

Principales avances en la caracterización sismogénica y la evaluación de eventuales deformaciones permanentes de origen cosísmico, asociadas con la falla Pueblo Viejo dentro del bloque triangular de Maracaibo del Occidente Sur caribeño

Main advances in the seismogenic characterization and the evaluation of likely permanent co-seismic deformations, related with Pueblo Viejo fault into Maracaibo triangular block on the south western Caribbean plate

Moralis González*
Franck Audemard**
Gustavo Malavé***

Resumen

La investigación persigue efectuar la caracterización sismogénica de la falla Pueblo Viejo y evaluar posibilidades de ocurrencia de eventuales deformaciones cosísmicas permanentes, que pudieran afectar instalaciones petroleras de la costa Oriental del Lago de Maracaibo (Venezuela). La primera etapa de este trabajo contempló: revisión e integración de información geológico-tectónica, evaluación de información sísmica petrolera y revisión de actividad sísmica reciente en la Cuenca. La segunda etapa, en ejecución, incluye: Identificación de superficies de despegue del Mioceno Superior; cálculo de parámetros sismogénicos y evaluación de posibilidades de ocurrencia de eventuales deformaciones

Abstract

The purpose of the investigation is to make a seismogenic characterization of the Pueblo Viejo fault and to evaluate the occurrence of likely permanent coseismic deformations, which could affect some petroleum installations in the Eastern Lake Maracaibo Coast (Venezuela). The first phase of this investigation has included: revision and interpretation of: the geologic-tectonic information, seismic 2D and 3D evaluation and recent seismicity in the basin. The second phase, in execution, contains: Upper Miocene decollement levels identification, seismogenic parameters calculation and evaluation of the possible permanent co-seismic deformations. At the moment, the results show that the Pueblo Viejo fault is active, with transpressive

* PDVSA Intevep, Urb. Santa Rosa sector El Tambor Los Teques estado Miranda Venezuela, Apartado 76343 1070A.gonzalezmjn@pdvsa.com

** Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Prolongación calle Mara, Urb. El Llanito Caracas Venezuela, Apartado 1070. faudemard@funvisis.gob.ve

*** PDVSA CVP Edif. Pawa Urb. Las Mercedes Caracas Venezuela, Apartado 76343 1070^a. malaveg@pdvsa.com

permanentes directas cosísmicas. Los resultados a la fecha indican que la falla Pueblo Viejo es activa con movimiento reciente transpresivo, pero con movimientos verticales opuestos en su historia tectónica. Se compone de dos trazas de vergencia contraria, que limitan un levantamiento estructural anticlinal (*push up*). Ambas trazas no afloran en toda su longitud, pero donde no aflora, existe deformación dúctil de las capas superiores. La falla intersecta la costa en Bachaquero-Zulia, donde la misma presenta un saliente con vértice al SO, siendo muestra de su actividad reciente. Se han reportado indicios geomorfológicos visibles de su actividad en el delta del río Sibaragua y cubetas de licuación en zonas circundantes. La falla se extiende tierra adentro, aflorando hacia el NNE y pudiera terminar en la falla Burro Negro. Asimismo, pareciera prolongarse sin aflorar al sur del Lago de Maracaibo.

Palabras clave: Costa Oriental del Lago de Maracaibo, bloque triangular de Maracaibo, falla Pueblo Viejo, caracterización sismogénica.

recent movement, but with previous vertical movements. It has two opposite verging traces, which generate a structural anticline or push up. Both traces do not crop out along their entire length, but they propagate upward via ductile deformation in the upper layers. The fault cuts the coast in Bachaquero-Zulia, where it shows a SW-pointing salient, which is an evidence of its recent activity. There are some geomorphological indices of the Pueblo Viejo activity in the Sibaragua river delta and liquefaction buckets in nearby areas. The fault extends to the NNE and it may converge with the Burro Negro fault. Also, it could extend south of the Maracaibo Lake without cropping out.

Key words: Eastern Coast of Maracaibo Lake, Maracaibo triangular block, Pueblo Viejo fault, seismogenic characterization.

I. INTRODUCCIÓN

El occidente sur caribeño es una región de compleja interacción tectónica entre las placas Caribe, Suramérica y Nazca. Esta zona comprende un juego de bloques tectónicos discretos o microplacas, independientes del movimiento de las placas mayores. Uno de ellos es el bloque triangular de Maracaibo, el cual constituye una cuña litosférica limitada por las fallas principales Santa Marta-Bucaramanga, Boconó y Oca-Ancón, respectivamente (Audemard y Audemard, 2002). Su configuración ha sido establecida como un mecanismo de rotación en estantería de libros (Malavé, 1992), donde existe fragmentación

interna mediante fallas (activas o potencialmente activas) orientadas NNE-SSO, con alguna componente de movimiento sinistral, tales como: Icotea y Pueblo Viejo (Figura 1). Dichas fallas han sido estudiadas para prospección petrolera en la cuenca de Maracaibo, pero no se ha efectuado la caracterización de su potencial, con fines de evaluación sísmica. Es de considerar que una eventual ruptura cosísmica de cualquiera de ellas podría provocar eventuales deformaciones permanentes directas, las cuales pueden ocasionar daños parciales o totales sobre activos petroleros y no petroleros ubicados en zonas aledañas dentro de la mencionada cuenca.

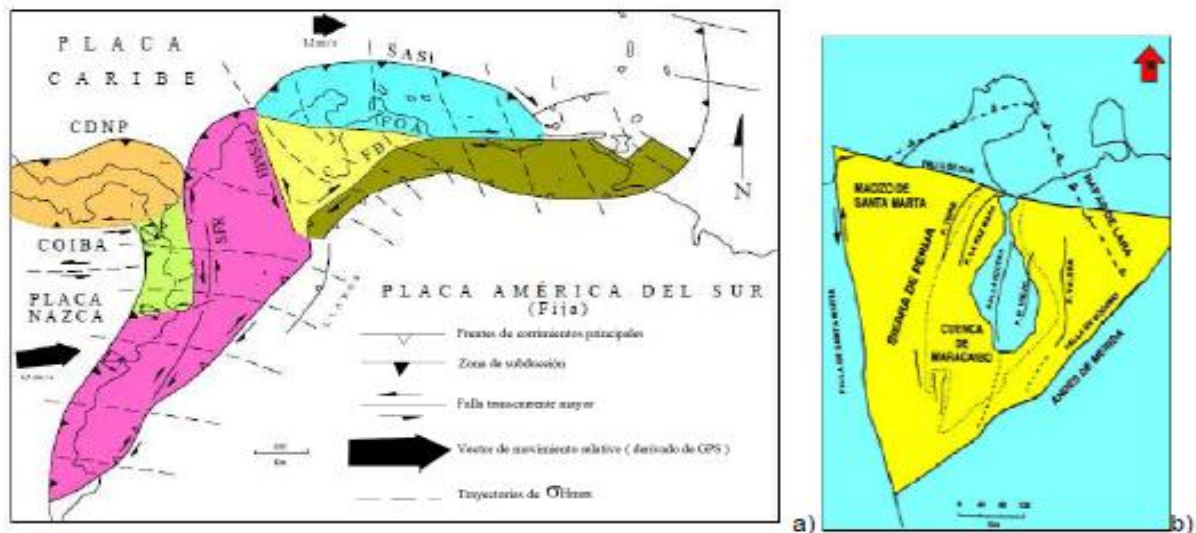


Figura 1. a) Geodinámica en el sur del Caribe y b) bloque de Maracaibo.

Fuente: a) Audemard y Audemard (2002, p. 304). *Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction*. Tectonophysics 345: 299 – 327. b) Modificado de Gil (2011). *Interpretación sísmica estructural 3D del Bloque Urdaneta Oeste, Maracaibo estado Zulia, Venezuela*. Informe de Pasantías Universidad Simón Bolívar.

Durante muchos años, la cuenca de Maracaibo ha aportado un número considerable de barriles de hidrocarburos en Venezuela. Dicha cuenca, de tipo flexural, estrecha y profunda, se formó como consecuencia del levantamiento de los Andes de Mérida en el occidente sur caribeño (Audemard y Audemard, 2002), con un espesor máximo aproximado de sedimentos cretácicos y post-cretácicos de 36.000 pies (Gil, 2011). Su explotación petrolera ha sido posible mediante la aplicación de diferentes técnicas de exploración, producción y refinación, así como el desarrollo y la instalación de los activos requeridos en el Lago de Maracaibo y en tierra. Análogamente,

considerando cualquier inundación provocada por la crecida del nivel de este lago, en su parte oriental, se ha construido un sistema de diques de protección, que abarca las localidades de Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero en el estado Zulia (Venezuela), con cerca de 52 km de extensión (Figura 2). El mismo permite resguardar la integridad de las instalaciones petroleras en la zona y primordialmente, brinda protección a pobladores ubicados en las localidades mencionadas.

Bajo el contexto anterior, la investigación persigue efectuar la caracterización sísmica

de la falla Pueblo Viejo y evaluar posibilidades de ocurrencia de eventuales deformaciones cosísmicas permanentes directas asociadas con dicha falla, que pudieran tener afectación sobre las instalaciones petroleras en la cuenca de Maracaibo, con énfasis en el sistema de diques de protección, ubicado en la Costa Oriental del Lago

de Maracaibo (COLM). No obstante, el presente trabajo sólo muestra la caracterización de la falla en estudio, por cuanto aún se encuentra en ejecución la otra fase planteada en dicha investigación.

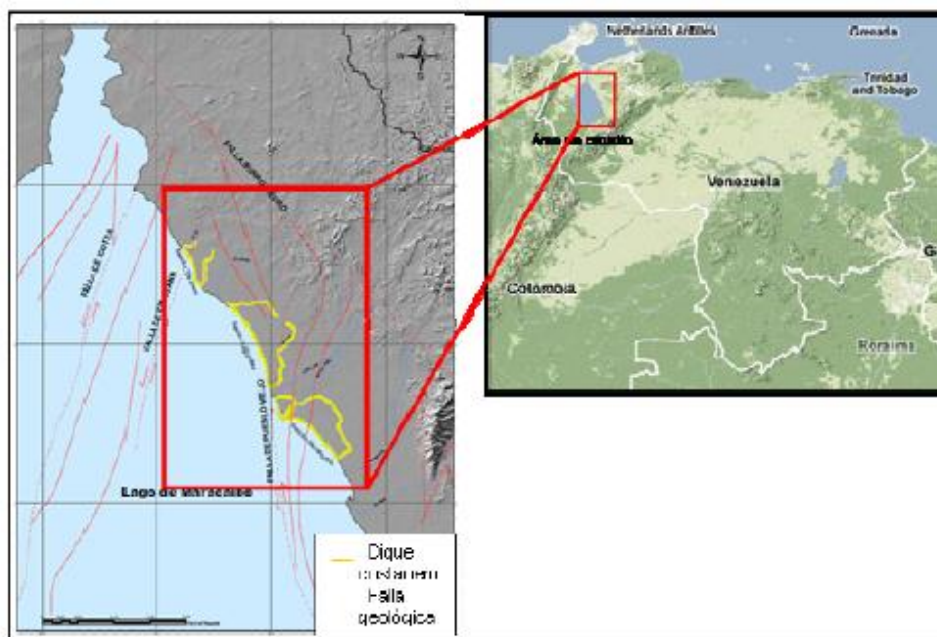


Figura 2. Ubicación del área del sistema costanero de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo. Fuente: Modificado de Suárez y Azuaje (2012, p. 8). *Reinterpretación fotogeológica de fallas y paleocanales en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo*. PDVSA Intevep Nota técnica NTE-1209, 2011.

II. METODOLOGÍA

La definición del tipo de investigación se ha concretado en el entendido que existen diversas formas clasificatorias al respecto. En tal sentido, esta investigación tiene un carácter exploratorio, descriptivo y aplicado, por cuanto representa uno de los pocos estudios de caracterización de la falla Pueblo Viejo en el occidente de Venezuela, basada en la interpretación integrada de información de diferentes pericias, a objeto de establecer su comportamiento sismogénico en la COLM, aunque es claro que se han realizado múltiples acercamientos en distintas disciplinas. Análogamente, el trabajo presenta un diseño documental, dado que su ejecución depende de la obtención de información accesible y disponible en materiales impresos y/o digitales; y de campo, considerando que dicha información debe

obtenerse directamente de las áreas operacionales en la zona de afectación.

La ejecución de actividades se ha distribuido en dos etapas. La primera contempló: revisión e integración de información geológico-tectónica relevante, evaluación de información sísmica petrolera accesible y disponible, así como la revisión de la actividad sísmica reciente en la cuenca. La segunda etapa, en proceso de ejecución, incluye: identificación de superficies de despegue del Mioceno Superior, que puedan impedir la propagación hacia arriba de la deformación frágil de las capas suprayacentes donde la falla no aflora pero genera deformación dúctil; cálculo de parámetros sismogénicos de la falla, y finalmente, evaluación de posibilidades de ocurrencia de eventuales deformaciones permanentes directas de origen cosísmico.

III. RESULTADOS

A raíz de la ejecución de la primera etapa de este trabajo, se han obtenido algunos resultados importantes sobre la falla Pueblo Viejo, los cuales se mencionan a continuación:

A. Escenario tectónico de la falla Pueblo Viejo en la cuenca de Maracaibo

En el área occidental de Venezuela, la actividad tectónica se encuentra gobernada principalmente por las fallas Boconó, Oca y Valera, así como los sistemas de fallas Icotea y Pueblo Viejo, los cuales son elementos importantes en la estructuración de la Cuenca de Maracaibo (Lugo 1992). De hecho, la historia tectónica de dicha

cuenca documenta dos sistemas de fallas principales, uno con rumbo O a NO, de fallas extensionales; y otro, con rumbo N a NE, en el que destaca la falla Pueblo Viejo.

Los resultados, a la fecha, indican que la falla Pueblo Viejo es activa con movimiento reciente transpresivo, pero con movimientos verticales opuestos en su historia tectónica: componente normal durante el Eoceno, pero en el Mioceno Superior, presentó importante movimiento en inverso, con control de sedimentación (Figura 3).

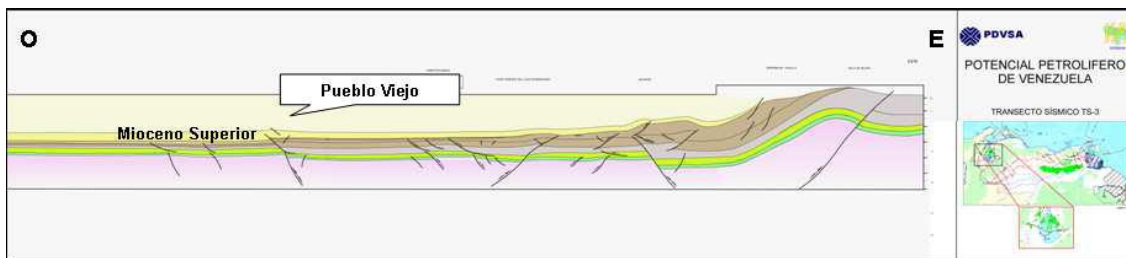


Figura 3. Fracción oriental del transecto sísmico TS-3, con interpretación de la falla de Pueblo Viejo, observándose con movimientos verticales opuestos en su historia tectónica.

Fuente: PDVSA. 2000. *Visión Integrada del Potencial Petrolífero de Venezuela (Proyecto VIPA)*. Atlas Tomos 1 a 5 + Anexos

B. Actividad reciente de la falla Pueblo Viejo en la COLM

Se han encontrado evidencias de actividad reciente asociados con la falla Pueblo Viejo. Scherer (2007) reportó indicios geomorfológicos visibles de dicha actividad en el delta del río-caño Sibaragua (Zulia), así como cubetas de licuación de gran extensión (200 a 300 m de diámetro) en las zonas circundantes, las cuales podrían evidenciar la sismicidad reciente de este sistema de fallas. Asimismo, Audemard y Ollarves (2004) indicaron que una evidencia palpable de la actividad reciente de la falla, lo constituye la protuberancia de la línea de costa, la cual viene dada por un saliente en forma de esquina con vértice hacia el SO, producto del cruce de la traza en la costa a nivel de la población de Bachaquero (Figura 4).

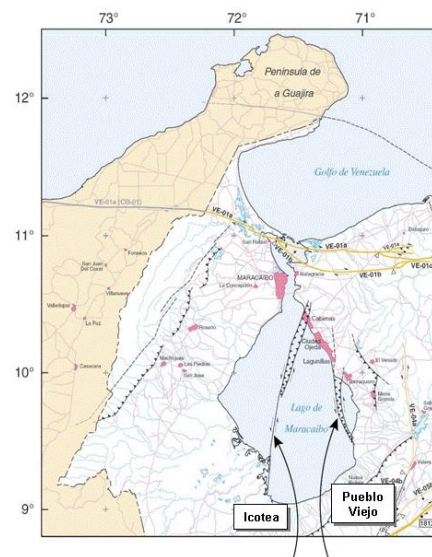


Figura 4. Ubicación relativa de las fallas Pueblo Viejo e Icotea en la cuenca de Maracaibo, Venezuela.

Fuente: Modificado de Audemard et al. 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Venezuela and its Offshore Regions. En: USGS Open-File report 00-0018.

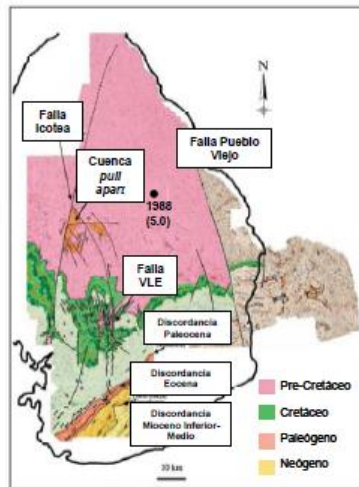


Figura 5. Time slice a 3,4 s en sísmica interpretada, con los principales rasgos estructurales y estratigráficos presentes en el área. Se nota la cuenca pull-apart entre las fallas Icotea y VLE

Fuente: Modificado de Mann et al. (2006, p. 467). Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo Supergiant Basin, Western Venezuela. AAPG Bulletin. Vol. 90 No. 4.

C Revisión de la sismicidad en la cuenca de Maracaibo

A excepción de la sismicidad correspondiente a las fallas de Boconó, Oca-Ancón y Valera, así como la vinculada con los sistemas de corrimiento de los piedemontes de los Andes de Mérida, la actividad sísmica parte de su costa. Predominaron sismos someros de magnitudes variables (M_w 2 – 2,9), los cuales pueden vincularse geográficamente y de manera preliminar a las fallas activas presentes (para 2012, 24 de 78 a Pueblo Viejo). Sin embargo, se aclara que debe realizarse un análisis sismológico de cada sismo, lo cual, junto con la caracterización de cada una

de las fallas circundantes y la tectónica imperante, permitirá adjudicar cada evento de manera definitiva a alguna falla activa.

A excepción del rango de magnitudes de los eventos ocurridos en los lapsos estudiados, se destaca el sismo de 1988 Mb 5,0; que ocurrió con epicentro en el Lago de Maracaibo (a unos 25 km al suroeste de la población de Lagunillas). De acuerdo con la solución mostrada al escoger uno de los planos nodales obtenidos en su mecanismo focal (Malavé, 1992), este sismo podría corresponder a la cuenca en tracción (*pull apart basin*) formada entre las fallas Icotea y VLE (Figura 5).

D. Características esenciales de la falla Pueblo Viejo

La falla Pueblo Viejo es definitivamente una falla activa, de conformidad con varias líneas sísmicas o secciones publicadas, con una longitud mínima de 60 km y anchura de 16 km. Según Murria (1992), la falla tiene una tasa de deslizamiento de 0,02 mm/año y magnitud máxima asociada de 6,5. Esta falla presenta características tectónicas recientes: accidente submeridiano, con movimiento reciente transpresivo (sinestral inverso a inverso sinestral) y levantamiento estructural anticlinal (*pop up o push up*) asociado (Figura 6). Está compuesta por dos trazas de vergencia contraria, que no afloran en toda su longitud, observándose tierra adentro hacia el NNE. Donde no aflora, existe deformación dúctil de los reflectores suprayacentes, lo cual es también indicio de su actividad. En estas zonas, se presume la existencia de superficies mecánicas de despegue, que puedan impedir la propagación hacia arriba de la deformación frágil en las capas superiores al Mioceno Superior. La falla se extiende tierra adentro donde aflora hacia el NNE, al menos hasta aproximarse a Cabimas (Zulia), y pudiera terminar en la falla Burro Negro. Asimismo, pareciera prolongarse sin aflorar hasta el sur del Lago de Maracaibo (Figura 7).

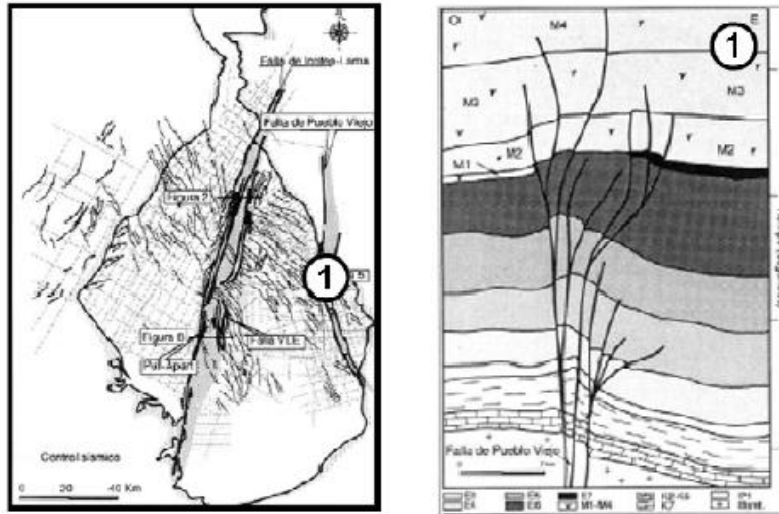


Figura 6. Levantamiento estructural anticlinal (*push up or pop up*) asociado con la falla Pueblo Viejo.
Fuente: Modificado de Lugo (1992). *Historia tectónica a lo largo de los sistemas de fallas de Icoitea y Pueblo Viejo, Cuenca de Maracaibo*. Caracas. VI Congreso Venezolano de Geofísica. Memoria: 118- 124 p

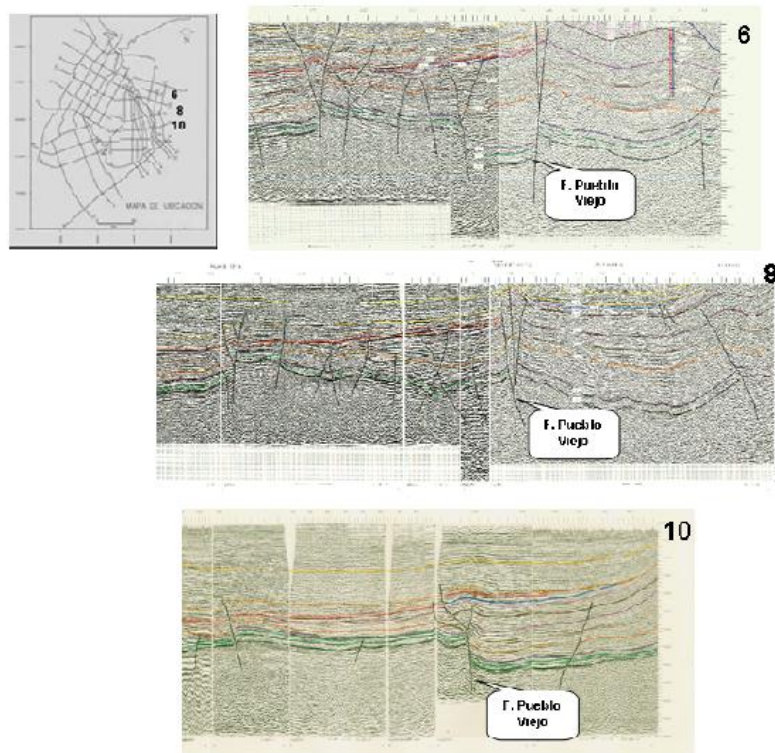


Figura 7. Tendidos sísmicos con identificación de la falla Pueblo Viejo en la COLM.
Fuente: MARAVEN 1994-1995. *Síntesis geológica marco secuencial y perspectivas exploratorias del Eoceno de la cuenca de Maracaibo*. Informe No. EPC 13494: 233 p. + anexos.

IV. CONCLUSIONES DE LA PRIMERA ETAPA

La falla Pueblo Viejo es activa con movimiento reciente transpresivo, pero con movimientos verticales opuestos en su historia tectónica. Se compone de dos trazas de vergencia contraria, que limitan un levantamiento estructural anticlinal (push up). Ambas trazas no afloran en toda su longitud, pero donde no aflora, existe deformación dúctil de las capas superiores. Hay evidencias palpables de su actividad reciente: (a) forma un saliente con vértice al SO donde cruza la costa en Bachaquero- Zulia, (b) indicios geomorfológicos visibles en el delta del río Sibaragua, (c) cubetas de licuación en zonas circundantes, y (d) aflora tierra adentro hacia el NNE. Al NNE, la falla se extiende al menos hasta aproximarse a Cabimas (Zulia), y pudiera terminar en la falla Burro Negro. También, pareciera prolongarse sin aflorar hasta el sur del Lago de Maracaibo. Para 1910-2003 y 2006-2012, predominaron sismos someros de magnitudes menores que 3 (a excepción del sismo de 1988 Mb 5,0 en el lago), los cuales pueden vincularse geográficamente a las fallas presentes (en 2012, 24 a Pueblo Viejo).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla en el marco del Proyecto ATE Occidente 2012- 2013 de PDVSA Intevep, a solicitud de la Gerencia Diques y Drenaje de la División COLM de Occidente. Se lleva a cabo en sinergia con la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), considerando el Convenio MCTI-PDVSA Intevep. Los autores expresan sus sinceras palabras de agradecimiento: a las instituciones involucradas y su personal, por permitir la ejecución de la investigación; a la Gerencia Diques y Drenaje de la División COLM y a PDVSA E&P Occidente, por el suministro de la información solicitada; al Proyecto ATE Occidente por financiar los gastos incurridos.

REFERENCIAS

[1] Audemard F et al 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Venezuela and its Offshore Regions. En: USGS Open-File report 00-0018 (accessible from USGS webpage; open file reports ofr- 00-0018). p. 78.

[2] Audemard F. E. y Audemard F. A. 2002. Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean

geodynamic interaction. Tectonophysics 345: 299 – 327.

[3] Audemard F. y Ollarves R. 2004. Eventuales deformaciones permanentes de origen cosísmico, que pudiesen afectar la integridad del sistema de diques de protección de la Costa Oriental del Lago de aracaibo –COLM- Proyecto Funvisis- Intevep 04-071. Informe Técnico de Avance: 15 p.

[4] Gil A. 2011. Interpretación sísmica estructural 3D del Bloque Urdaneta Oeste, Maracaibo estado Zulia, Venezuela. Informe de Pasantías para optar al título de Ingeniero Geofísico. Universidad Simón Bolívar: 22-38 p.

[5] Lugo J. 1992. Historia tectónica a lo largo de los sistemas de fallas de Icotea y Pueblo Viejo, Cuenca de Maracaibo. Caracas. VI Congreso Venezolano de Geofísica. Memoria: 118-124 p.

[6] Malavé G. 1992. Inversión de ondas de volumen de algunos sismos importantes del Noroccidente de Venezuela: relación con la tectónica regional. Tesis para optar el grado de Maestro en Sismología y Física del Interior de la tierra. Universidad Nacional Autónoma de México: 73-85 p.

[7] Mann P, Escalona A. y Castillo M. 2006. Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo Supergiant Basin, Western Venezuela. AAPG Bulletin. Vol. 90 No. 4: 445-477. [8] MARAVEN 1994-1995. Síntesis geológica marco secuencial y perspectivas exploratorias del Eoceno de la cuenca de Maracaibo. Informe No. EPC 13494: 233 p. + anexos

[9] Murria J. 1992. Desarrollo reciente en la evaluación del riesgo sísmico en el occidente de Venezuela. Informe por asesoría para estudios de ingeniería. MARAVEN: 1-29 p.

[10] PDVSA. 2000. Visión Integrada del Potencial Petrolífero de Venezuela (Proyecto VIPA). Atlas Tomos 1 a 5 + Anexos.

[11] Scherer W. 2007. Evidencias geológicas de licuación reciente en capas cuaternarias de las zonas de Lagunillas, Pueblo Nuevo y Bachaquero. Informe presentado al Comité de Expertos de los Diques COLM (COE-10): 39 p.

[12] Suárez L. y Azuaje J. 2011. Reinterpretación fotogeológica de fallas y paleocanales en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo. PDVSA Intevep. Nota técnica NTE-1209, 2011:27p. Inédito.

