

# Evidencias paleosísmica y arqueosísmica de la simbología Posclásica Tardía P'urhepecha en Michoacán (México). ¿Primeras señalizaciones sísmicas de la historia?

## *Paleoseismic and archeoseismic evidence of the Late Postclassic P'urhepecha symbols in Michoacán (Mexico). First historical seismic signaling?*

Miguel Ángel Rodríguez-Pascua<sup>1,\*</sup>, Víctor Hugo Garduño-Monroy<sup>2,†</sup>, Isabel Israde-Alcántara<sup>2</sup>, María Ángeles Perucha<sup>1</sup>, Raúl Pérez-López<sup>1</sup>, Jorge Luis Giner-Robles<sup>3</sup>, Nieves Sánchez Jiménez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid, España.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.

<sup>3</sup> Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco s/n, 28049 Madrid, España.

<sup>4</sup> Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Unidad de Canarias. C/ Alonso Alvarado, 43, 2ºA. 35019, Las Palmas de Gran Canaria, España.

<sup>†</sup>En memoria.

\* Autor para correspondencia: (M. Rodríguez-Pascua) [ma.rodriguez@igme.es](mailto:ma.rodriguez@igme.es)

### Cómo citar este artículo:

Rodríguez-Pascua, M.A., Garduño-Monroy, V.H., Israde-Alcántara, I., Perucha, M.A., Pérez-López, R., Giner-Robles, J. L., Sánchez Jiménez, N., 2020, Evidencias paleosísmica y arqueosísmica de la simbología Posclásica Tardía P'urhepecha en Michoacán (México). ¿Primeras señalizaciones sísmicas de la historia?: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 73 (2), A161220. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n2a161220>

Manuscrito recibido: 15 de Septiembre de 2020

Manuscrito corregido: 15 de Diciembre de 2020

Manuscrito aceptado: 25 de Diciembre de 2020

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

## RESUMEN

Las culturas mesoamericanas prehispánicas del altiplano mexicano, y en concreto los imperios P'urhepecha y Azteca (Periodo Posclásico tardío, 1300 – 1500 AD), experimentaron grandes terremotos destructivos que dejaron una impronta en su sociedad y determinó tanto sus ritos espirituales como su urbanismo. Este trabajo describe varios paleoterremotos que los P'urhepechas experimentaron en la ribera del Lago de Pátzcuaro a partir de técnicas de paleosismología. Se constata que grandes bloques basálticos asociados a los ritos religiosos P'urhepechas fueron colocados en el bloque hundido de dos grandes rupturas superficiales de origen sismogénico que afectaron a la geografía del propio lago. Los P'urhepechas colocaron dos grandes bloques de roca basáltica de más de 1 m<sup>3</sup> de volumen y con su superficie tallada para utilizarlos en sus ritos espirituales. Los estudios paleosísmicos sugieren que ocurrieron varios terremotos de magnitud entre M 6,5 y M 7 con ruptura superficial y probablemente con una migración de la orilla del lago (Garduño-Monroy *et al.*, 2009 y 2011a). Además, este trabajo demuestra que dichos terremotos se suceden desde el periodo Preclásico (3000 BP). En tiempos posteriores, durante la conquista española, se esculpió en el bloque basáltico una gran cruz cristiana de tipo maltesa que correspondería con el proceso de evangelización cristiana a lo largo del siglo XVI en la zona de Michoacán, lo que afianza el significado espiritual de dichos bloques. En cualquier caso, estamos ante una de las manifestaciones humanas más antiguas de los efectos de los sismos sobre culturas ancestrales.

**Palabras clave:** Civilización P'urhepecha, paleoterremoto, paleosismología, señalización sísmica.

## ABSTRACT

The pre-Hispanic Mesoamerican cultures of the Mexican highlands, and specifically the P'urhepecha and Aztec empires (Late Post-Classic Period, 1300 – 1500 AD), experienced great destructive earthquakes that left a mark on their society and determined both their spiritual rites and their urbanism. This paper studies several paleo-earthquakes that the P'urhepechas experienced in Lake Pátzcuaro, using paleoseismology techniques, as well as the existence of large basaltic blocks associated with their religious rites appearing in the hanging wall of two large surface ruptures of coseismic origin (normal faults) that affected the geography of the lake itself. Paleoseismic studies suggest that several earthquakes of magnitude between M 6.5 and M 7 occurred with fault surface rupture and probably with a migration from the lake shore. In addition, these studies show that these earthquakes have been occurring since the Preclassic period (3000 BP). Later, the P'urhepechas placed two large basalt blocks of more than 1 m<sup>3</sup> in volume over the hanging wall of these faulting ruptures and carved their surface for spiritual purposes. In later times during the Spanish conquest, a large Maltese-style Christian cross was carved, which would correspond to the process of Christian evangelization throughout the 16th century in the area of Michoacán, thus reinforcing the spiritual significance of these blocks. In any case, we are facing one of the oldest human manifestations of the effects of earthquakes on ancestral cultures.

**Keywords:** P'urhepecha Civilization, paleoearthquake, paleoseismology, seismic signalization.

## 1. Introducción

La intensa actividad sísmica en México se remonta más allá del denominado periodo instrumental (siglos XX y XXI), pudiendo afirmar que los antiguos pobladores prehispánicos que ocuparon la Meseta Central Mexicana no solo experimentaron y sufrieron grandes y destructivos terremotos, sino que los incorporaron en su memoria (García Acosta y Suarez Reynoso, 1996; Garduño-Monroy y Escamilla, 1996; Garduño-Monroy, 2016). Las diferentes culturas mesoamericanas que han poblado la región central mexicana, la costa pacífica y la zona maya, han sufrido grandes terremotos asociados con la subducción de las placas de Rivera y Cocos por debajo de la placa Norteamericana (Kovach, 2004; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2011; Méjean *et al.*, 2015; Brocard *et al.*, 2016; Garduño-Monroy *et al.*, 2019). También han ocurrido grandes terremotos intraplaca como el terremoto de Acambay de 1912, cuya magnitud osciló entre M 6.9 y 7 (Suter *et al.*, 1996; Langridge *et al.*, 2000; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2017; Mendoza-Ponce *et al.*, 2018).

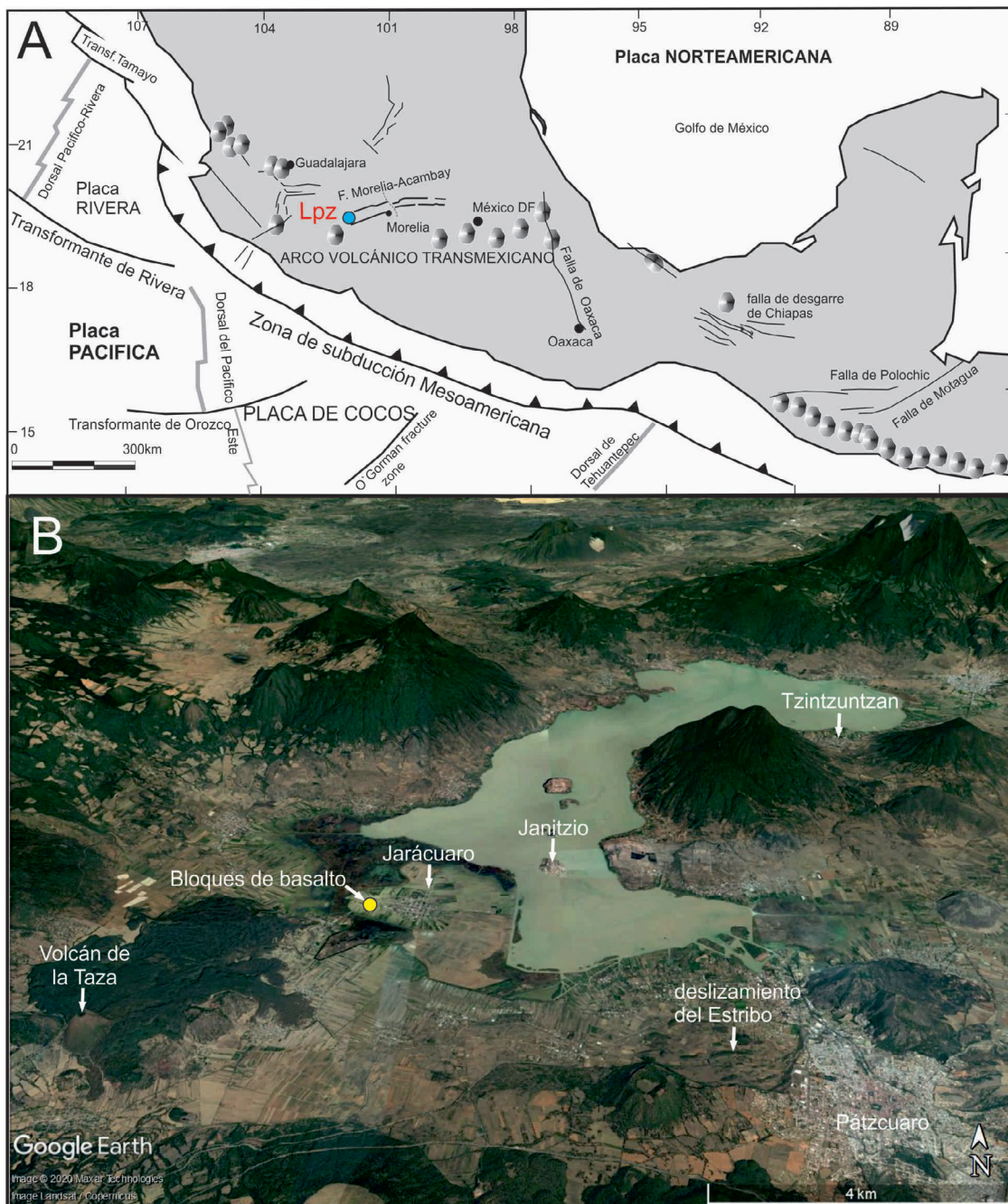
La combinación entre la arqueología y la paleosismología permite completar los catálogos de grandes eventos destructivos que afectaron a las culturas prehispánicas y sus avanzadas sociedades, quedando la impronta en sus restos arqueológicos (Pérez-López *et al.*, 2010; Garduño-Monroy, 2016; Garduño-Monroy *et al.*, 2019; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2019). Este trabajo se centra en el estado de Michoacán, concretamente en el entorno arqueológico y geológico del Lago de Pátzcuaro, 45 km al oeste de la capital del estado, Morelia. Esta zona presenta numerosas fallas con actividad tectónica cuaternaria, de tipo intraplaca con capacidad de generar terremotos de M 7 (Langridge *et al.*, 2000; Garduño-Monroy *et al.*, 2009; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2017; Mendoza-Ponce *et al.*, 2018).

El Cinturón Volcánico Transmexicano es una franja de dirección E-O que presenta un volcanismo activo asociado a un sistema de fallas de desgarre con esta misma orientación (Figura 1) (Pérez-López *et al.*, 2011). La banda de deformación

Morelia-Acambay es una de estas grandes estructuras de desgarre transtensivo que ha favorecido el volcanismo en la zona durante todo el Cuaternario (Hasenaka y Carmichael, 1985; Garduño-Monroy *et al.*, 2009; García-Quintana *et al.*, 2016; Ramírez-Urbe *et al.*, 2019; Gómez-Vasconcelos *et al.*, 2020). Tanto la actividad volcánica como la actividad tectónica cuaternaria en las fallas han generado numerosas depresiones endorreicas donde actualmente se encuentran alojadas diferentes cuencas lacustres, algunas tan importantes como el lago de Cuitzeo y los antiguos lagos de Zacapu y Acambay, estos dos últimos drenados en tiempos históricos para obras de regadío. En el extremo occidental de la Falla Morelia-Acambay se localiza el lago de Pátzcuaro (Figura 1). A orillas del lago, en la localidad de Tzintzuntzan (“lugar de mariposas” en lengua P’urhepecha), se ubicó el centro político y administrativo de una de las civilizaciones más importantes de Mesoamérica, el pueblo P’urhepecha (también conocidos como el Imperio de los Tarascos); el centro religioso se situaba en la isla de Jarácuaro (“lugar aparecido” en lengua P’urhepecha; Corona Núñez, 1957), en el extremo suroccidental del lago. En esta isla de Jarácuaro existen diferentes trabajos paleosismológicos que indican la actividad cuaternaria de fallas que generaron terremotos en época prehistórica e histórica, llegando a afectar al pueblo P’urhepecha. En una de las trincheras paleosísmicas realizadas por Garduño-Monroy *et al.* (2011a) se estudia una falla normal cuyo bloque hundido presenta a techo, sobre la superficie del suelo, un bloque de basalto de grandes dimensiones (c.a. 1 m<sup>3</sup>). Este bloque fue esculpido en forma de lo que podría interpretarse como una silla de montar. En el presente trabajo se muestra una segunda trinchera realizada en otra de las fallas normales, situada a tan solo 100 m de la anterior trinchera, donde se localiza un segundo bloque de basalto. Este bloque tiene forma alargada, es de 4 m<sup>3</sup> y está situado también en el bloque hundido de la falla estudiada en la trinchera. Ambos bloques fueron traídos desde la orilla del lago a 1.500 m de distancia (Garduño-Monroy *et al.*, 2011a), puesto

que la Isla de Jarácuaro está formada exclusivamente por sedimentos lacustres. Al no existir evidencias de bloques dispersos en otros sectores de la ribera de Jarácuaro, se infiere que debieron tener un importante valor simbólico para realizar semejante esfuerzo. Ambas fallas normales con ruptura superficial, afectan a suelos que contienen

materiales arqueológicos del período Posclásico (950 hasta 1521 ADC) (Fisher *et al.*, 2003; Garduño-Monroy *et al.*, 2011a). ¿Fueron estos bloques basálticos una señalización de fallas activas tras los terremotos que pudieron sufrir los P'urhepechas en esta época?, esta es una de las cuestiones que discutiremos en este trabajo.



**Figura 1** Situación geográfica del lago de Pátzcuaro y la isla de Jarácuaro. A) Contexto tectónico de la Falla de Morelia-Acambay y el lago de Pátzcuaro (Lpz) (Modificada de Garduño-Monroy *et al.*, 2001); B) imagen de Google Earth del lago de Pátzcuaro y su entorno.



## 2. Localización geográfica y encuadre geológico

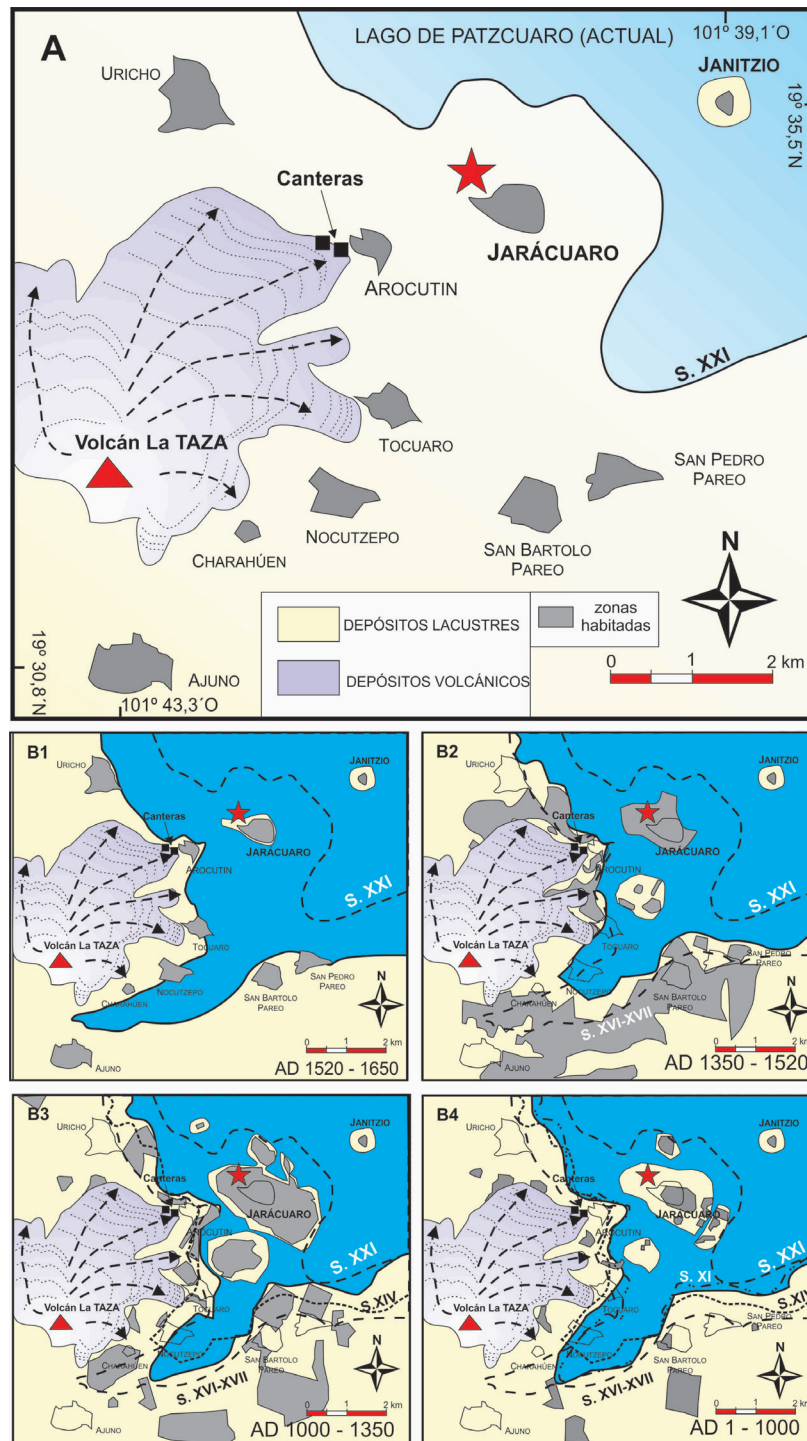
El lago de Pátzcuaro se sitúa en el NE del estado mexicano de Michoacán, dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano y de la banda de deformación del sistema de fallas Morelia – Acambay. Este sistema de fallas que tiene dirección general E-O, había sido descrito inicialmente en sus segmentos más orientales por Suter *et al.* (2001) y posteriormente por diferentes autores (Rodríguez-Pascua *et al.*, 2010, 2017; Lacan *et al.*, 2013; Ortuño *et al.*, 2015; Sunye-Puchol *et al.*, 2015; Langridge *et al.*, 2013; Velázquez-Bucio *et al.*, 2018), mientras que en la zona más occidental ha sido trabajada por Garduño-Monroy *et al.* (2009, 2011), Soria-Caballero *et al.* (2019), Pérez-Orozco *et al.* (2018), Mendoza-Ponce *et al.* (2018) y Gómez-Vasconcelos *et al.* (2020). Toda la extensión del sistema de fallas Morelia-Acambay es una estructura activa que ha actuado durante todo el periodo Cuaternario (Quintero-Legorreta *et al.*, 1988; Suter *et al.*, 1992, 1995 y 2001; Ramírez-Herrera, 1996; Garduño-Monroy *et al.*, 1998 y 2001; Garduño-Monroy y Escamilla, 1996; García-Palomo *et al.*, 2000). Los estudios realizados han revelado que estas fallas son visibles en la cuenca del lago de Pátzcuaro y afectan a materiales del Pleistoceno-Holoceno, siendo fallas normales de dirección E-O las que han definido la geometría de esa cuenca lacustre. Además, hay que tener en cuenta que la cuenca también fue modelada por la distribución del volcanismo monogenético, el cual se encuentra concentrado sobre estructuras ENE-OSO y N-S (Pérez-López *et al.*, 2011; Soria-Caballero *et al.*, 2019; Pérez-Orozco *et al.*, 2018; Gómez-Vasconcelos *et al.*, 2020). Los límites norte y sur de la cuenca lo constituyen dos alineaciones de conos volcánicos de dirección E-O. En el interior del lago se pueden diferenciar dos tipos de islas: las de origen volcánico y las constituidas exclusivamente por sedimentos lacustres. Dentro del primer grupo están las islas de Janitzio y Pacanda, mientras que las formadas por sedimentos lacustres son Jarácuaro y Uricho. Debido al descenso del nivel del lago en las últimas décadas, algunas de estas islas

han pasado a ser penínsulas dentro del lago, como es el caso de Jarácuaro. El sur del lago está limitado por una serie de fallas normales que han ido modificando progresivamente la morfología del lago, levantando la isla de Jarácuaro y generando el colapso del cerro El Estribo (Garduño-Monroy *et al.*, 1998, 2011a; Pola *et al.* 2014, 2015). Sin embargo, la erupción del Volcán de la Taza (a 6 km al SO de la isla de Jarácuaro) hace 9.300 años (Osorio-Ocampo *et al.*, 2018), generó un levantamiento de las secuencias lacustres de más de 40 m (Israde-Alcántara *et al.*, 2005), haciendo retroceder al lago a su geometría actual, habiendo también retrocedido la lámina de agua desde el periodo colonial, cuando el nivel del lago estaba a 2.041 m.s.n.m, mientras que en la actualidad está a 2.013 m.s.n.m (Garduño-Monroy *et al.*, 2011a y 2011b). Actualmente su profundidad máxima está entorno a los 12 m (Chacón, 1990).

La edad del inicio de la sedimentación en el lago de Pátzcuaro está fechada en torno a los 48.000 años BP y corresponde a las dataciones realizadas por diferentes autores junto a la Isla de Janitzio (Watts y Bradbury, 1982; Bradbury, 2000). En la Isla de Jarácuaro la secuencia basal está intensamente plegada y elevada 30 m sobre el nivel del lago, siendo en este caso la edad de los sedimentos más antiguos de 31.800 años BP (Israde-Alcántara *et al.*, 2005).

Son abundantes los ejemplos de deformaciones de origen sísmico a lo largo de toda la columna estratigráfica del lago, así como por efecto de la actividad tectónica, pudiéndose identificar al menos 3 eventos sísmicos de gran magnitud ( $M > 5$ ) acaecidos en los últimos 20.000 años (Garduño-Monroy *et al.*, 2011a).

Las márgenes del lago han estado habitadas desde épocas antiguas por el hombre debido a los importantes recursos que supone una masa de agua estable. El pueblo P'urhepecha fue el primero que se asentó en las márgenes de este lago, hecho constatado por la gran abundancia de industria lítica y cerámica del Periodo Formativo (3.000 años B.P.; Fisher *et al.*, 2003), así como restos arqueológicos con grandes construcciones en las márgenes del lago como las Yácatas de Tzintzuntzan o



**Figura 2** Evolución temporal de la orilla de la zona SO del lago de Pátzcuaro y las zonas habitadas desde la actualidad pasando por los periodos culturales según Fisher et al. (2003); terrenos volcánicos interpretados a partir de fotografía aérea y según Pollard (2008). La localización de los bloques está señalizada por una estrella roja. También se incluyen las canteras históricas donde proceden los bloques. A) Situación actual del Lago de Pátzcuaro con sus localidades. Las flechas indican la dirección de flujo del malpais en relación a la erupción volcánica de la Taza (ca 8430 BP, Garduño-Monroy et al, 2011a) y el edificio monogenético (triángulo rojo). B1) Zonas habitadas y orilla del lago durante el periodo 1520 – 1650 AD; se observa una regresión de la zona lacustre desde entonces hasta a la actualidad. B2) Periodo 1350 – 1520 AD, regresión de la zona del lago y periodo de máxima ocupación del terreno (Fisher *et al.* (2003). B3) Periodo 1000 – 1350 AD con crecimiento de población y situación lacustre estable frente al periodo inicial 1 – 1000 AD (B4).

las pirámides de Ihuatzio (Pollard, 1994). Los P'urhepechas debieron convivir con la frecuente actividad sísmica de las fallas activas y respondieron con diferentes manifestaciones culturales y/o religiosas.

## 2.1. BREVE HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA CULTURA P'URHEPECHA

Las civilizaciones mesoamericanas que ocuparon la zona central de México se han dividido, a partir de varios estudios arqueológicos, en tres periodos de tiempo: (1) el periodo Preclásico o periodo Formativo, (1500 BC - 300 AD), (2) el periodo Clásico (300 - 950 AD), y el periodo Posclásico (950 hasta 1521 AD). La zona de Michoacán, y en concreto la zona de estudio del lago de Pátzcuaro, muestra la presencia de poblaciones estables desde el Preclásico (3000 BP; Fisher *et al.*, 2003). Según la cronología de Piña-Chan (1976), el periodo de auge P'urhepecha coincidiría con la fase de dominio de pueblos y estados militaristas con la formación de señoríos e imperios militaristas entre 1200 y 1521 AD (Figura 2).

Pollard (2008) introduce los diferentes periodos culturales de ocupación de la zona central de Michoacán que correspondería con la zona de estudio. Los primeros vestigios de ocupación corresponderían al preclásico medio (Chupícuaro) entre los años 500 - 150 BC, siendo la última fase local la fase Tariacuri (1350 - 1525 AD), que correspondería con la emergencia y establecimiento del imperio P'urhepecha, el cual dominó la región hasta las fases de ocupación española del siglo XVI.

Este imperio, también denominado Reino de Tzintzuntzan, se estableció a lo largo del lago de Pátzcuaro, formando un estamento sociopolítico que llegó a rivalizar con el otro gran imperio contemporáneo de la época, el Imperio Azteca. Durante el periodo Posclásico de dominio P'urhepecha, el núcleo del imperio giraba en torno al lago de Pátzcuaro con la capital Tzintzuntzan en su margen oriental, y con los centros religiosos de Ihuatzio y Pátzcuaro (Pollard, 2008).

El imperio P'urhepecha consistió en una organización sociopolítica con un gobernante (caltzontzi), un sacerdote principal y una alta burguesía, constituyendo el segundo imperio en importancia y ocupación entre los siglos XIV y XVI (Pollard, 2004, 2008; Martínez-González, 2013). En cuanto a su arquitectura, cabe destacar la construcción de grandes centros ceremoniales y espirituales que consistían en grandes plataformas de base rectangular sobre las que se edificaban estructuras semicirculares denominadas yácatas, donde se mantenía un fuego constante por parte de los sacerdotes (Fisher, 2019). Estas edificaciones serían las pirámides y altares que usarían los P'urhepechas para sus ritos espirituales.

## 3. Metodología

El presente trabajo se basa en la utilización de técnicas paleosísmicas clásicas para la identificación de los saltos cosísmicos más recientes en fallas activas. En el caso de tener fallas con expresión geomorfológica de su actividad y no disponer de afloramientos naturales, es necesario recurrir a la realización de trincheras. Este tipo de técnicas pueden ser ya consideradas como clásicas, ya que comenzaron a desarrollarse en los años 70 del pasado siglo XX (McCalpin, 2009). Los trabajos paleosísmicos previos, realizados en la isla de Jarácuaro, fueron llevados a cabo por Garduño-Monroy *et al.* (2011a y 2011b).

En ese trabajo previo ya se localizó uno de los grandes bloques de andesita junto a la traza de la ruptura superficial de una falla normal, sobre el bloque hundido de la misma (bloque de "La Silla"), mientras que en el presente trabajo se llevó a cabo la trinchera realizada junto al bloque de mayor tamaño. En el trabajo de Garduño-Monroy *et al.* (2011a) se obtuvo una microtopografía de detalle utilizando un GPS diferencial, para localizar correctamente las trazas de las fallas, que previamente fueron identificadas mediante ortoimágenes de satélite. Estos autores excavaron una trinchera de 6m de longitud y 3m de profundidad junto al bloque de "La Silla", comprobando que este bloque



basáltico fue situado en el labio hundido de la falla normal identificada con anterioridad. En el presente trabajo se realizó una trinchera de 19 m de longitud y 4 m de profundidad, junto al bloque de mayor tamaño para poder contrastar si efectivamente se encontraba también en el bloque hundido de una falla normal paralela a la anterior y distante tan solo 100 m de la trinchera del bloque de “La Silla” (Figuras 3 y 4).

Una vez realizadas las trincheras e identificado el carácter antrópico de la localización de los bloques de andesita, situados sobre los materiales lacustres y suelos con restos arqueológicos de la isla de Jarácuaro, se pasó a la búsqueda de sismicidad histórica en la zona, para lo cual se recurrió a los catálogos de García Acosta y Suarez Reynoso (1996) y Garduño-Monroy y Escamilla (1996).



**Figura 3** Fotografías de afloramiento de los bloques situados sobre las fallas normales: A) Bloque más pequeño conocido como “La Silla” (vista hacia el oeste); B) Bloque situado 100 m al NO de “La Silla” (vista hacia el oeste).

Ninguno de los eventos citados en los catálogos se podía asignar a los datos obtenidos en las trincheras, ya que el registro histórico presenta importantes lagunas de información en el periodo prehispánico, debido a que el pueblo P'urhepecha transmitía de forma oral su historia y no han quedado documentos escritos donde se haya podido contrastar esta información.

Por este motivo, hemos recurrido a trabajos etnográficos donde se ha documentado la tradición y religiosidad P'urhepecha, como es el trabajo de Corona Núñez (1957), para realizar una interpretación

cultural/religiosa de esta manifestación antrópica de la colocación de grandes bloques de basalto en rupturas cosísmicas en fallas. Este autor realiza una recopilación de los principales dioses y su función dentro de la cosmología P'urhepecha, como el hecho de que relacionaban el origen de los dioses principales y del propio pueblo P'urhepecha en las rocas. Esta parte se ha utilizado para elaborar una hipótesis sobre el posible origen religioso de la colocación de estos bloques tras haber sufrido un importante terremoto, la cual se ha podido constatar gracias a los estudios paleosismológicos en trinchera.



**Figura 4** Fotografías de afloramiento de los bloques de basalto que señalan las rupturas superficiales de sendas fallas activas: A) Vista al suroeste del bloque SE junto a la trinchera realizada, “La Silla”; B) vista norte del bloque SE en el que se aprecia su morfología de “Silla”; C) Trinchera realizada junto al bloque NO, con sedimentos deformados por slumps en primer término y D) Vista al este bloque NO.



#### 4. Eventos geológicos catastróficos en el entorno del Lago de Pátzcuaro y la Isla de Jarácuaro

Como ya se ha comentado con anterioridad, los procesos activos en el Cinturón Volcánico Transmexicano han modelado el relieve de la zona, incluidas las cuencas lacustres. El lago de Pátzcuaro ha sido afectado por grandes eventos catastróficos en los últimos 30.000 años, así Garduño-Monroy *et al.* (2011a) describen la presencia de diferentes eventos utilizando tanto la geomorfología como el registro sedimentario del propio lago:

-Megadeslizamiento de El Estribo. Este gran deslizamiento ocupa una superficie de 9 km<sup>2</sup> y desplazó un volumen de aproximadamente 1.8 km<sup>3</sup>, cuya datación por el método del C<sup>14</sup> arrojó una edad aproximada de 28.380±380 años BP. Estudios más recientes (Pola *et al.*, 2015) otorgan un origen sísmico al mecanismo de disparo que generó el megadeslizamiento de El Estribo, pero en este caso la datación que obtienen por el método C<sup>14</sup> arrojó una edad de ~14.000 años BP. Estos autores interpretan como sísmico el mecanismo disparador que produjo este deslizamiento, estableciendo una M = 7,3 utilizando las relaciones de Keefe (1984).

-Paleoterremoto de hace 24.000 años. Obtenido mediante una trinchera en la isla de Jarácuaro, tiene un salto relativo de falla de 1,7 m. Esta falla forma parte de un conjunto de horst y graben que forman la isla. Este tipo de paleoterremotos dan idea de la importancia de la sismicidad intraplaca en esta zona.

-Erupción del Volcán de La Taza. Evento eruptivo datado por el método C<sup>14</sup> (AMS) en 9.300 años (Osorio-Ocampo *et al.*, 2018), que produjo un levantamiento de más de 40 m de las series sedimentarias lacustres en el margen sur del lago. Es posible que este levantamiento no se deba exclusivamente a un único evento eruptivo y esté relacionado también con la neotectónica de la zona. Estos sedimentos diatomíticos aparecen intensamente deformados y afectados por fallas normales.

-Paleoterremoto afectando a suelos con restos arqueológicos. El último observado en las trincheras realizadas por Garduño-Monroy *et al.*, (2011a) donde el salto aparente es de 45 cm y afecta a suelos actuales con restos arqueológicos comprendidos entre 3.000 y 900 años BP (Fisher *et al.*, 2003).

-Seiche o “tsunami lacustre”. Garduño-Monroy *et al.* (2011b) identifican en dos trincheras realizadas en la isla de Jarácuaro un nivel de 10 cm de potencia compuesto por restos fragmentados de bivalvos y diatomeas mezclados con restos arqueológicos cerámicos pertenecientes al Período Posclásico (900 a 1520 AD), que interpretan como un seiche generado por un terremoto en la zona.

-Seiche o “tsunami lacustre” histórico de 1858. Estos mismos autores (Garduño-Monroy *et al.*, 2011b) identifican en las trincheras de la isla de Jarácuaro el seiche descrito históricamente durante el terremoto de Pátzcuaro de 1858, con un estrato de 20 cm de potencia.

En cuanto a la sismicidad histórica, hasta el momento el registro sísmico escrito más antiguo en Michoacán corresponde a la Relación de Michoacán (1541) (Garduño-Monroy y Escamilla, 1996; Garduño-Monroy *et al.*, 1998), una de cuyas ilustraciones muestra una pirámide semiderruida por un sismo (Figura 5). Garduño-Monroy y Escamilla (1996) y Garduño-Monroy *et al.* (1998) realizan una recopilación de sismos históricos (últimos 500 años) en el estado de Michoacán en el que recopilan cinco grandes eventos (1787, 1843, 1858, 1873 y 1885) con intensidades superiores a VIII (Escala de Mercalli Modificada). Esta sismicidad histórica es sólo el reflejo más reciente de una intensa actividad sísmica en los últimos 30.000 años, en los que se han registrado al menos 7 paleosismos de M > 5 en el entorno del lago de Pátzcuaro (Garduño-Monroy *et al.*, 2011). Si las primeras ocupaciones humanas registradas en las márgenes del lago de Pátzcuaro son de hace 4.000-3.500 años (edad del polen más antiguo contenido en suelos con materiales arqueológicos,



**Figura 5** Lámina XLII de la Relación de Michoacán (1541); se puede observar el viaje de una mujer al otro mundo, lado derecho de la lámina, mientras que en la parte izquierda se puede ver una pirámide posiblemente semiderruida por un sismo y la sangre derramada sobre las escaleras por un posible sacrificio humano.

Watts y Bradbury, 1982) estos pobladores debieron de sufrir numerosos terremotos. Los de magnitudes elevadas conllevaron la ruptura superficial de las fallas, hecho que debieron presenciar los P'urhepechas como veremos a continuación.

## 5. Paleosismicidad e hitos megalíticos P'urhepechas

Los estudios paleosísmicos realizados en la isla de Jarácuaro (Garduño-Monroy *et al.*, 2011a y 2011b) indican la presencia de fallas con gran actividad tectónica durante el Pleistoceno Superior-Holoceno y de rupturas superficiales generadas por estos eventos. El impacto sobre la sociedad desarrollada en esos momentos a las orillas del lago de Pátzcuaro debió de ser muy importante, pudiendo producir la pérdida de vidas humanas, viviendas y

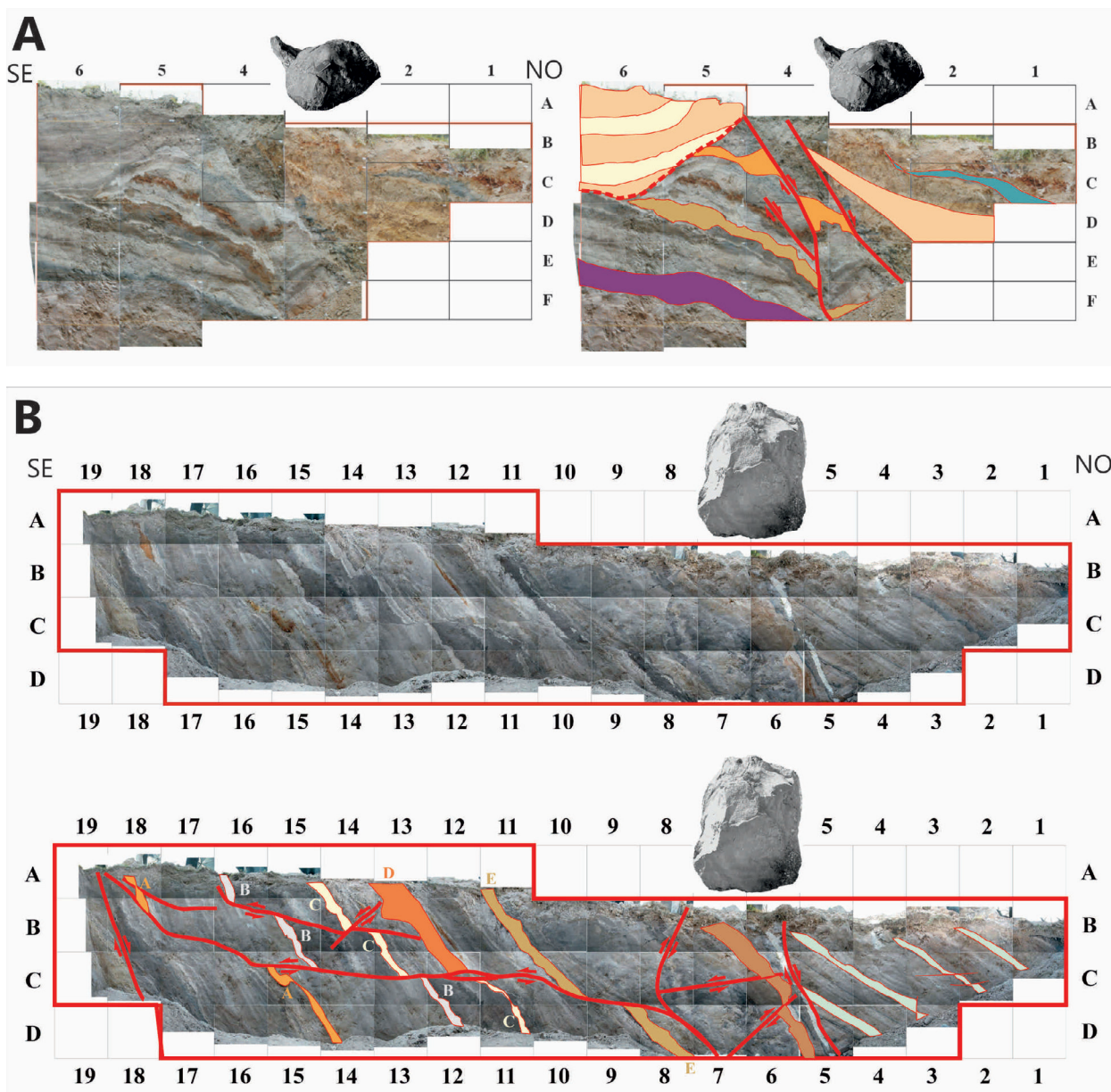
cultivos, sobre todo por la acción de seiches. Los sistemas de cultivo los realizaban mediante técnicas de agricultura de humedad en los márgenes del lago, lo que les hace muy vulnerables ante seiches. Un seiche desencadenado por el sismo de 1858, que tuvo una intensidad en la cuenca de IX, destruyó 120 casas de adobe en la ribera sur del lago (Garduño-Monroy *et al.*, 2011b).

Consecuencias tan catastróficas no podían pasar desapercibidas para la clase dirigente y sacerdotes P'urhepechas, más aún en una sociedad evolucionada con un alto desarrollo, socialmente estructurada y con fuertes convicciones religiosas. Desafortunadamente el pueblo P'urhepecha transmitía su historia de forma oral a través de los sacerdotes (Schöndube, 1996), por lo que no han quedado documentos escritos al respecto. Sin embargo, sí utilizaban grandes monolitos de roca para ofrecerlos a las fuerzas de la naturaleza



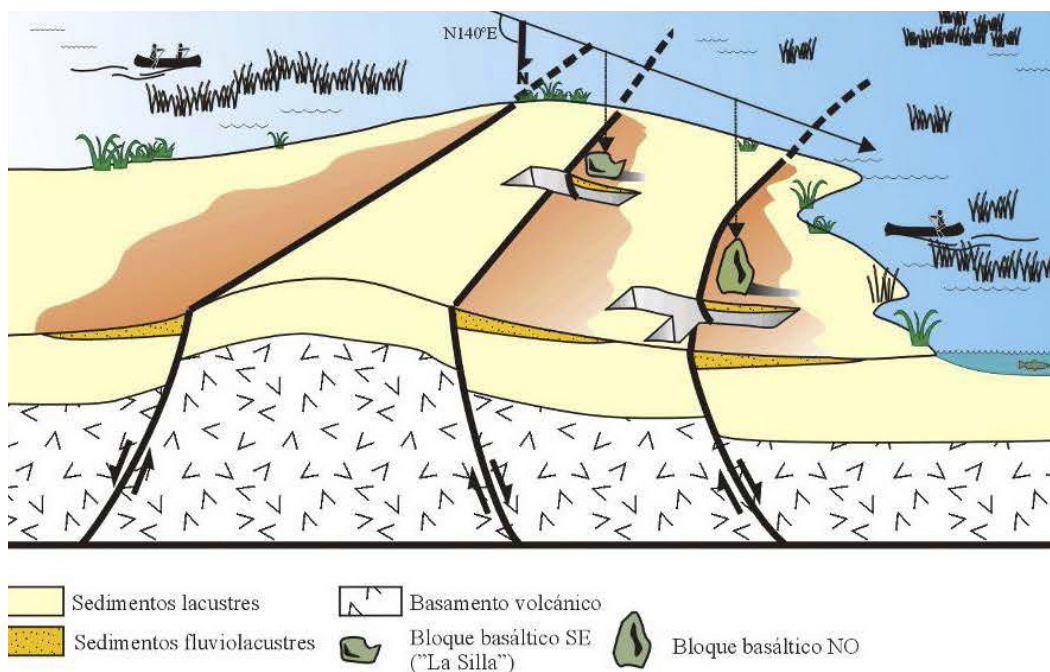
(inundaciones, tempestades, volcanes, etc.) que no podían controlar, ya que consideraban que los dioses podrían ser animales o representarse mediante rocas. Incluso los propios P'urhepechas se creían descendientes de “grandes rocas”, siendo esta su creencia totémica más antigua, en la que el Sol es el progenitor del hombre y toma el nombre de una piedra o peña (Corona Núñez, 1957). En las trincheras realizadas en la isla de Jarácuaro para

el estudio de la actividad paleosísmica de las fallas localizadas (Garduño-Monroy *et al.*, 2011a), se ha podido constatar la presencia de dos grandes bloques de andesitas basálticas situados sobre la traza de dos fallas con clara actividad paleosísmica (Figura 6). Estos bloques están alineados según una orientación N140°E (Figura 7), siendo el bloque del SE de menores dimensiones (1 m<sup>3</sup>) (Figura 3A) que el del NO (4 m<sup>3</sup>) (Figura 3B).



**Figura 6** Situación de los bloques de basalto con respecto a las trincheras realizadas: A) bloque SE, “La Silla” (cuadrícula de 1 x 0.5 m, dirección de la trinchera N120°E); B) bloque NO (cuadrícula de 1 x 1 m dirección de la trinchera N130°E).





**Figura 7** Corte esquemático de la ubicación de los bloques de basalto y las trincheras realizadas en las fallas de la isla de Jarácuaro, en el lago de Pátzcuaro.

El bloque del SE presenta forma de “silla”, de hecho, es conocido en la localidad de Jarácuaro con este nombre. La tradición oral de los P’urhepechas mantiene en la isla varias leyendas en torno a estos bloques. Ninguna de ellas está relacionada a priori con la actividad sísmica, pero lo que sí demuestran es la conciencia local sobre la singularidad de dichos bloques.

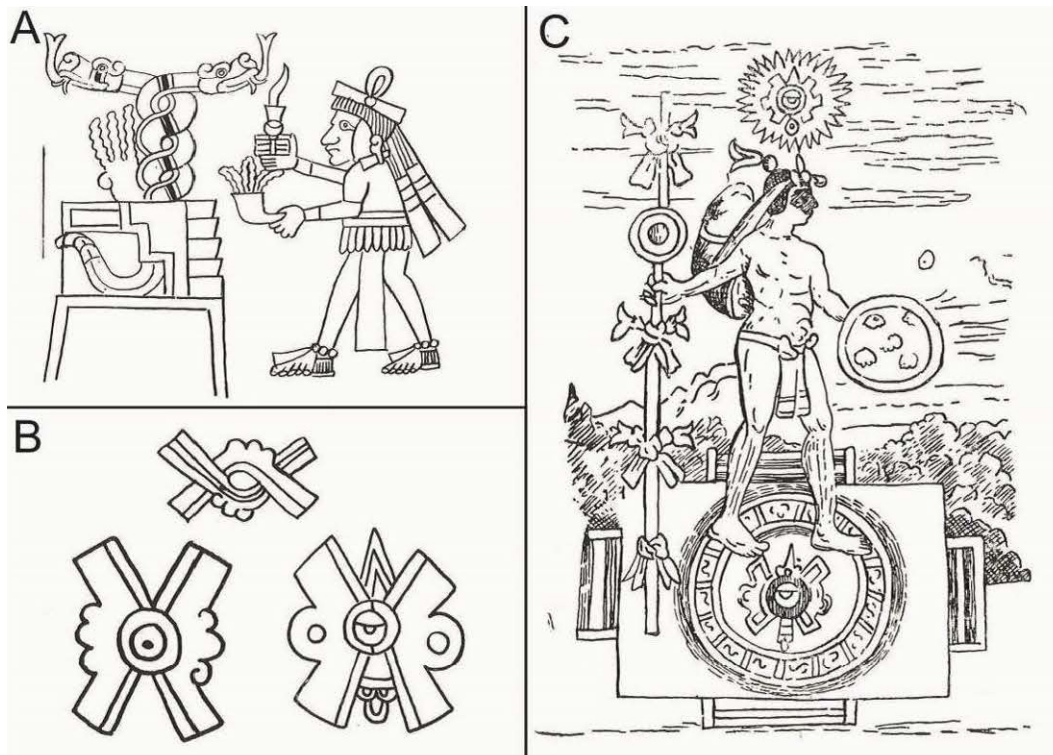
Cabe señalar que los bloques no son bombas volcánicas, sino que se trata de grandes fragmentos de coladas basálticas extraídos por el hombre de afloramientos cercanos (1 km) y depositados sobre la superficie topográfica. Seguramente formaron parte de las lavas del volcán La Taza fechado en 9.300 años (Osorio-Ocampo *et al.*, 2018). Considerando que dichos bloques pesan entre 7,5 y 10 tm, el esfuerzo que debió suponer su transporte debió de ser considerable, más si tenemos en cuenta que los suelos donde se apoyan contienen industria lítica y cerámica aproximadamente del período Posclásico (950 hasta 1521 AD) (Fisher *et al.*, 2003). Además, se debe considerar que el transporte incluyó casi 500 m de distancia de transporte por el lago.

## 6. Discusión

Los P’urhepechas tenían grandes similitudes culturales con los aztecas (Corona Núñez, 1957). Así, por ejemplo, ambos disponen de simbología similar para denominar al movimiento y, por tanto, a los movimientos de tierra. Garduño-Moroy (2016) consigue diferenciar los símbolos que usaban los aztecas para escribir la palabra terremoto (tlalli-ollin), compuesta por un ollin (movimiento) con un tlalli (tierra) en su base. Además, identifica grados de intensidad, ya que los aztecas añadían un mayor número de tllallis en la base del símbolo indicando que el movimiento sísmico había sido más intenso. Los P’urhepechas utilizaban dos serpientes cruzadas para representar el movimiento, pudiendo tener varios giros una serpiente sobre otra para indicar mayor movimiento, que estaría representado por Venus (Corona Núñez, 1957) (Figura 8A). Esta representación de las serpientes entrecruzadas tiene grandes similitudes gráficas con el ollin de los aztecas, por lo que pudo ser usado del mismo modo en la simbología de ambas culturas (Figura 8B).

Es evidente que estos bloques de basalto fueron situados sobre las rupturas superficiales cosísmicas de dos fallas después de sendos terremotos (Figuras 6 y 7). Es posible que se trate de rupturas asociadas a terremotos diferentes, puesto que el bloque del SE parece más antiguo al presentar mayor colonización de líquenes que el del NO. Con esta colocación de los bloques de basalto inferimos que los P'urhepechas quisieron aplacar la ira de su dios supremo Curicaueri (el Sol) o de Xarátanga (La Luna), ofreciendo estos grandes bloques. Según Corona Núñez (1957), Curicaueri era reverenciado en la localidad de Zacapu con el nombre de Querenda-angápeti, que traduce como: “la peña que está en el templo”. Incluso la propia palabra Zacapu significa: “donde está la piedra”. Por este motivo las representaciones de sus principales dioses las realizaban mediante grandes bloques de roca. Las grandes catástrofes o fenómenos naturales los asociaban a la lucha entre diferentes dioses (López-Austin, 1996), por lo que en este caso podría tratarse de la lucha entre Curicaueri y Xarátanga.

Pero según la mitología P'urhepecha Curicaueri y Xarátanga engendraron a Mano-uapa, “hijo movimiento”, que como ya se ha citado anteriormente está asociado al tlali-ollin o terremoto de la simbología azteca. Mano-uapa está relacionado con el movimiento y por ende a uno de los cuerpos celestes con más movimiento aparente durante la observación del cielo nocturno, Venus, “el mensajero del Sol”. En el “Códice Durán” o “Historia de las Indias de Nueva España e Islas de Tierra Firme” (conservado en la Biblioteca Nacional de España), el propio autor Diego Durán (religioso español) representa a “el mensajero del Sol” con forma humana junto a dos ollines, uno por encima de su cabeza dentro de un disco solar y otro por debajo de sus pies contenido de un rectángulo (que podría asociarse a un tlalli) (Figura 8C). Por tanto, sería la representación de un terremoto siendo Venus su mensajero. Es posible que los dos bloques de basalto andesítico que encontramos en Jarácuaro, sobre las rupturas cosísmicas de estas fallas normales, representen a Curicaueri (el Sol)



**Figura 8** Diferentes representaciones del movimiento en la cultura azteca y P'urhepecha: A) serpientes entrelazadas que representan el movimiento (Códice Laud); B) diferentes representaciones del movimiento mediante el símbolo del “Ollin” en los códices Ferjervary-Mayer, Borgia y Magliabecchiano; C) mensajero del Sol (Venus) según el Códice Durán.

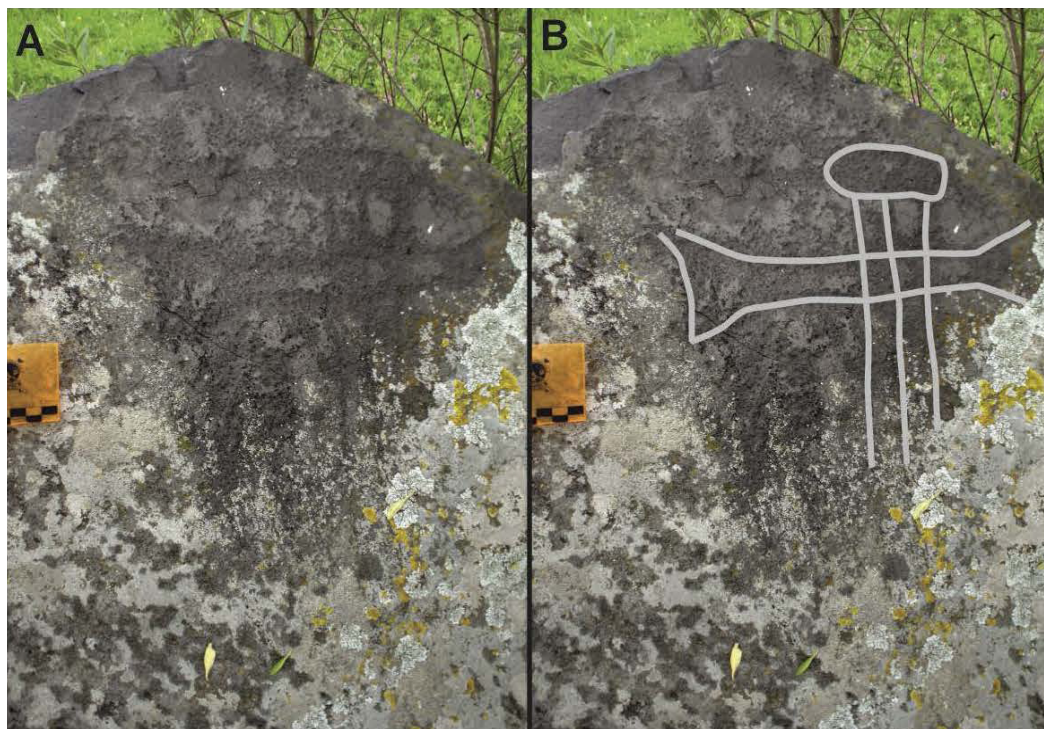


y Xarátanga (La Luna) y la propia ruptura superficial generada por el terremoto sea Mano-uapa (Venus), el hijo de ambos. De este modo se cerraría el círculo de la mitología P'urhepecha en torno a sus tres principales dioses: el Sol, la Luna y su hijo Venus, siendo este último la representación del movimiento de tierra o terremoto.

Es notorio que la ubicación de los bloques no fue aleatoria, sino que se colocaron sobre las fuentes sismogénicas que causaron los terremotos que afectaron a su centro religioso situado en Jarácuaro y la catástrofe asociada que sufrieron (Figura 7).

Es posible que el bloque de “la silla”, debido a la morfología que presenta de “proto chac mool”, fuese utilizado como piedra de los sacrificios o para depositar los corazones de los sacrificados por el Sacerdote del Sol como ocurre con los chac moolos encontrados en Tenochtitlán, que tienen esculpida una vasija decorada con corazones (Corona Núñez, 1957). La edad estimada para la colocación de estos bloques es del período Posclásico (950 hasta 1521 AD), obtenida de los datos arqueológicos citados anteriormente (Fisher *et al.*,

2003), por lo que estaríamos hablando de uno de los registros sísmicos humanos más antiguos. Además, tenemos que considerar que sería la primera vez que se relaciona el terremoto con la falla que lo ha generado. El significado de esta manifestación puede tener una vertiente religiosa de ofrenda para evitar futuras catástrofes o podría ser una señalización para evitar este lugar en el futuro. De hecho, la localidad de Jarácuaro (dentro de la isla del mismo nombre) se encuentra en el extremo opuesto de la isla y la zona de los bloques debió de estar poblada en el pasado, antes de los terremotos, como atestiguan los abundantes restos arqueológicos que se pueden encontrar en superficie. No sólo estos bloques de andesitas basálticas nos hablan de la sismicidad de la isla, sino que el propio nombre de ésta también lo hace. Jarácuaro significa en P'urhepecha “lugar aparecido” (Corona Núñez, 1957), lo que indica que los P'urhepechas debieron de ver aparecer esta isla a causa de un terremoto; no en vano es la única del lago de Pátzcuaro que no es de origen volcánico y está completamente formada por sedimentos lacustres. Estos bloques de roca no pasaron desapercibidos durante el



**Figura 9** Cruz cristiana de la Orden de Malta grabada sobre la superficie del bloque NO en su parte superior: A) fotografía original y B) interpretación del grabado.



periodo colonial, donde muchos símbolos y lugares religiosos fueron ocupados por templos o símbolos del catolicismo traído por los españoles. Esto lo podemos constatar porque el bloque del NO tiene grabada una Cruz de la orden de Malta (Figura 9). Esta cruz era la usada por el obispo Vasco de Quiroga, que fue el representante de la Iglesia Católica en el Obispado de Pátzcuaro. De este modo se “neutralizaba” o cambiaba el signo del culto anterior al nuevo impuesto por la curia católica.

## 7. Conclusiones

Los dos bloques de roca andesítica basáltica encontrados sobre la superficie de los sedimentos lacustres de la isla de Jarácuaro fueron colocados por la mano del hombre, al haberse descartado su origen como bombas volcánicas. Estos bloques no están situados al azar, sino que se encuentran claramente colocados sobre las trazas de sendas fallas normales con actividad paleosísmica probada (ambos en el bloque hundido de estas fallas). Las evidencias presentadas sugieren que fueron los antiguos pobladores de esta isla, el pueblo P'urhepecha, los que colocaron en el período Posclásico (950 hasta 1521 AD) los dos bloques de andesitas basálticas sobre la ruptura superficial de estas fallas, después de dos terremotos, representando la expresión de un claro sentido cultural – religioso ante una catástrofe natural. Se trata de una de las primeras manifestaciones humanas reportadas ante una catástrofe de origen sísmico y, probablemente, de la primera señalización de una falla activa (mediante grandes bloques de basalto). El establecimiento de esta relación causa – efecto entre falla y terremoto convierte probablemente a los P'urhepechas en los primeros “sismotectónicos” de la historia.

## Agradecimientos

Este trabajo está dedicado a la memoria de nuestro querido Dr. Víctor Hugo Garduño-Monroy, gran

geólogo, buen amigo y mejor persona. Queremos que sea un homenaje del “Spanish Team” a Víctor, que siempre nos acogió en su familia cuando realizamos trabajo de campo en México, por eso también queremos agradecer a Isabel (su esposa y coautora de este trabajo) su amabilidad y humanidad. Además, queremos agradecer las constructivas revisiones de dos revisores anónimos.

## Referencias

- Brocard, G., Anselmetti, F., Teyssier, C., 2016, Guatemala paleoseismicity: from Late Classic Maya collapse to recent fault creep: Scientific Reports, 6, 36976. <https://doi.org/10.1038/srep36976>
- Corona Núñez, J., 1957, Mitología tarasca: Ed. Fondo de Cultura Económica. México, 112 p.
- Fisher, C.T., Pollard, H., Israde, I., Garduño, V.H., Banerjee, S., 2003, A reexamination of Human- Induced Environmental change within the Lake Patzcuaro Basin, Michoacan, Mexico: Proceedings of the National Academy of Sciences, 100 (8), 4957-4962. <https://doi.org/10.1073/pnas.0630493100>
- Fisher, C.T., Cohen, A.S., Solinis-Casparius, R., Pezzutti, F.L., Bush, J., Forest, M., Torvinen, A., 2019, A Typology of Ancient Purépecha (Tarascan) Architecture from Angamuco, Michoacán, Mexico: Latin American Antiquity, 30(3), 510–528. <https://doi.org/10.1017/laq.2019.50>
- García Acosta, V., Suarez Reynoso, G., 1996, Los sismos en la historia de México: Ed. UNAM, México, 718 p.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Garduño, V.H., 2000, Miocene to recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano region, Central Mexico: Tectonophysics, 318 (1-4), 281-302. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00316-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00316-9)
- García-Quintana, A., Goguitchaichvili, A., Morales, J., Cervantes-Solano, M., Osorio-Ocampo, S., Macías, J.L., Urrutia-Fucugauchi, J., 2016, Datación magnética

- de rocas volcánicas formadas durante el Holoceno: caso de flujos de lava alrededor del lago de Pátzcuaro (campo volcánico Michoacán-Guanajuato): *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33 (2), 209-220.
- Garduño-Monroy, V.H., 2016, Una propuesta de escala de intensidad sísmica obtenida del código náhuatl Telleriano Remensis: *Arqueología Iberoamericana*, 31, 9-19.
- Garduño-Monroy, V.H., Escamilla, T.R., 1996, Revisión histórica de la sismicidad en Michoacán, México: *Ciencia Nicolaita*, 11, 57-81.
- Garduño-Monroy, V.H., Cuevas Muñoz, A., Escamilla Torres, J., 1998, Descripción histórica de la sismicidad en Colima, Jalisco y Michoacán: Ed. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Universidad de Colima, Morelia, Michoacán, México, 172 p.
- Garduño-Monroy, V. H., Arreygue-Rocha, E., Israde-Alcántara, I., Rodríguez-Torres, G., 2001, Efectos de las Fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18 (1), 37-54.
- Garduño-Monroy, V. H., Pérez-Lopez, R., Israde-Alcántara, I., Rodríguez-Pascua, M. A., Szykaruk, E., Hernández-Madrigal, V. M., García-Zepeda, M. L., Corona-Chávez, P., Ostroumov, M., Medina-Vega, V. H., García-Estrada, G., Carranza, O., Lopez-Granados, E., Mora-Chaparro, J. C., 2009, Paleoseismology of the southwestern Morelia-Acambay fault system, central Mexico: *Geofísica Internacional*, 48(3), 319-335.
- Garduño-Monroy, V.H., Israde-Alcántara, I., Rodríguez-Pascua, M.A., Hernández-Madrigal, V.M., Ortiz Hurtado, H.J., 2011a, Eventos sísmicos y volcánicos de tiempos prehistóricos en históricos en cuencas lacustres: ejemplo, la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán, México, en Caballero, M. y Ortega Guerrero (eds.), *Escenarios de cambio climático: Registros del Cuaternario en América Latina* I. B., Editorial UNAM, México, 92-113.
- Garduño-Monroy, V.H., Soria-Caballero, D.C., Israde-Alcántara, I., Hernández-Madrigal, V.M., Rodríguez-Ramírez, A., Ostroumov, M., Rodríguez-Pascua, M.A., Chacon-Torres, A., Mora-Chaparro, J.C., 2011b, Evidence of tsunami events in the Paleolimnological record of Lake Pátzcuaro, Michoacán, Mexico: *Geofísica Internacional*, 502, 147-161.
- Garduño-Monroy, V. H., A. Figueroa-Soto, N. Magaña-García, A. Ruiz-Figueroa, J. Gómez-Cortés, A. Jiménez-Haro, Hernández-Madrigal, V. M., 2019, The Mitla Landslide, an Event that Changed the Fate of a Mixteco/Zapoteco Civilization in Mesoamerica: *International Journal of Geophysics*, 5438381, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/5438381>
- Gómez-Vasconcelos, M.G., Luis Macías, J., Avellán, D.R., Sosa-Ceballos, G., Garduño-Monroy, V.H., Cisneros-Máximo, G., Layer, P.W., Benowitz, J., López-Loera, H., López, F.M., Pertou, M., 2020, The control of preexisting faults on the distribution, morphology, and volume of monogenetic volcanism in the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field: *Geological Society of America Bulletin*, 132 (11-12), 2455-2474. <https://doi.org/10.1130/B35397.1>
- Hasenaka, T., Carmichael, I.S., 1985, The cinder cones of Michoacán-Guanajuato, central Mexico: their age, volume and distribution, and magma discharge rate: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 25(1), 105-124. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(85\)90007-1](https://doi.org/10.1016/0377-0273(85)90007-1)
- Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V. H., Fisher, C., Pollard, H.P., Rodríguez-Pascua, M.A., 2005, Lake level change, climate, and the impact of natural events: the role of seismic and volcanic events in the formation of the Lake Patzcuaro Basin, Michoacan, Mexico: *Quaternary International*, 135, 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.10.022>



- Kovach, R.L., 2004, Early Earthquakes of Americas: Cambridge University Press, 286 p.
- Keefe, D.K., 1984, Landslides caused by earthquakes: Geological Society of America Bulletin, 95(4), 406-421. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95&am p;lt;406:LCBE&am p;gt;2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95&am p;lt;406:LCBE&am p;gt;2.0.CO;2)
- López-Austin, A., 1996, Los rostros de los dioses mesoamericanos: Arqueología Mexicana, 4 (20), 6- 19.
- Lacan, P., Zúñiga, F.R., Ortuño, M., Persaud, M., Aguirre-Díaz, G.J., Langridge, R.M., Villamor, P., Perea, H., Štěpančíková, P., Carreón, D., Cerca, M., Suñe Puchol, I., Corominas, O., Audin, L., Baize, S. Lawton, T.F., Rendón, A., 2013, Paleoseismological history of the Acambay graben (central Mexico): Eos, Transactions, American Geophysical Union, 94, T23C–2591.
- Langridge, R. M., Weldon, R. J., Moya, J. C., Suárez, G., 2000, Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican volcanic belt: Journal of Geophysical Research, 105, 3019–3037. <https://doi.org/10.1029/1999JB900239>
- Langridge, R. M., Persaud, M., Zúñiga, F. R., Aguirre-Díaz, G.J., Villamor, P., Lacan, P., 2013, Preliminary paleoseismic results from the Pastores fault and its role in the seismic hazard of the Acambay graben, Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 30, 463-481.
- Luhr E., Simkin T., 1993, Parícutín, the Volcano born in a Mexican Cornfield: Geoscience Press, Phoenix, Arizona, 427 p.
- Mendoza-Ponce, A., Figueroa-Soto, A., Soria-Caballero, D., Garduño-Monroy, V.H., 2018, Active faults sources for the Pátzcuaro–Acambay fault system (Mexico): fractal analysis of slip rates and magnitudes Mw estimated from fault length: Natural Hazards & Earth System Sciences, 18(11), 3121–3135. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3121-2018>
- Martínez-González, R., 2013, Muerte y destinos post mortem entre los Tarascos prehispánicos: Anales de Antropología, 47(1), 211-242. [https://doi.org/10.1016/S0185-1225\(13\)71012-9](https://doi.org/10.1016/S0185-1225(13)71012-9)
- McCalpin, J., 2009, Paleoseismology: Academic Press, London, 629p.
- Méjean, P., Garduño-Monroy, V.H., Pinti, D. L., Ghaleb, B., Bouvier, L., Gomez-Vasconcelos, M.G., Tremblay, A., 2015, U–Th dating of broken speleothems from Cacahuamilpa cave, Mexico: Are they recording past seismic events?: Journal of South American Earth Sciences, 57, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.11.002>
- Ortuño, M., Zúñiga, F.R., Aguirre-Díaz, G.J., Carreón-Freyre, D., Cerca, M., Roverato, M., 2015, Holocene paleo-earthquakes recorded at the transfer zone of two major faults: The Pastores and Venta de Bravo faults (Trans-Mexican Volcanic Belt): Geosphere, 11(1), 160-184. <https://doi.org/10.1130/GES01071.1>
- Osorio-Ocampo, S., Macías, J.L., Pola, A., Cardona-Melchora, S., Sosa-Ceballosa, G., Garduño-Monroy, V.H., Layerd, P.W., García-Sánchez, L., Pertona, M., Benowitz, J., 2018, The eruptive history of the Pátzcuaro Lake area in the Michoacán Guanajuato Volcanic Field, central México: Field mapping, C-14 and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 358, 307-328. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.06.003>
- Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Garduño-Monroy, V.H., Oliveros, A., Giner-Robles, J.L., Silva, P.G., 2010, Probable Earthquake Archaeological Effects in the ancient pyramids of Quetzalcoatl and Sun in Teotihuacán (Central Mexico): Geophysical Abstract, EGU-2010 Natural Hazard: NH9.14 Environmental hazards and Ancient Societies: Lessons from the Past?

- Pérez-López, R., Legrand, D., Garduño-Monroy, V.H., Rodríguez-Pascua, M.A., Giner-Robles, J.L., 2011, Scaling laws of the size-distribution of monogenetic volcanoes within the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field (Mexico): *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.09.006>
- Pérez-Orozco, J.D., Sosa-Ceballos, G., Garduño Monroy, V.H., Ramón Avellán, D., 2018, Felsic-intermediate magmatism and brittle deformation in Sierra del Tzirate (Michoacán-Guanajuato Volcanic Field): *Journal of South American Earth Sciences*, 85, 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.04.021>
- Piña-Chan, R., 1985, Un modelo de evolución social y cultural del México precolombino: en Monjarás Ruiz, J., Brambila, R., Pérez Rocha, R. (eds.), *Mesoamérica y el centro de México*, Colección Biblioteca del INAH, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Primera edición, México, 41-79.
- Pola, A., Macías, J.L., Osorio-Ocampo, S., Garduño-Monroy, V.H., Melchor, C.S., Martínez-Martínez, J., 2014, Geological setting, volcanic stratigraphy, and flank failure of the El Estribo Volcano, Pátzcuaro (Michoacán, Mexico). En Rocha, R., Pais, J., Kullberg, J. C., Finney, S., STRATI 2013, First International Congress on Stratigraphy At the Cutting Edge of Stratigraphy, Springer, Cham, 1251-1256.
- Pola, A., Macías, J.L., Osorio-Ocampo, S., Sosa-Ceballos, G., Garduño-Monroy, V.H., Martínez-Martínez, J., 2015, El Estribo Volcanic Complex: evolution from a shield volcano to a cinder cone, Pátzcuaro Lake, Michoacán, México: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 303, 130-145. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.07.032>
- Polar, H., 1994, Tzintzuntzan, capital del imperio Tarasco: *Arqueología Mexicana*, 2 (9), 23 - 32.
- Pollard, H.P., 2004, El Imperio Tarasco en el Mundo Mesoamericano: Relaciones, 99 (25), 115 - 145.
- Pollard, H.P., 2008, A model of the emergence of the Tarascan State: Ancient Mesoamerica, 19, 217 - 230. <https://doi.org/10.1017/S0956536108000369>
- Quintero-Legorreta, O., Mota-Palomino, R., Suter, M., 1988, Esfuerzos y deformación contemporáneos en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana y geometría, distribución y sismicidad de las fallas activas: *Geos, Num, extraordinario, epoca II, Resúmenes de la UGM*.
- Ramírez-Herrera, M.T., 1996, Morphological evidence for Neotectonic activity and seismic Hazard in the Acambay Graben, Mexican Volcanic Belt. En Slaymaker, O. (Ed.), *Geomorphic Hazards*, New York, John Wiley & Sons, 29-41.
- Ramírez-Urbe, I., Siebe, C., Salinas, S., Guilbaud, M.N., Layer, P., Benowitz, J., 2019,  $^{14}\text{C}$  and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  radiometric dating and geologic setting of young lavas of Rancho Seco and Mazcuta volcanoes hosting archaeological sites at the margins of the Pátzcuaro and Zacapu lake basins (central Michoacán, Mexico): *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 388, 106674. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106674>
- Rodríguez-Pascua, M.A., Garduño-Monroy, V. H., Israde-Alcántara, I. and Pérez-López, R. 2010, Estimation of the paleoepicentral area from the spatial gradient of deformation in lacustrine seismites (Tierras Blancas Basin, Mexico): *Quaternary International*, 219, 66-78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.11.006>
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Silva, P.G., Giner-Robles, J.L., Garduño-Monroy, V.H., Reicherter, K., 2011, A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) for Archaeoseismology: *Quaternary*

- International, 242(1), 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.04.044>
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Garduño-Monroy, V.H., Perucha, M.A., Israde-Alcántara I., 2017, Estimation of the epicentral area of the 1912 Acambay earthquake (M 6.9, Mexico) determined from the earthquake archaeological effects (EAE) and the ESI07 macroseismic scale: Quaternary International, 451, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.045>
- Rodríguez-Pascua, M.A., Benavente-Escobar, C., Rosell-Guevara, L., Grützner, C., Audin, L., Walker, R., García, B., Aguirre E., 2019, Did earthquakes strike Machu Picchu?: Journal of Seismology, 24, 883-895. <http://doi.org/10.1007/s10950-019-09877-4>
- Schöndube, O., 1996, Los tarascos, pueblo rival de los mexicas: Arqueología Mexicana, 4 (19), 14 - 21.
- Soria-Caballero, D.C., Garduño-Monroy, V.H., Alcalá, M., Velázquez-Bucio, M.M., Grassi, L., 2019, Evidence for quaternary seismic activity of the La Alberca-Teremendo fault, Morelia region, Trans-Mexican Volcanic Belt: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 36 (2), 242-258. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2019.2.1092>
- Sunye-Puchol, I., Lacan, P., Ortuño, M., Villamor, P., Audin, L., Zúñiga, F.R., Langridge, R.M., Aguirre-Díaz, G.J., Lawton, T.F., 2015, La falla San Mateo: nuevas evidencias paleosismológicas de fallamiento activo en el graben de Acambay, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 32 (3), 361-376. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2015.3.589>
- Suter, M., Quintero, O., Johnson, C.A., 1992, Active faults and state of stress in the central part of the trans-Mexican volcanic belt. The Venta del Bravo Fault: Journal of Geophysical Research, 97, 11983-11994. <https://doi.org/10.1029/91JB00428>
- Suter, M., Carrillo-Martínez, M., López-Martínez, M., Farrar, E., 1995, The Aljibes half-graben: Active extension at the boundary between the trans-Mexican volcanic belt and the Basin and Range Province, Mexico: Tectonics, 14 (5), 1245-1262. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1995\)107<0627:TAHGAE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1995)107<0627:TAHGAE>2.3.CO;2)
- Suter, M., Carrillo-Martínez, M., Quintero-Legorreta, O., 1996, Macroseismic Study of Shallow Earthquakes in the Central and Eastern Parts of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico: Bulletin of the Seismological Society of America, 86 (6), 1952-1963.
- Suter, M., López-Martínez, M., Quintero-Legorreta, O., Carrillo-Martínez, M., 2001, Quaternary intra-arc extension in the central Trans-Mexican volcanic belt: Geological Society of America Bulletin, 113 (6), 693-703. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2001\)113<0693:QIAEIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<0693:QIAEIT>2.0.CO;2)
- Velázquez-Bucio, M.M., Garduño-Monroy, V.H., 2018, Soft-sediment deformation structures induced by seismic activity in the San Pedro el Alto area, Acambay graben, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 35 (1), 28-40. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.1.530>
- Watts A.W., Bradbury J.L., 1982, Paleoecological studies at Lake Patzcuaro on the West-Central Mexican Plateau and at Chalco in the Basin of Mexico: Quaternary Research, 17, 56-70.