura tectónica refiere varias fallas que pueden considerarse como neotectónicas, por la edad de los depósitos afectados. Entre estas destaca la falla Javillos, que levanta un bloque que incluye sedimentos aluviales.

Montero & Denyer (2011) en un estudio sobre el fallamiento neotectónico de la península de Nicoya, determinan un sistema de fallas predominante de rumbo N-S y de movimiento dextral, las cuales limitan bloques dentro de los cuales se reconocen fallas sinestrales ENE, sinestrales-inversas E-W e inversas NW, las cuales están trasantando dentro de los bloques limitados por las fallas dextrales. Las fallas sinestrales contribuyen al movimiento translacional al norte de la península de Nicoya, que se asocia principalmente a las fallas dextrales N-S. El movimiento translacional al norte es relacionado con la colisión del levantamiento del Coco bajo el margen pacífico centro-sur de Costa Rica.

Žáček et al. (2012) describen el sistema de fallas de la hoja Miramar, indicando que existen dos sistemas de falla. El primero de rumbo NW-SE a N-S, lo consideran es de fallas normales con una componente dextral y lo relacionan con el levantamiento del antiguo arco volcánico, ocurrido especialmente durante el Cuaternario. El otro sistema de falla de rumbo NE-SW a ENE-WSW, es más antiguo que el anterior. Dentro del último tipo de fallas destacan a la falla Barranca, de movimiento sinistral y de edad cuaternaria.

Artículos relacionados con el centro de Costa Rica

En el contexto neotectónico, el centro de Costa Rica se localiza al este del margen convergente entre la placa Coco y el denominado bloque de Panamá. Dentro de esta región se define el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica, el cual se considera el sector trasero del bloque del Antearco Centroamericano (zona con el número 2 en la figura 1). Las fallas que predominan son las

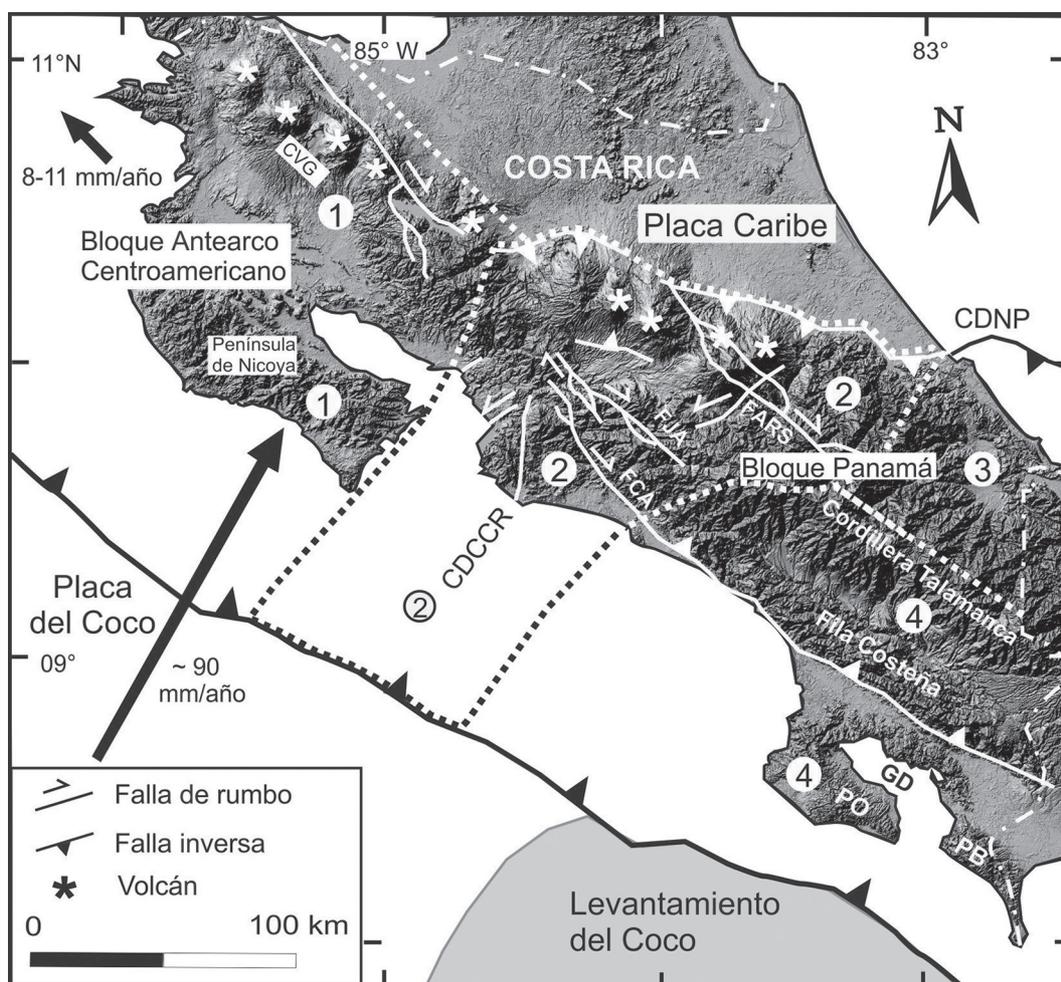


Fig. 1: Marco tectónico y áreas de Costa Rica donde han sido realizados estudios de neotectónica en la Revista Geológica de América Central. Se muestran las placas tectónicas que interactúan en la región de Costa Rica. La flecha negra muestra la velocidad relativa Coco-Caribe a una escala que es la mitad de la escala de la velocidad del Bloque del Antearco Centroamericano, obtenida por Norabuena et al. (2004) y Feng et al. (2012). Las diferentes zonas geográficas en que se han dividido los estudios neotectónicos de Costa Rica se muestran numeradas (1: zona noroeste; 2: zona central; 3: zona caribe y 4: zona sur) y están separadas entre sí por líneas a puntos negra (zona marina) y blanca (zona terrestre). CVG: cordillera volcánica del Guanacaste. CDCCR: Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. CDNP: Cinturón Deformado del Norte de Panamá. GD: Golfo Dulce. PO: Península de Osa. PB: Punta Burica. FCA, FJA y FARS son respectivamente, las fallas Candelaria, Jaris y Atirro-Río Sucio.

fallas de rumbo de tipo dextral, con rumbo entre NW a N-S, donde destacan las fallas Candelaria, Jaris y Atirro-Río Sucio (Fig. 1). También se encuentran fallas sinistral de rumbo entre E-W a NE y fallas inversas con rumbo WNW.

El primer artículo relacionado con la neotectónica del centro del país, es el de Boschini et al. (1988), quienes asocian el terremoto de Buenavista del 3 de julio de 1983 (M_s 6,1), con la falla dextral Buenavista, de rumbo promedio

N12°W. De acuerdo con los autores, lo anterior se sustenta además de las características neotectónicas de la falla, el estudio de las réplicas, la distribución de intensidades máximas y un mecanismo focal compuesto.

En un artículo que aplica conceptos de morfotectónica, Alvarado et al. (1988) realizan el reconocimiento de las fallas neotectónicas o activas, de la región occidental de la cordillera volcánica Central, las cuales asocian con terremotos históricos. Reconocen entre otras, las fallas de San Miguel, Alajuela, Carbonera, Volcán Viejo-Aguas Zarcas, Porvenir, Congo, Zarcero y Ángel.

A raíz de un trabajo de cartografía geológica realizado en las hojas Abra, Candelaria, Carraigres y Río Grande, Arias & Denyer (1991a) definen la estructura tectónica de esta amplia zona. En la identificación de la estructuras se usan criterios de neotectónica. Asimismo, definen un basculamiento tectónico de la cuenca Candelaria, el cual asocian con la colisión del levantamiento del Coco.

Arias & Denyer (1991b) revisan la neotectónica y la geología de Puriscal y alrededores, a raíz de la ocurrencia de una secuencia sísmica, que entre marzo y diciembre de 1990, afectó esta zona. Consideran que la sismicidad se relaciona con fallas dextrales NW-SE, transtensivas dextrales N-S y fallas sinestrales subordinadas NE-SW.

Astorga et al. (1991) consideran la evolución de las cuencas sedimentarias de Costa Rica y las fases compresivas que las han afectado. Sugieren que el “Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica”, de tipo sinistral y rumbo cercano al E-W, divide a Costa Rica en dos bloques, al norte y sur del mismo. Asociado con el sistema de falla transtensivo definen las cuencas de Nicoya, Parrita y Valle Central. Asimismo, indican que ha estado activo desde el Eoceno Superior/Oligoceno y que “es un sistema que aún permanece tectónicamente activo”.

Salazar et al. (1992) revisan las amenazas geológicas que pueden afectar el Acueducto Metropolitano, el cual transporta una parte importante del agua que se consume en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Identifican a las fallas Aguacaliente, Navarro y Orosí, como estructuras neotectónicas y activas y con terremotos históricos destructivos asociados.

Barquero et al. (1995) estudian una serie de enjambres de temblores ocurridos en el macizo del volcán Irazú, disparados por los terremotos del 22 de diciembre de 1990 (M_s 5,7) y del 22 de abril de 1991 (M_s 7,6), sugiriendo que los mismos se relacionan con procesos de desestabilización del sistema tectónico e hidrotermal inducido por ambos terremotos.

Montero & Alvarado (1995) describen la neotectónica del macizo del volcán Irazú, reconociendo las fallas Río Sucio, Lara, Honduras, Río Patria, Alto Grande, Blanquito y Río Blanco entre las principales estructuras. Asimismo, relacionan el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (M_s 5,9) con la falla Río Sucio.

Barboza et al. (1995) con base en datos de reflexión sísmica, definen las cuencas Nicoya y Parrita y la tectónica de la margen pacífico central de Costa Rica. Consideran que el relleno sedimentario ha sido controlado por la transtensión y la subsidencia, a largo de una serie de fallas transversales a la costa, las cuales en algunos casos aún están activas. Estas cuencas están limitadas al norte por el sistema de falla transcurrente de Costa Rica de movimiento sinistral y que atraviesa el país del pacífico al caribe.

Fernández (1996-1997) mediante datos de fallamiento, sismicidad, mecanismos focales y gravimétricos concluye que no hay evidencia de un sistema de falla transcurrente este-oeste en la parte central de Costa Rica, dado que encuentra que las fallas E-W son escasas y el fallamiento predominante es el noroeste.

Fernández & Pacheco (1998) realizan un análisis de la relación de la sismicidad del período 1990-1994 y la sismotectónica, con las fallas recopiladas de diversas fuentes de información, para la región central de Costa Rica. Determinan que el fallamiento tiene orientaciones predominantes NW y NE, siendo el primero más importante, debido a la extensión de las fallas. Los movimientos en las fallas son de tipo variado siendo transcurrentes, normales e inversos.

Fernández et al. (1998) consideran que las fallas Elia, Ariete, Irazú, Nubes y Río Sucio, fueron la fuente de los enjambres sísmicos ocurridos en el macizo del volcán Irazú entre 1982 y 1997.

Montero (1999) realiza una caracterización del fallamiento neotectónico del antearco central-pacífico de Costa Rica, reconociendo las fallas Jesús María, Tárcoles, La Garita, Bijagual, Tulín y Candelaria. Propone que las fallas Tárcoles y Bijagual (en menor medida) se relacionan con el origen del terremoto del 4 de marzo de 1924 (M_s 7,0).

Montero (2001) usa datos neotectónicos, de sismicidad y sismotectónicos para definir el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Caracteriza las diversas fallas ubicadas en el antearco, arco interno y el trasarco, indicando que predominan las fallas dextrales de rumbo NW, sinestrales de rumbo entre E-W y NE y las fallas inversas, las que definen un borde externo de fallas, que se continúa con el Cinturón Deformado del Norte de Panamá. Relaciona el sistema de falla con el borde oeste de la microplaca de Panamá, asociándolo con la indentación tectónica causada por la colisión del levantamiento del Coco con el sur de Costa Rica, desde hace 3,6 Ma.

Fernández & Montero (2002) caracterizan las fallas neotectónicas, la sismicidad y la sismotectónica de la zona comprendida entre las ciudades de San José y Cartago. Las fallas Aguacaliente, Jericó, Navarro y Orosi son las principales estructuras descritas.

Vargas & Fernández (2002) en un estudio hidrogeológico realizado en los alrededores de la ciudad de Grecia, sector noreste de la hoja Naranjo, observan que la ocurrencia de manantiales se presenta en la sección sinclinal trasera, estructura que se asocia con la falla neotectónica de Alajuela.

Montero (2003) en un estudio neotectónico realizado en el centro-este de Costa Rica, define el sistema de falla dextral de rumbo noroeste Atirro-Río Sucio y la cuenca de tracción asociada Turrialba-Irazú. Además de las anteriores fallas, se reconocen las fallas Tucurrique, Turrialba, Azul, Patria y Lara. El sistema de falla lo relaciona con la indentación tectónica causada por la colisión del levantamiento del Coco con el sur de Costa Rica.

Cárdenes (2003) observa la influencia neotectónica en la evolución de los sistemas sedimentarios costero y aluvial en la región de Parrita,

Pacífico Central de Costa Rica, considerando que la migración al sureste de la faja de meandros del río Parrita, puede relacionarse con el basculamiento al SE del bloque tectónico Parrita.

Gazel (2003) sugiere que zonas de extensión local asociadas con fallas transcurrentes presentes en el centro de Costa Rica, pudieron facilitar el ascenso del magma que originó las series alcalinas pliocénicas.

Denyer et al. (2004) reportan una migración del cauce del río Barranca de aproximadamente 3 km al sureste, lo cual sugieren se puede explicar por el levantamiento neotectónico del bloque noroeste de la falla Barranca, buzante al sureste y de rumbo sub-paralelo al río anterior.

Obando (2004) describe a la falla de Alajuela entre los principales mega-rasgos geomorfológicos del flanco sur del volcán Barva.

Montero et al. (2005) mediante criterios morfotectónicos, sismológicos, sismotectónicos y cortes en afloramientos, describen los sistemas de activas fallas Aguacaliente y Río Azul y un sistema de falla ciego al este de San José, que puede ser parte de la falla inversa Cipreses.

Gazel & Ruiz (2005) describen una fractura volcano-tectónica de rumbo N-S, que controla la posición de varios edificios volcánicos del macizo del volcán Poás. Asimismo, describen las fallas neotectónicas Río Poás y Carbonera, en los alrededores de los conos piroclásticos de Sabana Redonda, ubicados en el flanco sur del volcán Poás.

Montero & Kruse (2006) mediante criterios morfotectónicos, geofísicos (resistividad y magnéticos), estudios de trincheras paleosísmicas e hidrogeológicos, describen la neotectónica de la falla Aguacaliente en los valles de Coris y del Guarco.

Quintanilla et al. (2008) interpretan, con base perfiles deducidos de la estratigrafía de pozos del valle de El Guarco, que la falla Aguacaliente tiene una componente sinistral e inversa, al sur y suroeste de la ciudad de Cartago.

Suárez et al. (2009) realizan una zonificación geomorfológica de la cuenca del río Viejo, al este-sureste de Santiago de Puriscal, reconociendo algunas formas de origen estructural o denudacional que pueden tener origen neotectónico.

Castro (2010) sugiere la presencia de varias fallas neotectónicas, entre estas la falla Longitudinal (la describen como inversa y con componente sinistral), las cuales cortan terrazas aluviales cuaternarias al noreste del puerto de Quepos.

Montero et al. (2010) analizan el sistema de fallas dentro del macizo del volcán Poás y su relación con la tectónica regional. Las fallas principales definidas son las fallas dextrales Sabanilla y Ángel, las cuales limitan una estructura transtensiva, dentro de la cual se localiza el volcán Poás y varios conos monogénéticos. Asimismo, al norte (falla San Miguel) y al sur (falla Alajuela), el macizo volcánico está limitado por fallas inversas. Una división de deslizamiento tectónico explica la relación de las fallas dextrales e inversas en el macizo Poás.

Mora & Peraldo (2011) realizan un estudio macrosísmico del terremoto de Buena Vista del 3 de julio de 1983 (M_s 6,1), determinando una zona de intensidades máximas VIII-IX elongadas en dirección NNW-SSE. Asimismo, sugieren que el anterior terremoto se puede asociar con una falla orientada aproximadamente E-W, destacando a la falla sinistral División, de rumbo ENE.

Obando (2011) en un estudio geológico de la parte noreste de la hoja Dota, reconoce las fallas Río Blanco y Zapote, de rumbo N-S y movimiento dextral, que cortan depósitos lacustres del Plio-Pleistoceno(?). Asimismo, define las fallas Santa María 1 y 2, de rumbo N-S, las cuales definen una micro-cuenca que ha sido rellenada de depósitos aluviales. Refiere la falla Paquita-Chonetera, de rumbo NE, la cual infiere es sinistral y posiblemente neotectónica.

Porras et al. (2012) realizan un estudio estratigráfico y tectónico de la región central-oeste de Costa Rica y sugieren que la falla de desgarre izquierda Tárcoles origina una serie de fallas de cabalgamiento de rumbo NW, con vergencia al SW y con componente de rumbo sinistral, dentro de los montes del Aguacate y al sur de estos. Consideran que este sistema de fallas ha estado activo al menos desde el Pleistoceno Medio.

Alvarado & Vega (2013) discuten la volcanotectónica del flanco sur del volcán Irazú, donde existen conos y cráteres parásitos o satelitales. Consideran que existen dos sistema de fallas,

que representan un par conjugado, uno de rumbo N20-28°E y el otro de rumbo N26°W, lo cual implica un esfuerzo horizontal máximo orientado al N4°E. Este esfuerzo controla el sistema fisural y los conos satelitales.

Montero et al. (2013) proponen que la falla Aguacaliente se continúa con la falla Capellades mediante una zona transpresiva, que se localiza sobre el sector este de la ciudad de Cartago. Asimismo, caracterizan a la falla Ochomogo y su relación transtensiva con la falla Aguacaliente, originando la depresión tectónica de los valles de Coris y de Guarco.

Montero & Rojas (2014) describen un sistema de fallas neotectónico de tipo predominantemente dextral en la región de Puriscal, y su relación con la secuencia sísmica de 1990. Entre las principales fallas descritas están las fallas Purires (origen del terremoto del 30 de junio de 1990, M_s 5,1), Picagres (relacionada con el terremoto del 22 de diciembre de 1990, M_s 5,7), Jaris y Zapote. La falla sinistral Junquillo de rumbo E a ENE se localiza entre las dos primeras mencionadas.

Artículos del Caribe de Costa Rica

En el contexto neotectónico, el Caribe de Costa Rica se localiza dentro del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, el cual limita el lado norte del bloque de Panamá (zona con el número 3 en la figura 1). Dentro de esta región se define un sistema de fallas inversas y pliegues con rumbos E-W a NW. Asimismo, se encuentran fallas dextrales de rumbo NW.

El primer artículo publicado en la RGAC sobre la región Caribe, que tiene implicaciones neotectónicas, es el Denyer et al. (1987), quienes realizan un cartografiado geológico y estructural al sur de la ciudad de Limón y al norte del río Niñey, donde este confluye con el río Estrella, sugiriendo una tectónica muy reciente para explicar el origen de las estructuras identificadas, el cual es penecontemporáneo con la sedimentación.

En un volumen especial sobre el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991 (M_s 7,6), publicado en 1994, aparecen varios artículos

que hacen referencia a aspectos neotectónicos o de fallamiento activo del Caribe de Costa Rica. Fernández et al. (1994) describe la estratigrafía y tectónica de la cuenca Limón Sur, incluyendo varias secciones sísmicas interpretadas, que muestran el sistema de fallas inversas y pliegues asociados, de rumbo oeste-noroeste, los cuales deforman las diferentes secuencias sedimentarias. En este artículo se incluyen medidas del levantamiento costero asociado con el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991 (M_s 7,6), que oscilan entre 0,5 y 1,9 m. Denyer et al. (1994c) y especialmente Denyer et al. (1994b) definen los levantamientos cosísmicos (entre 0,5 y 1,85 m) y la subsidencia costera (-0,5 m), asociados con el anterior terremoto. Asimismo, en el último trabajo se describen tres zonas de ruptura superficial de falla, con componentes de rumbo dextral (zona de Sixaola), sinistral (valle de la Estrella) y sinistral-normal (Río Blanco). Finalmente, se definen varias paleo-plataformas de costa arenosas y arrecifales, que evidencian paleo-sismos anteriores al terremoto de Limón de 1991. Denyer et al. (1994a) sugieren que los esfuerzos compresivos no han variado entre el Paleoceno y el Cuaternario en la cuenca de Limón, teniendo direcciones entre $N0^\circ$ - $40^\circ E$.

Continuando con el análisis del volumen especial sobre el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991 (M_s 7,6), se encuentran varios artículos que relacionan la sismología con las fallas. Montero et al. (1994b) con base en el evento principal y las réplicas importantes y Ponce et al. (1994) con base en réplicas localizadas usando datos locales, relacionan la sismicidad con el fallamiento de la zona Caribe. Barquero & Rojas (1994) revisan la sismicidad inducida por el terremoto de Limón y su relación con diversas fallas del interior del país. Encuentran una zona hacia la región Caribe con un patrón de fallamiento inverso con componente de rumbo y otro de tipo normal con componente de rumbo hacia la región central de Costa Rica. Amador et al. (1994) definen la zona de levantamiento alrededor de Puerto Limón con base en la comparación de una imagen Landsat (antes del terremoto) y otra Spot (después del terremoto) y refieren algunas medidas de levantamiento observado en el campo.

Artículos del sur de Costa Rica

En el contexto neotectónico, el sur de Costa Rica se localiza del lado noreste de la zona donde el levantamiento del Coco, se introduce por debajo del sur del país, originando un proceso tectónico tipo colisión (zona con el número 4 en la Fig. 1). Dentro de esta región se ha encontrado neotectonismo dentro de la península de Osa, en Punta Burica, en el borde pacífico de la cordillera de Talamanca y un sistema de fallas inversas al frente y en la parte interna de la fila Costeña.

El primer artículo con referencia a la neotectónica de la parte sur del país, es el de Berrangé (1987), quien plantea que el golfo Dulce corresponde con una cuenca de tracción asociada con fallas dextrales de rumbo NW. Este modelo lo vuelve a plantear en los Nos 10 y 14 de la RGAC (Berrangé, 1989; 1992). Kriz (1990) presenta un modelo tectónico alternativo, en el cual fallas inversas de rumbo noroeste, de ambos lados de esta depresión, explicarían el origen del golfo Dulce.

Alvarado (1991) examina los modernos “fan deltas” que se ubican del lado noreste de la bahía de Golfito, los cuales evidencian “...que el frente montañoso de Golfito es un escarpe de falla activo...”.

Camacho (1991) estudia el terremoto de Puerto Armuelles del 4 de julio de 1934 (M_s 7,6) y sugiere que el sistema de fallas dextrales, asociado con la zona de fractura de Panamá, se continúa en tierra en el oeste de Panamá y el sureste de Costa Rica.

Alvarado et al. (2009) realizan el cartografiado geológico de la hoja General, en el sureste de Costa Rica, y discuten algunas evidencias geológicas y estructurales que sugieren neotectonismo en esta zona. Asimismo, refieren que en el sitio el Brujo, una falla con componente inversa afecta a paleo-aluviones.

Obando & Kussmaul (2009) realizan el cartografiado geológico de la hoja Buenos Aires, en el sureste de Costa Rica, y dentro de la estructura refieren varias fallas que pueden considerarse como neotectónicas, debido a la edad de los depósitos afectados. Destacan la falla noroeste de movimiento inverso Volcán, y las fallas posiblemente inversas Peje y Mosca. Asimismo, consideran que

el sistema transcurrente NNE desplaza al anterior. Finalmente, observan el basculamiento al norte de los abanicos aluviales.

Ulloa et al. (2011) describen las diversas zonas kársticas de Costa Rica, indicando que de acuerdo con diversos estudios, la de la zona sur del país, ubicado a lo largo de la fila Costeña, muestra evidencias de estar afectado por movimientos neotectónicos, agregando evidencias de estos.

ARTÍCULOS SOBRE AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE

Se han determinado seis artículos que refieren aspectos de neotectónica de esta amplia región. El primero es uno que aparece en el volumen especial sobre el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991 (M_s 7,6). En este, Camacho & Viquez (1994) definen una zona de subsidencia de hasta 0,9 m a lo largo de la costa de Bocas del Toro, en el noreste de Panamá, la cual sugieren es de origen tectónico y fue causada por el sismo.

Posteriormente, Badilla et al. (2001) realizan un estudio fotogeológico de los complejos volcánicos El Hoyo y Asososca, ubicados del lado noroeste del lago de Managua (Nicaragua), indicando que aparte de una serie de estructuras volcánicas, se presentan fallas posiblemente normales y activas de tendencia general NNW.

Chiesa et al. (2001) realizan un análisis de lineamientos satelitales en la República Dominicana, reconociendo varios terrenos tectónicos, donde predominan estructuras E-W, WNW, NW y NE. Señalan que los mismos son compatibles con el modelo cinemático, que explica la historia pleistocena de la isla Española.

Rappich et al. (2005) definen las unidades volcánicas y la neotectónica del campo volcánico Metapán, ubicado en el borde este del graben de Ipala, en el noroeste de El Salvador.

Pérez (2009) propone un modelo de cuenca de tracción para el origen del valle de la ciudad de Guatemala (Guatemala), donde destaca la falla de Mixco.

Herrera & Orozco (2010) consideran que el flujo del agua subterránea de rumbo N-S, que determinan en el sector sur de la cuenca donde se

asienta la ciudad de Guatemala (Guatemala), se relaciona con el control estructural impartido por fallas N-S, el cual origina un sistema neotectónico de grábenes y horts.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica de la RGAC ha permitido reconocer 65 artículos, en los cuales se incorpora el tema de la neotectónica dentro de las investigaciones reportadas. Sin embargo, existe una amplia variabilidad en cuanto a la importancia relativa de la neotectónica dentro de los estudios evaluados. En un buen número de casos se encuentra que se hacen inferencias neotectónicas, como parte de estudios de cartografiado geológico reportados (p. e., Denyer & Arias, 1993; Žáček et al., 2012; Alvarado et al., 2009; Obando & Kussmaul, 2009). En otras publicaciones, se realizan interpretaciones neotectónicas para explicar diferentes hallazgos, determinados a partir de diversas ramas de la geología, como son la hidrogeología (p.e., Vargas & Fernández, 2002; Herrera & Orozco, 2010), o la sedimentología (Alvarado, 2009; Cárdenes, 2003), entre otras.

Una consideración más estricta para definir aquellos artículos, cuyo objetivo principal haya sido el estudio de la neotectónica de una zona determinada, llevaría a una disminución considerable del número de los 65 artículos, que se han considerado en este trabajo. Dentro del grupo de artículos que tienen un mayor énfasis en el estudio de la neotectónica de una determinada zona, destaca que la mayoría de estos, son estudios que comparten como metodología de estudio, tanto a la neotectónica como a la sismología. Sin embargo, existe una amplia variabilidad en cuanto al énfasis principal en este grupo de artículos, siendo muchos de ellos más sismológicos que neotectónicos (p. e., Montero et al., 1994; Ponce et al., 1994), o por el contrario, son más neotectónicos que sismológicos (p. e., Montero, 2003; Montero & Denyer, 2013). Asimismo, algunos le dan un peso similar a ambas ramas del conocimiento geocientífico (p. e., Montero & Alvarado, 1995; Montero et al., 2005).

Con respecto al impacto de la RGAC a la generación de nuevo conocimiento en el campo de la neotectónica, este es muy difícil de medir, por diferentes razones. Una forma de medir el impacto, es por la cantidad de citas que han tenido los artículos de la RGAC considerados en este trabajo en el nivel internacional. Aunque esto no se ha evaluado acá, se infiere que es bastante limitado. Una forma de aproximarse a medir el impacto, al menos dentro de Costa Rica y a nivel regional, es si se considera el área geográfica donde se ha dado el mayor énfasis en la investigación neotectónica durante los últimos treinta años. Se observa que de los 65 artículos evaluados, 59 han sido realizados en Costa Rica (90,8 %) y solo 6 (9,2 %) corresponden a trabajos de América Central (5 artículos) y uno del Caribe. Esto último sugiere, que la revista ha tenido un impacto mínimo en la generación del conocimiento neotectónico, a nivel de América Central y el Caribe. Esto parece reforzarse si se considera con mayor detalle el limitado alcance de los resultados y de las implicaciones neotectónicas, que tienen los trabajos realizados en esta última región.

Con respecto a los trabajos de Costa Rica, se observa que hay 59 artículos relacionados con el mismo. Estos a su vez se han dividido en los estudios regionales (4 artículos; 6,8 %), noroeste (6 publicaciones; 10,2 %), centro del país (34 artículos; 57,6 %), Caribe (9 trabajos; 15,2) y sur (6 artículos; 10,2 %). Lo anterior, sugiere que la investigación y el impacto de la investigación neotectónica en la RGAC, ha sido mayor en el centro de Costa Rica, donde se localiza el denominado Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica.

Precisamente, un revisión de los artículos publicados sobre la neotectónica del centro del país, muestra que varios de estos tienen temáticas comunes o similares, pero los autores alcanzan o determinan resultados o interpretaciones diferentes. La existencia de diferentes enfoques y formas de analizar un problema, o para explicar la neotectónica de una misma zona, permite visualizar mejor cuales son las propuestas conceptuales, los modelos, los retos presentes y futuros. Asimismo, permite definir al avance en el conocimiento sobre una determinada temática.

Sobre las características del sistema de falla que existe a lo largo del centro del país, se destacan los artículos de Astorga et al. (1991), Barboza et al. (1995), Fernández (1996-1997), Fernández & Pacheco (1998) y Montero (2001). Estos artículos muestran opiniones contrapuestas con respecto a las características de las fallas, su geometría, su cinemática y la importancia relativa de las mismas (p. e., entre las fallas sinestrales E-W a NE y las dextrales NW a N-S). Incluso existen nombres alternativos para denominar la zona de deformación neotectónica, que se presenta dentro de la región central de Costa Rica y por supuesto, la interpretación acerca del origen de la misma varía entre los diversos autores.

También, existen ejemplos de diferentes interpretaciones con respecto al sistema de falla presente dentro de determinadas zonas del centro de Costa Rica. Si consideramos el sector oeste, podemos mencionar los trabajos de Arias & Denyer (1991a), Montero (1999), Porras et al. (2012) y Montero & Rojas (2014). Otro ejemplo, es con respecto a la neotectónica del macizo del volcán Poás. En esta zona, se encuentran los trabajos de Alvarado et al. (1988), Gazel & Ruiz (2005) y Montero et al. (2010).

Asimismo, existen diferentes interpretaciones con respecto al origen de un determinado sismo. Por ejemplo, para el terremoto del 3 de julio de 1988 (M_s 6,1), está la interpretación de Boschini et al. (1988), que difiere con respecto a la de Mora & Peraldo (2011). Igualmente, con respecto al origen de los sismos históricos ocurridos en el macizo del volcán Poás, se encuentran las interpretaciones de Alvarado et al. (1988), las cuales difieren en algunos aspectos con las que se encuentran en Montero et al. (2010).

Con relación al avance en el conocimiento neotectónico de otras zonas del país, se observa que los estudios en la zona noroeste, caribe y sur han sido muy limitados en número. Entre estos se destacan los trabajos de cartografiado geológico (Alvarado, 2009; Alvarado et al., 2009; Obando & Kussmaul, 2009; Žáček et al., 2012). En el noroeste de Costa Rica, es importante destacar el trabajo de Montero & Denyer, (2011), tanto porque cubre una zona amplia, como es la península de Nicoya, como por el modelo neotectónico

que proponen para explicar el arreglo de fallas y pliegues determinado. En el sur de Costa Rica destacamos que Berrangé (1987; 1989; 1992) proponen un modelo de cuenca de tracción para explicar el golfo Dulce, mientras que Kriz (1990) proponen un origen por fallamiento inverso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, G. E., 2009: Geología de la hoja Fortuna, Alajuela, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 41: 117-122.
- ALVARADO, G. E., BARQUERO, R., TAYLOR, W., LÓPEZ, A., CERDAS, A. & MURILLO, J., 2009: Geología de la hoja General, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 40: 99-109.
- ALVARADO, G., MORALES, L.D., MONTERO, W., CLIMENT, A. & ROJAS, W., 1988: Aspectos sismológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 9: 75-98.
- ALVARADO, G. E. & VEGA, A. E., 2013: La geomorfología de la colada de Cervantes, volcán Irazú (Costa Rica): descripción de uno de los campos de lava más grandes de América Central.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 48: 99-118.
- ALVARADO, M. E., 1991: Modernos “fan-deltas” en la Bahía de Golfito, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 12: 109-113.
- AMADOR, J. A., CHACÓN, R. E. & LIZANO, O. G., 1994: Estudio de efectos geofísicos del Terremoto de Limón mediante percepción remota y análisis hidrometeorológico.- Volumen Especial Terremoto de Limón 22 de abril de 1991.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 153-169.
- ARIAS, O., & DENYER, P., 1991a: Estructura geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Caraigres, Candelaria y Río Grande, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 12: 61-74.
- ARIAS, O. & DENYER, P., 1991b: Aspectos neotectónicos y geológicos de Puriscal y alrededores, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 12: 83-95.
- ASTORGA, A., FERNANDEZ, J. A., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J., AGUILAR, A., & OBANDO, L. G., 1991: Cuencas sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 13: 25-60.
- BADILLA, E., CHAVES, I., LINKEMER, L., ZUÑIGA, H. & ALVARADO, G. E., 2001: Fotogeología de los complejos volcánicos el Hoyo y Asososca (Nicaragua).- *Rev. Geol. Amér. Central*, 24: 79-86.
- BARBOZA, G., BARRIENTOS, J. & ASTORGA, A., 1995: Tectonic evolution and sequence stratigraphy of the Central Pacific Margin of Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 18: 43-64.
- BARQUERO, R., LESAGE, P.H. METAXIAN, J. P., CREUSOT, A. & FERNANDEZ, M., 1995: La crisis sísmica en el volcán Irazú en 1991 (Costa Rica).- *Rev. Geol. Amér. Central*, 18: 5-18.
- BARQUERO, R. & ROJAS, W., 1994: Sismicidad inducida por el terremoto de Limón.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón 22 de abril de 1991: 111-120.
- BERRANGÉ, J., 1987: Gas seeps on the margins of the Golfo Dulce pull-apart basin, southern Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 6: 103-111.

- BERRANGÉ, J., 1989: The Osa Group: An auriferous Pliocene sedimentary unit from the Osa Peninsula, southern Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 10: 67-93.
- BERRANGÉ, J., 1992: Gold from the Golfo Dulce placer province, southern Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 14: 13-37.
- BOSCHINI, I., ALVARADO, G., & ROJAS, W., 1988: El terremoto de Buenavista de Pérez Zeledón (Julio 3, 1983): Evidencia de una fuente sismogénica intraplaca desconocida en Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 8: 111-121.
- CAMACHO, E., 1991: The Puerto Armuelles Earthquake (Southwestern Panama) of July 18, 1934.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 13: 1-14.
- CAMACHO, E. & VIQUEZ, V., 1994: Licuefacción y hundimientos costeros en el noreste de Panamá durante el terremoto de Limón.- Volumen Especial Terremoto de Limón 22 de abril de 1991.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 29-38.
- CÁRDENES, G., 2003: Evolución de los sistemas sedimentarios costero y aluvial de la región de Parrita, pacífico central de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 28: 69-76.
- CASTRO, L., 2010: Caracterización hidrogeológica del acuífero aluvial Naranjito, Quepos, Puntarenas.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 42: 99-114.
- CHIESA, S., CIVELLI, G. & TONI, S., 2001: Análisis de fotolineamientos de la República Dominicana.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 25: 27-47.
- CIVELLI, G., LOCATI, U., BIGIOGGERO, B., CHIESA, S., ALVARADO, G. E. & MORA, G., 2005: Geología de la hoja Tierras Morenas.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 33: 99-110.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1993: Geología del norte de la península de Nicoya, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 16: 69-84.
- DENYER, P., ARIAS, O. & ARIAS, M., 1994a: Esfuerzos y paleo-esfuerzos de la Cuenca de Limón.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón 22 de abril de 1991: 53-60.
- DENYER, P., ARIAS, O. & PERSONIUS, S., 1994b: Efecto tectónico del terremoto.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón 22 de abril de 1991: 39-52.
- DENYER, P., CÁRDENES, G. & KRUSE, S., 2004: Registro histórico y evolución de la barra arenosa de Puntarenas, golfo de Nicoya, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 31: 45-59.
- DENYER, P., PERSONIUS, S. & ARIAS, O., 1994c: Generalidades sobre el efecto geológico del terremoto.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón 22 de abril de 1991: 29-38.
- DENYER, P., FEOLI, S., MURILLO, G. & RODRIGUEZ, C., 1987: Cartografía geológica de un sector de los alrededores de la cuenca alta del río Niñey, Limón, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 7: 113-141.
- ESCALANTE, G. & ASTORGA, A., 1994: Geología del este de Costa Rica y del norte de Panamá.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón 22 de abril de 1991: 1-13.
- FENG, L., NEWMAN, A. V., PROTTI, M., GONZÁLEZ, V., JIANG, Y., & DIXON, T. H., 2012: Active deformation near the Nicoya Peninsula, northwestern Costa

- Rica, between 1996 and 2010: Interseismic megathrust coupling.- *J. Geophys. Res.* 117, doi: 10.1029/2012JB009230
- FERNÁNDEZ, J. A., BOTAZZI, G., BARBOZA, G. & ASTORGA, A., 1994: Tectónica y estratigrafía de Baja Talamanca y su relación con el Caribe.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón: 39-52.
- FERNÁNDEZ, M., 1996-1997: Evaluación del hipotético sistema de falla transcurrente este-oeste de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 19/20: 57-74.
- FERNÁNDEZ, M. & PACHECO, J., 1998: Sismotectónica de la región central de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 21: 5-23.
- FERNÁNDEZ, M. & MONTERO, W., 2002: Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, valle Central de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 26: 25-37.
- FERNÁNDEZ, M., MORA, M., & BARQUERO, R., 1998: Los procesos sísmicos en el volcán Irazú.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 21: 47-59.
- FERNÁNDEZ, M., ROJAS, W., TAYLOR, W. & ARROYO, I., 1997: Sismicidad y fallamiento en la zona de Arenal- Miramar.- *Rev. Ciencia y Tecnología*, 21: 63-72.
- GAZEL, E., 2003: Las series alcalinas del Plioceno de Costa Rica: Distribución espacial y relación con una fuente mantélica tipo OIB.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 29: 87-93.
- GAZEL, E. & RUIZ, P., 2005: Los conos piroclásticos de Sabana Redonda: componente magmático enriquecido del Volcán Poás, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 33: 45-60.
- HERRERA, I. R. & OROZCO, E. O., 2010: Hidrogeología de Ojo de Agua, Cuenca Sur de la Ciudad de Guatemala.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 42: 85-98.
- KRIZ, S., 1990: Tectonic evolution and origin of the Golfo Dulce gold placers in southern Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 11: 27-40.
- MADRIGAL, R., 1977: Evidencias geomorfológicas de movimientos tectónicos recientes en el valle de El General.- *Rev. Ciencia y Tecnología*, 1: 97-106.
- MONTERO, W., 1999: El terremoto del 4 de marzo de 1924 (M_s 7,0): ¿Un gran temblor interplaca relacionado al límite incipiente entre la placa Caribe y la microplaca de Panamá?.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 22: 21-58.
- MONTERO, W., 2001: El Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca de Panamá.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 24: 29-56.
- MONTERO, W., 2003: El sistema de falla Atirro-Río Sucio y la cuenca de tracción Turrialba-Irazú: Indentación tectónica relacionada con la colisión del levantamiento del Coco.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 28: 5-29.
- MONTERO, W. & ALVARADO, G., 1988: Los terremotos de Bagaces de 1935 y 1941: Neotectonismo transversal a la Cordillera Volcánica del Guanacaste, Costa Rica.- *Rev. Ciencia y Tecnología*, 12(1-2): 69-87.
- MONTERO, W., & ALVARADO, G. E., 1995: El terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (M_s = 5,9) y el contexto neotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 18: 25-42.

- MONTERO, W., BARAHONA, M., ROJAS, W. & TAYLOR, M., 2005: Los sistemas de falla Aguacaliente y Río Azul y relevos compresivos asociados, valle Central de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 33: 7-27.
- MONTERO, W., CAMACHO, E., ESPINOSA, A. & BOSCHINI, I., 1994a: Sismicidad y marco neotectónico de Costa Rica-Panamá.- *Rev. Geol. Amér. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón: 73-82.
- MONTERO, W. & DENYER, P., 2011: Fallamiento neotectónico de la península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco centroamericano.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 45: 09-52.
- MONTERO, W. & KRUSE, S., 2006: Neotectónica y geofísica de la falla Aguacaliente en los valles de Coris y del Guarco.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 34-35: 43-58.
- MONTERO, W. & MORALES, L. D., 1990: Deformación y esfuerzos neotectónicos en Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 11: 69-87.
- MONTERO, W., PANIAGUA, S., KUSSMAUL, S. & RIVIER, F., 1992: Geodinámica Interna de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 14: 1-12.
- MONTERO, W., PARDO, M., PONCE, L., ROJAS, W. & FERNÁNDEZ, M., 1994b: Evento Principal y réplicas importantes del terremoto de Limón.- Volumen Especial: Terremoto de Limón 22 de abril de 1991.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 93-102.
- MONTERO, W. & ROJAS, W., 2014: Las fallas Picagres y Purires y su relación con la secuencia sísmica de Puriscal de 1990.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 50: 39-69.
- MONTERO, W., ROJAS, W. & LINKIMER, L., 2013: Neotectónica de las fallas Ochomogo y Capellades y su relación con el sistema de falla Aguacaliente, falda sur macizo Irazú-Turrialba, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 48: 119-139.
- MONTERO, W., SOTO, G., ALVARADO, G. & ROJAS, W., 2010: División del deslizamiento tectónico y transtensión en el macizo del volcán Poás (Costa Rica), basado en estudios neotectónicos y de sismicidad histórica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 43: 13-36.
- MORA, M. & PERALDO, G., 2011: Análisis macrosísmico del terremoto de Buena Vista de Pérez Zeledón, 3 de julio de 1983 ($M_s = 6,1$), Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 44: 41-70.
- NORABUENA, E., DIXON, T., SCHWARTZ, S., DESHON, H., NEWMAN, A., PROTTI, M., GONZALEZ, V., DORMAN, L., FLUEH, E., LUNDGREN, P., POLLITZ, F. & SAMPSON, D., 2004: Geodetic and seismic constraints on some seismogenic zone processes in Costa Rica.- *Journ. Geophys. Res.*, 109, doi: 10.1029/2003JB002931.
- OBANDO, L. G., 2004: Mega-rasgos geomorfológicos del modelo de elevación digital, asociados al volcán Barva.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 31: 81-86.
- OBANDO, L. G., 2011: Estratigrafía y tectónica de la parte noreste de la hoja Dota (1: 50 000), Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 44: 71-82.
- OBANDO, L. G. & KUSSMAUL, S., 2009: Geología de la hoja Buenos Aires, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 41: 123-136.

- PÉREZ, C. L., 2009: Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca de distensión.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 41: 71-78.
- PONCE, L., PARDO, M., DOMINGUEZ, J., MONTERO, W., ROJAS, W., BOSCHINI, I., SUAREZ, G. & CAMACHO, E., 1994: Estudio de réplicas del terremoto de Limón usando datos locales: Resultados e implicaciones tectónicas.- *Rev. Geol. Am. Central*, Vol. Espec. Terremoto de Limón: 103-110.
- PORRAS, H., CASCANTE, M., GRANADOS, R. & ALVARADO, G., 2012: Volcano-estratigrafía y tectónica del Valle Central Occidental y las estribaciones de los Montes del Aguacate a lo largo de la ruta 27, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 47: 69-93.
- PROTTI, E., 1984: Índice Bibliográfico 1954-1983.- 31 págs. IGN, San José.
- QUINTANILLA, E., ALVARADO, G. E., MARÍN, C. & DURÁN, M., 2008: Volcano-estratigrafía de pozos como un aporte al conocimiento de la geología del cuaternario del valle de El Guarco (Cartago), Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 38: 53-64.
- RAPPRICH, V., HERNÁNDEZ, W. & ERBAN, V., 2005: Geology of Metapán volcanic field NW El Salvador.- *Rev. Geol. Amer. Central*, 33: 61-74.
- 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.
- SUÁREZ, Á. M., PERALDO, G., BADILLA, E. & OBANDO, L. G., 2009: Zonificación geomorfológica para la evaluación de la susceptibilidad de los deslizamientos en la cuenca del río Viejo, Puriscal, Costa Rica. - *Rev. Geol. Amér. Central*, 41: 55-69.
- TAYLOR, W., 2004: Características físicas del reservorio en el Campo Geotérmico Las Pailas estimadas con base en datos sismológicos, estructurales y relaciones de Poisson (σ).- *Rev. Geol. Amér. Central*, 31: 31-44.
- ULLOA, A., AGUILAR, T., GOICOECHEA, C. & RAMÍREZ, R., 2011: Descripción, clasificación y aspectos geológicos de las zonas kársticas de Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 45: 53-74.
- VARGAS, A. & FERNÁNDEZ, J.F., 2002: Contribución a la hidrogeología volcánica de Grecia, Valle Central Occidental de Costa Rica. - *Rev. Geol. Amér. Central*, 27: 27-38.
- ŽÁČEK, V., VOREL, T., KYCL, P., HUAPAYA, S., MIXA, P., GRÝCAR, R., HAVLÍČEK, P., ČECH, S., HRAZDIRA, P., METELKA, V., ŠEVČÍK, J. & PÉCSKAY, 2012: Geología y estratigrafía de la hoja 3246-II Miramar, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 47: 7-54.

