

Tectónica Plio-Cuaternaria en la Bahía de Ocoa (La Española, NE del Caribe)

Pliocene-Quaternary tectonic activity in the Ocoa Bay (Hispaniola Island, NE Caribbean)

Francisco José Fernández¹*, Javier Escuder-Virue², Fernando Pérez Valera³, Pablo Valverde Vaquero², Mercedes Castillo Carrión², Álvaro Rubio Ordóñez¹ y Alicia Medialdea⁴

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. C. Jesús Arias de Velasco, 33005 Oviedo.
ffernandez@uniovi.es, rubioalvaro@uniovi.es

² Instituto Geológico y Minero España - CSIC, C. La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid.
j.escuder@igme.es, m.castillo@igme.es y p.valverde@igme.es

³ Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. 03080 Sant Vicent de Raspeig, Alicante
fperez@ua.es

⁴ CENIEH. Paseo de Atapuerca, 3 09002, Burgos
alicia.medialdea@cenieh.es

*Corresponding author

ABSTRACT

The left-lateral Beata ridge (BR) and the right-lateral Ocoa-Bonao-La Guacara (OB) fault zones transfer the Plio-Quaternary deformation that results from the NNE-indentation of the Beata oceanic escarpment under the southern margin of Hispaniola. An arcuate relief bound the Ocoa bay, and the current tectonic uplift accelerates the fluvial incision and modifies the fluvial network. Both are active seismic faults whose respective kilometric traces converge 20 km northeaster ward of Ocoa bay, under the San José de Ocoa basin and potentially might be generated large earthquakes. In detail, strain is accommodated by the brittle partition of the fault zones and segmentation of the main faults into minor faults that bounded kilometric blocks of a lozenge shape, with the development of two significant partitions: the Sabana Buey pull-apart basin and the extensional block southward the Azua area; according to the respective fault topology and the relative fault rate displacement. The avulsion of the Ocoa river by the Sabana Buey basin opening occurred during the late Pleistocene, according to the OSL age of a lower alluvial fan (ca. 16 ky) incised by the current floodplain into the river mouth.

Key-words: Active tectonics, seismic faults, Caribbean plate, Dominican Republic.

RESUMEN

Las zonas de fallas de desgarre izquierdo de la cresta de Beata (BR) y derecho de Ocoa-Bonao-La-Guácara (OB) transfieren la deformación Plio-Cuaternaria que produce la indentación NNE del escarpe oceánico de Beata bajo el margen meridional de la Española. La bahía de Ocoa está bordeada por un relieve arqueado, y el levantamiento tectónico actual acelera la incisión fluvial y modifica la red fluvial. Ambas fallas son sísmicamente activas y sus trazas kilométricas convergen 20 km hacia el noreste de la bahía de Ocoa, bajo la cuenca de San José de Ocoa, y potencialmente pueden generar grandes terremotos. En detalle, la deformación está acomodada por la partición frágil de las zonas de falla y la segmentación de las fallas principales en fallas menores que bordean bloques romboidales, con desarrollo de dos importantes particiones: la cuenca de "pull-apart" de Sabana Buey y el bloque extensional del S del área de Azua; de acuerdo con la respectiva topología de la zona de falla y las tasas de desplazamiento relativo. La avulsión del río Ocoa por la apertura de la cuenca de Sabana Buey se produjo en el Pleistoceno superior, de acuerdo con la datación OSL de la base de un abanico aluvial inferior (ca. 16 ka) incidido por la llanura aluvial de inundación actual en la desembocadura del río.

Palabras-clave: Tectónica activa, fallas sísmicas, Placa Caribeña, República Dominicana.

Geogaceta, 74 (2023), 107-110

<https://doi.org/10.55407/geogaceta98192>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31/01/2023

Fecha de revisión: 20/04/2023

Fecha de aceptación: 26/05/2023

Introducción

La cresta de Beata define un alto batimétrico en la placa del Caribe de dirección SO-NE y más de 570 km de longitud, separando las cuencas de Haití y Venezuela. La convergencia oblicua entre la placa del Caribe y la de América del Norte se produce a tasas de 18-20 mm/año según la dirección N070°E (Fig. 1; Mann et al., 2002). Los primeros modelos tectónicos interpretaban la cresta de Beata como una falla transformante que aco-

modaba el acortamiento hacia el NE en el cabalgamiento frontal del prisma de los Muertos (p. ej. Ladd et al., 1981). Posteriormente, los perfiles geofísicos marinos de Mercier de Lepinay et al. (1988) mostraron la geometría del prisma de acreción y la indentación de la cresta de Beata. En tierra, diversos autores reconocen también la indentación de la cresta de Beata por la orientación arqueada y la rotación coherente de los ejes de los pliegues. Esta deformación tuvo lugar desde finales del Plioceno hasta la actualidad

(p. ej. Heubeck y Mann, 1991). Hernáiz Huerta y Pérez-Estaún (2002) y otros trabajos posteriores atribuyen las cinemáticas izquierda y derecha de las fallas que limitan la bahía de Ocoa y la curvatura de las estructuras a la indentación; para estos autores la falla de Enriquillo-Plantain Garden (EPGFZ) y el cabalgamiento de Bahoruco (Fig. 2) tendrían un importante papel.

La bahía de Ocoa se encuentra en una zona clave para resolver el puzle tectónico que produce la partición de la

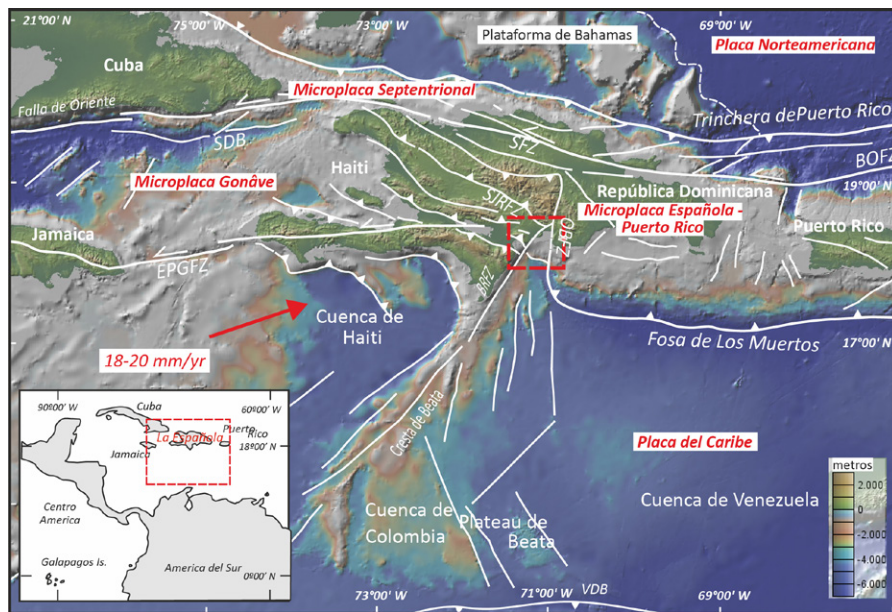


Fig. 1.- Mapa del borde noreste de la placa del Caribe mostrando la localización de las placas y los bordes de microplacas, así como las principales estructuras tectónicas. La flecha roja define el vector de movimiento relativo en dirección N070°E (mod. Mann et al., 2002). El cuadrado rectangular central rojo define la zona de la Fig. 2. El cuadrado rectangular inferior izquierdo muestra la localización de La Española. BRFZ, zona de falla de Beata Ridge; EPGFZ, zona de falla de Enriquillo-Platain Garden; OBFZ, zona de falla de Ocoa-Bonao-La Guacara; SFZ, zona de falla Septentrional; SJRFZ, zona de falla de San Juan-Restauración. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Map of the northeast edge of the Caribbean Plate showing the location of plate and microplate boundaries, as well as the main tectonic structures. The red arrow defines the movement vector of 18-20 mm/y in the direction N070°E of the Caribbean Plate with respect to the North American Plate (mod. Mann et al., 2002). The red central rectangle locates Fig. 2. BRFZ, Beata Ridge fault zone; EPGFZ, Enriquillo-Platain Garden fault zone; OBFZ, Ocoa-Bonao-La Guacara fault zone; SFZ, Septentrional fault zone; SJRFZ, San José-Restauración fault zone. See color figure in the web.

deformación debida a la indentación del escarpe de Beata bajo el margen meridional de La Española. Además, el conocimiento de la geometría, las relaciones de las fallas sísmo-activas y su cinemática son imprescindibles para construir modelos de amenaza sísmica realistas.

En este trabajo se presentan indicadores tectónico-geomorfológicos que evidencian la actividad reciente de la BRFZ, OBFZ (Fig. 1) y las estructuras relacionadas en el entorno de la bahía de Ocoa. La edad de las terrazas fluviales, obtenida por luminiscencia estimulada ópticamente (OSL) permite establecer la edad de enterramiento del sedimento sinorogénico relacionado con la estructura.

Contexto Geológico

En la bahía de Ocoa se diferencian dos unidades tectonoestratigráficas: el Cinturón de Peralta, de edad comprendida entre el Cretácico Superior y el Plioceno (p. ej. Hernáiz Huerta y Pérez-Estaún, 2002); y la secuencia de rocas que abarca desde la Fm Sombrerito (Mioceno Inferior) hasta el Plio-Cuaternario de la Fm.

Arrollo Seco, formada por conglomerados cementados similares a los abanicos aluviales no cementados recientes que forman parte del relleno de las cuencas de Azua, San Juan y Enriquillo (Fig. 2; p. ej. Díaz de Neira y Solé Pont, 2002). Las formaciones sedimentarias del cinturón de Peralta son parte de la cobertera que postdata el magmatismo de arco y registra la colisión oblicua arco-continente en el retro-arco (borde S de la isla) con el desarrollo de retro-cabalgamientos hacia el S y pliegues relacionados (p. ej. Pérez-Estaún et al., 2007). Además, esta deformación produjo en mayor medida el levantamiento de la Cordillera Central.

La evolución a una tectónica de escape hacia el océano Atlántico se produce en el Mioceno Medio y continúa activa en la actualidad (p.ej. Mann et al., 2002). Así, hacia el O de la bahía de Ocoa, la sismicidad somera se alinea a lo largo de la EPGFZ, mientras que hacia el E se registra una sismicidad intermedia y profunda a lo largo de la Fosa de los Muertos, situada con la misma orientación E-O, pero desplazada hacia el S más de 60 km (Fig.1; Escuder-Viruete et al., 2023). Por lo tanto,

la geometría y evolución de las cuencas de Azua, San Juan y Enriquillo y de los relieves que las separan están fuertemente condicionadas por esta tectónica de escape (Fig. 2).

Actividad neotectónica en la Bahía de Ocoa

Sector Occidental

El relieve estructural de la Sierra de Martín García consiste en un anticlinal de plano axial subvertical de dirección E-O y eje con ligera inmersión hacia el O. Es un pliegue de propagación de falla relacionado con la inversión de la cuenca de Enriquillo por el NE. La estructura se dobla en su contacto con la BRFZ (Fig. 3) de acuerdo con la cinemática lateral izquierda de la falla. Las rocas de falla de la BRFZ se observan en el acantilado costero de la sierra, y consisten en una sucesión de cataclasitas y brechas carbonatadas con desarrollo de una foliación sub-vertical anastomosada, y tienen un espesor superior a los 50 m. El bloque oriental está formado por los relieves del Cerro Vigía, Cerro Fermino y Cerro el Peñón al SE de Azua (Fig. 3). La cinemática de este bloque es compleja (Escuder-Viruete et al., 2023). Así, en el afloramiento costero de la sierra Martín García se observa una terraza de coral del Pleistoceno Medio sobre la que se sitúa un depósito de arenas de playa levantado y fosilizado por un abanico aluvial, deformado por fallas oblicuas de dirección N95-105°E y movimiento derecho. En el Cerro Vigía se observa el flanco NE del anticlinal cortado por fallas de dirección N120°E y estrías sub-horizontales y sentido derecho. En el cerro del Peñón la estratificación sub-horizontal está cortada por un clivaje de fractura anastomosada sub-horizontal que sugiere extensión horizontal local N-S.

Sector Central

El mayor relieve se sitúa al N de Azua, en la vertiente S de la cordillera Central, y se corresponde con el cabalgamiento de San Juan-Los Pozos (SJPFZ en Figs. 2 y 3) que superpone rocas del Cinturón de Peralta sobre el relleno Neógeno-Cuaternario de la cuenca de Azua. Hacia el E, la SJPFZ está cortada por una falla reciente: la falla de Azua (Mann et al., 1991), cuyo escarpe de falla produce una clara lineación en el relieve de dirección

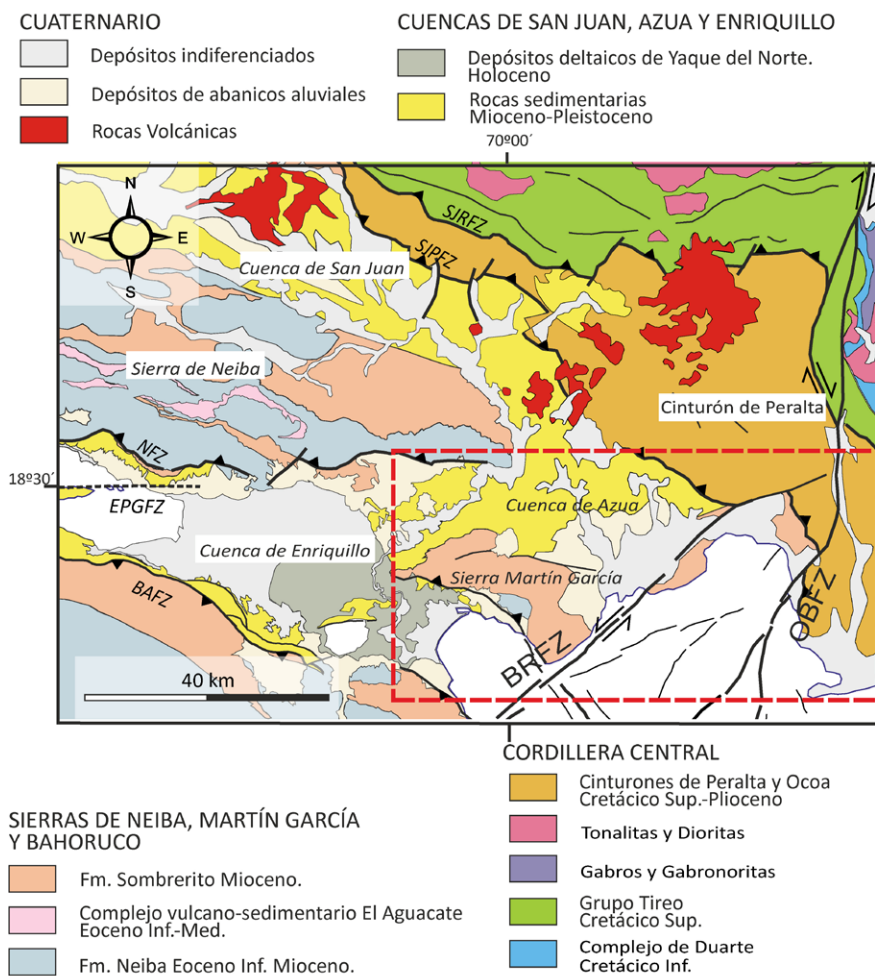


Fig. 2.- Mapa de las cuencas de San Juan, Azua y Enriquillo. El cuadrado rectangular rojo define la zona de estudio (Fig. 3). BRFZ, zona de falla de Beata Ridge; EPGFZ, zona de falla de Enriquillo-Platain Garden; OBFZ, zona de falla de Ocoa-Bonao-La Guacara; NFZ, zona de falla de Neiba; SJRFZ, zona de falla de San José-Restauración; SJPFZ, zona de falla de San Juan-Los Pozos; BAFZ, zona de falla de Bahoruco. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Map of the San Juan, Azua and Enriquillo basins. The red rectangle locates the study area (Fig. 3). BRFZ, Beata Ridge fault zone; EPGFZ, Enriquillo-Platain Garden fault zone; OBFZ, Ocoa-Bonao-La Guacara fault zone; SFZ, Septentrional fault zone; SJRFZ, San José-Restauración fault zone; SPFZ, San Juan-Los Pozos fault zone; BAFZ, Bahoruco fault zone. See color figure in the web.

N70°E (Fig.3; Loma los Cacheos). La falla es izquierda-oblicua y su salto horizontal disminuye hacia terminación NE en continuidad con la traza de SJPFZ, dibujando hacia el E un arco con forma de Z. Este arco está cortado al menos por tres fallas con rumbo sub-paralelo a la BRFZ (Fig. 3), interpretadas como su segmentación en abanico, que hacia el N se corta por la OBFZ, bajo la cuenca de San José de Ocoa (Escuder-Viruete *et al.*, en prensa; Fig. 3). La falla de Azua y el abanico NE de la BRFZ también cortan un cabalgamiento Plio-Pleistoceno que superpone la Fm. Sombrero, hacia el SSO (Fig. 2) sobre los abanicos aluviales inferiores. En el bloque cabalgante se produce un anticlinal frontal expuesto en Loma los Cacheos y Loma Vieja (Fig. 3). Todo ello sugiere que la formación de los últimos cabalgamientos hacia el S en secuencia "piggy-back" de la

cordillera Central se produce simultánea con los desgarres que acomodan lateralmente la indentación.

Por otra parte, en la playa de Tortugueros, situada entre el Cerro Fermín y el Cerro Peñón (Fig. 3), se ha identificado un extenso afloramiento de estructuras de licuefacción, desarrolladas sobre gravas y arenas cementadas correspondientes a una secuencia de playa reciente, que de acuerdo con la escala de intensidad sísmica ambiental (ESI-07; Guerreri y Vittori 2007) se puede identificar como un registro paleo-sísmico devastador (intensidad XI-XII).

Sector Oriental

La sierra del Número se levanta en el bloque oriental de la OBFZ (Escuder-Viruete *et al.*, 2023; Fig. 3), donde los ca-

balgamientos y pliegues relacionados del cinturón de Peralta presentan una orientación N-S de acuerdo con su posición en el arco que genera el "indenter". Este bloque está intensamente cizallado por fallas discretas de desgarre derecho con orientaciones que varían entre ENE a NE (Pérez-Valera, 2010) y cuya cinemática es coherente con la cinemática general derecha de la OBFZ. La apertura de un surco de orientación E-O entre Sabana Buey y la Bahía de Ocoa produce la avulsión del río Ocoa en su desembocadura, de manera que los abanicos aluviales que progradaban hacia el S son localmente cortados por otros más recientes que vierten hacia el N en la vertiente S del surco y rellenos de terrazas fluviales que progradan hacia el O en la dirección actual de la desembocadura del río en la bahía (ver la orto-foto en p. ej. www.google.com/intl/es/earth). Este surco es interpretado como producido por la apertura de una pequeña cuenca de "pull-apart" consecuencia de flexión en Z de la OBFZ. En ocasiones se ha podido relacionar la avulsión de los cursos fluviales con terremotos (p. ej. Quigley y Duffy, 2020).

Los abanicos aluviales de este sector han podido ser datados por OSL (Escuder-Viruete *et al.*, 2023) porque, a diferencia de los sectores occidental y central donde los abanicos están prácticamente formados por cantos y bloques carbonatados, aquí presentan niveles arenosos ricos en cuarzo y feldespatos. La muestra 20JE05 de un nivel de arenas en la base de abanico aluvial que prograda hacia el N, de acuerdo con su posición sobre el escarpe de falla normal que bordea el surco por el S (Fig. 3) tiene una edad de $16,5 \pm 3$ ka y se interpreta como la edad máxima para la apertura de esta cuenca.

Conclusiones

La Bahía de Ocoa es un relieve litoral situado en el retro-arco caribeño producido por la indentación de la cresta de Beata en el margen meridional de La Española, durante la convergencia oblicua intra-oceánica entre las placas del Caribe y América del Norte.

Desde el Mioceno se configuran y rellenan sin-tectónicamente las cuencas de Enriquillo, Azua y San Juan, bajo un régimen de convergencia oblicua izquierda y se inicia el proceso de indentación que todavía continúa.

En la actualidad, la deformación está controlada por dos fallas sismogénicas

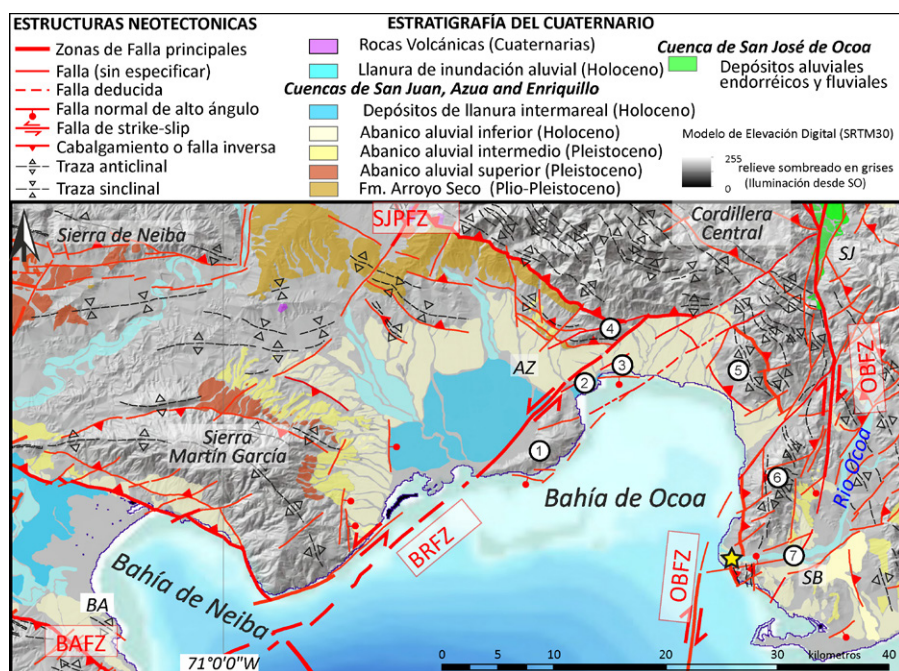


Fig. 3.- Mapa Neotectónico de la Bahía de Ocoa. El modelo de relieve sombreado ha sido hecho desde la síntesis de datos (Ryan et al., 2009) con GeoMapApp (www.geomapapp.org). La litoestratigrafía de las unidades Neógenas y Cuaternarias definidas en el proyecto SYSMIN (Pérez-Estaún et al., 2007) está incluida en el mapa. BA, Barahona; AZ, Azua; SJ, San José de Ocoa; SB, Sabana Buey; 1, Cerro Vigía; 2, Cerro Fermino; 3, Cerro Peñón; 4, Loma los Cacheos; 5, Loma Vieja; 6, Sierra del Número; 7, Cuenca de "pull apart". La estrella amarilla localiza la muestra 20JE05. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Neotectonic map of southern central Hispaniola. Shaded relief in grayscale has been made from the GMRT synthesis data set (Ryan et al., 2009) with GeoMapApp (www.geomapapp.org). The Late Neogene and Quaternary lithostratigraphic units defined in the SYSMIN Project (Pérez-Estaún et al., 2007) are included in the map. BA, Barahona; AZ, Azua; SJ, San José de Ocoa; SB, Sabana Buey; 1, Cerro La Vigía; 2, Cerro Fermino; 3, Cerro el Peñón; 4, Loma los Cacheos; 5, Loma Vieja; 6, Sierra el Número; 7, "pull apart" basin. Sample 20JE05 is located by the yellow star. See color figure in the web.

de desgarre izquierdo (BRFZ) y derecho (OBFZ) que limitan la bahía por el O y el E, respectivamente. En este contexto, el paso del indenter bajo la cobertera produce estructuras que evolucionan de compresivas hacia el SO a extensionales, originando una partición de la deformación en las zonas de falla con bloques romboidales transtensivos a ambos lados de la bahía.

Contribución de los autores

FJF, JEV y FPV: Estructura del trabajo; metodología; figuras; adquisición de datos (también AM); Todos: edición, y revisión del manuscrito; JEV coordinación y supervisión.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por el proyecto PID2019-105625RB-C22. Los autores agradecemos a Antonio Azor y Ángela Suárez la revisión del manuscrito original.

Referencias

Díez de Neira, J.A. y Solé Pont (2002). *Acta Geológica Hispánica*, v. 37, n° 2-3, 163-191.
Escuder-Viruete, J., Fernández, F.J., Pérez-Valera, F. y Medialdea, A. (2023). *Tectonics*. <https://doi.org/10.1029/2022TC007618>
Guerreri, L. y Vittori, E. Eds. (2007). *Intensity Scale ESI-2007. Memorie Descriptive*

Della Carta Geologica D'Italia, 74. APAT, SystemCart Srl, Roma, Italia.

Heubeck, C. y Mann, P. (1991). En: *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate Boundary in Hispaniola*. (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F. Eds.). Cambridge Geological Society of America Special Paper 262, 315-336.
Hernáiz-Huerta, P.P. y Pérez-Estaún, A. (2002). *Acta Geológica Hispánica*, v. 37, n° 2-3, 183-205.

Quigley, M. y Duffy, B. (2020). *Geosciences*, 10, 114.

<https://doi.org/10.3390/geosciences10030114>

Ladd, J.W., Shih, Tai-Chang y Tsai, C.J. (1981). *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 65, 466-489.

Mann, P., McLaughlin, P.P.Jr. y Cooper, J.C. (1991). En: *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate Boundary in Hispaniola*. (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F. Eds.). Cambridge Geological Society of America Special Paper 262, 367-389.

Mann, P., Calais, E., Ruegg, J.C., Demets, C., Jansma, P.E. y Mattioli, G.S. (2002). *Tectonics* 21(6), 1-23.

<https://doi.org/10.1029/2001TC001304>

Mercier de Lépinay, B., Mauffret, A., Jany, I., Bouysse, P., Mascle, A., Renard, V., Dtephan, J.F. y Hernandez, E. (1988). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, 307,1289-1296.

Pérez-Estaún, A. Hernaiz-Huerta, P.P., Lopera, E., Joubert, M., Escuder Viruete, J., Díaz de Neira, A., Monthel, J., García-Senz, J., Urien, P., Contreras, F., Bernárdez, E., Stein, G., Deschamps, I., García-Lobón, J.L. y Ayala, C. (2007). *Boletín Geológico y Minero*, 118, 157-174.

Pérez-Valera, F. (2010). *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6070-I (Sabana Buey)*. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 96 pp. <https://www.sgn.gob.do>

Ryan, W.B.F., Carbotte, S.M., Coplan, J. O'Hara, S., Melkonian, A., Arko, R., Weissel, R.A., Ferrini, V., Goodwillie, A., Nitsche, F., Bonczkowski, J., y Zemsky, R. (2009). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 10, Q03014.

<https://doi.org/10.1029/2008GC002332>