

## Excursión flora fósil triásica de la Formación Santa Clara en Sonora

### *Excursion to the Triassic fossil flora of the Santa Clara Formation in Sonora*

Villanueva Amadoz, Uxue<sup>1,\*</sup>; Solís Limón, María Fernanda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM, Campus UNISON, 83000, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería en Geociencias, Universidad Estatal de Sonora.

\* [uxue@geologia.unam.mx](mailto:uxue@geologia.unam.mx)

#### Resumen

Las floras fósiles triásicas en México son escasas, especialmente para el Triásico Superior donde solo se conocen dos localidades, una de ellas con abundante macroflora proveniente de la Formación Santa Clara del Grupo Barranca en Sonora. La Formación Santa Clara es la única formación unidad del Grupo Barranca en la que se ha reportado abundante flora en facies continentales-transicionales junto con fauna marina somera de edad cárnica en menor proporción. Su litología se caracteriza por sedimentos continentales y transicionales con un aporte de sedimentos marinos someros. Este grupo está constituido por tres formaciones que de base a techo son: Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. Los límites litoestratigráficos inferior y superior del Grupo Barranca se establecen por discordancias; el inferior con las rocas carbonatadas que constituyen el basamento Paleozoico alóctono descritas como Formación San Antonio y el superior con las rocas volcánicas de la Formación Tarahumara de edad entre 90 y 70 Ma. Los sedimentos fueron depositados en la cuenca marginal de San Marcial con una dirección E-O, ubicada en la porción central del estado de Sonora, producido por un proceso de *rifting*.

**Palabras clave:** flora, Formación Santa Clara, México, Sonora, Triásico.

#### Abstract

Triassic fossils in Mexico are scarce, especially for the Upper Triassic as only two localities are known, one corresponding to the Santa Clara Formation of the Barranca Group in Sonora with abundant macroflora remains. The Santa Clara Formation is the only unit of the Barranca Group in which abundant flora has been reported in continental-transitional facies and in smaller proportion shallow marine fauna Carnian in age. Its lithology is characterized by continental and transitional sediments with a contribution of shallow marine sediments. The Barranca Group is a lithostratigraphic unit composed of Upper Triassic-Lower Jurassic sedimentary rocks. This Group is represented by three formations, constituted from the base to the top by the Arrayanes, Santa Clara and Coyotes formations. The lower and upper lithostratigraphic boundaries of the Barranca Group are established by discordances. The lower boundary corresponds to the carbonate rocks constituting the allochthonous Paleozoic basement described as the San Antonio Formation. The upper boundary is marked by volcanic rocks of the Tarahumara Formation (70-90 Ma). The sediments were deposited in a marginal San Marcial basin. These deposits aligned by an E-W direction are located in the central portion of the state of Sonora due to a rifting process.

**Keywords:** flora, Mexico, Santa Clara Formation, Sonora, Triassic.

**Cómo citar / How to cite:** Villanueva Amadoz, U. & Solís Limón, M.F. (2022). Excursión flora fósil triásica de la Formación Santa Clara en Sonora. *Paleontología Mexicana*, 11(2), 111–124.

Manuscrito recibido: Octubre 28, 2022.

Manuscrito corregido: Noviembre 18, 2022.

Manuscrito aceptado: Noviembre 19, 2022.



## 1. Introducción

Existen muy pocos registros de plantas fósiles del Triásico en México, las cuales están dominadas por bennettitales/cicadeoideales (*Cycadolepis*, *Laurozamites*, *Otozamites*, *Pterophyllum*, *Taeniopteris*, *Williamsonia*, *Zamites*), helechos (*Asterotheca*, *Cladophlebis*, *Cynepteris*, *Mertensides*, *Phlebopteris*), pteridospermas (*Alethopteris*) y en menor medida por equisetales (*Equisetites*, *Neocalamites*), coniferales (*Abietites*, *Cephalotaxopsis*, *Cycadites*, *Elatocladus*, *Palissya*, *Pelourdea*, *Podozamites*) y ginkgoales (*Baiera*, *Sphenobaiera*) (Silva-Pineda, 1979; Weber, 1997; Silva-Pineda y Buitrón-Sánchez, 1998). Existen solamente dos formaciones con plantas fósiles bien conservadas del Triásico Superior registradas en México (Silva-Pineda, 1979).

1. La Formación Huizatzal (de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior) con flora del Triásico Tardío ha sido reportada en Tamaulipas, Hidalgo, Veracruz, Puebla y en San Luis Potosí (Silva-Pineda, 1979). Mixon *et al.* (1959) reportaron flora en el Cañón del Novillo (cerca de Ciudad Victoria, Tamaulipas) en depósitos de capas rojas del Triásico Superior de la Formación La Boca del Grupo Huizachal, constituido por las formaciones La Boca y La Joya separadas por una discordancia angular. Otros autores (Carrillo-Bravo, 1961; Michalzik, 1991) desecharon el uso del Grupo Huizatzal debido a que presentaba problemas estratigráficos y causaba confusiones. Gracias a estos autores se separaron la Formación Huizachal (que correspondería con la Formación La Boca de Mixon *et al.* 1959) y la Formación La Joya (de probable edad jurásica: Calloviano-Oxfordiano) cuyos afloramientos se restringen a la región de Ciudad Victoria, al noreste del Estado de San Luis Potosí y Sur de Nuevo León.

La flora recogida por Mixon *et al.* (1959) cerca de la parte basal de la Fm. La Boca fue inicialmente clasificada por Roland W. Brown (U.S. National Museum) y posteriormente reclasificada por Weber (1997) y Silva-Pineda y Buitrón (1998) como flora cárnica debido a sus similitudes con asociaciones de Norteamérica y de Sonora por la presencia de *Laurozamites yaqui* ("*Pterophyllum fragile* Newberry" de Mixon *et al.* 1959), *Ctenophyllum braunianum* ("*Pterophyllum inaequale* Fontaine" de Mixon *et al.* 1959) y *Elatocladus* ex. gr. *carolinensis* ("*Cephalotaxopsis carolinensis* Fontaine" de Mixon *et al.* 1959). Esta flora está restringida en México al Triásico según Weber (1997). Estudios de vertebrados (terápsido tritilodóntido, diápsido cavador, cocodrilomorfos, reptil volador y esfenodontes) en la Formación La Boca del Cañón de Huizachal (cerca de Ciudad Victoria, Tamaulipas) (Fastovsky *et al.*, 1995; Montellano *et al.*, 2008; Reynoso, 1996, 2005) sugieren una edad indudable del Jurásico Inferior ( $189 \pm 0.2$  Ma; límite Sinemuriano-Pliensbachiano). Rueda-Gaxiola *et al.* (1993) indicó que la Aloformación La Boca correspondería con una edad Sinemuriano-Pliensbachiano con base en palinomorfos. Ello parece confirmarse por estudios geocronológicos U-Pb en zircones detríticos de la Formación La

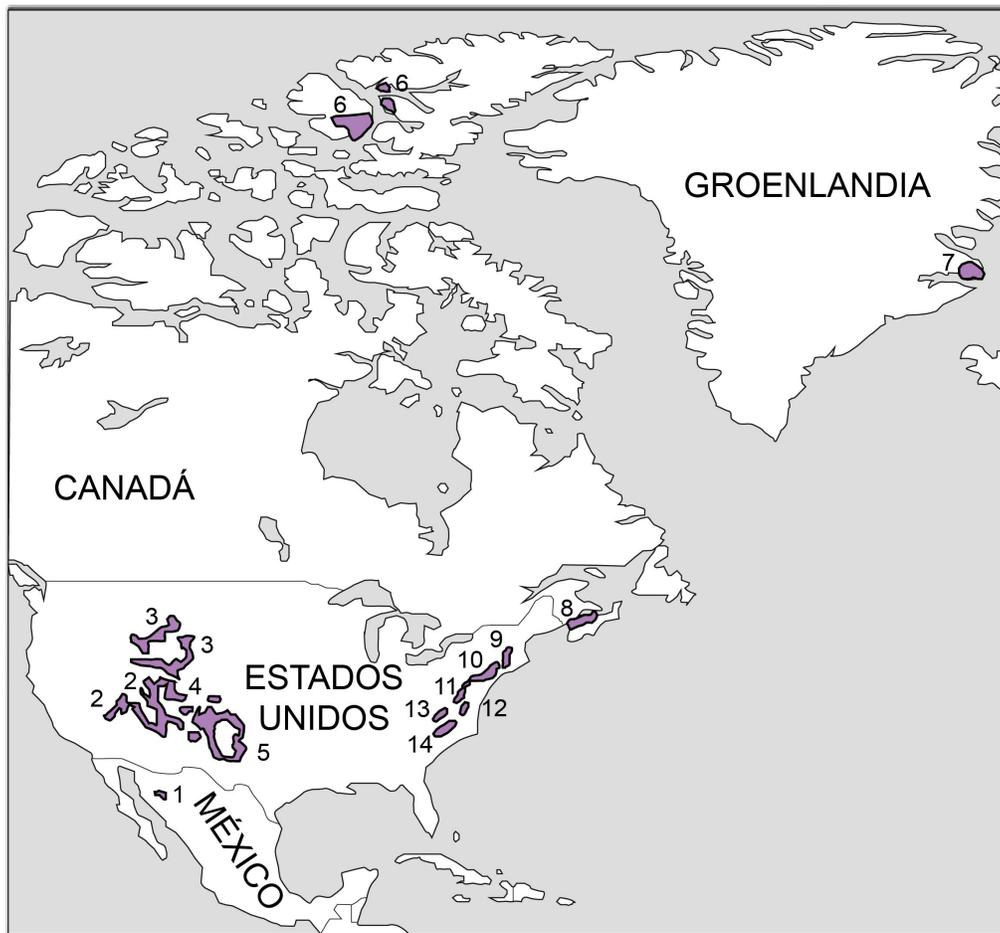
Boca en el Valle de Huizachal, con una edad máxima de depósito de Jurásico Inferior (184–183 Ma) y una edad máxima de depósito del Miembro Superior de Jurásico Medio (Bathoniano-Calloviano, 167–163 Ma) (Rubio-Cisneros y Lawton, 2011).

La misma problemática se describió para la flora "Huizatzal" del área de San Mateo/Tlahualompa en el anticlinorio de Huayacocotla en Hidalgo, aunque la edad de esta localidad y su pertenencia a la Formación Huizatzal fue cuestionada por Weber (1997), indicando su posible edad en parte pérmica (Leonardiano; Kunguriano, 279.3–272.3 Ma) por la presencia de impresiones de corteza de *Sigillaria* y de hojas de *Cyperites*; además de posiblemente tener una edad jurásica, correspondiendo a la Formación Huayacocotla. La complicada estructura estratigráfica y la historia de los estudios de los anticlinorios Peregrina y Huayacocotla fue sintetizada en el trabajo de Rueda-Gaxiola *et al.* (1993). En base a estudios palinológicos Rueda-Gaxiola *et al.* (1993) concluyeron que las plantas de la Fm. La Boca pertenecían a la Aloformación Huizatzal (posible edad Rético-Hettangiano) diferente de los depósitos jurásicos de la Aloformación Huayacocotla. Todo esto, crea un debate sobre la edad de los depósitos de capas rojas y la posible confusión entre unidades litoestratigráficas muy similares litológicamente pero de diferente edad, especialmente relevante en la Formación Huizatzal.

2. La Formación Santa Clara del Grupo Barranca en Sonora constituye la única unidad litoestratigráfica de referencia indudable con una cronoestratigrafía clara para el estudio de plantas fósiles del Triásico Superior en México. Por tanto, esta unidad puede correlacionarse con otras floras de la misma edad de Norteamérica (Figura 1).

Las rocas sedimentarias del Triásico Superior del Grupo Barranca han sido objeto de numerosos estudios por su interés geológico y económico con relación a la explotación del carbón. Este grupo aflora desde los poblados de San José de Moradillas-San Marcial hasta Tónichi en Sonora (Figura 2) y fue definido formalmente entre los poblados de San Javier y Tónichi (Cuenca de San Marcial) por Alencáster (1961a). Este grupo se dispone en discordancia angular sobre rocas paleozoicas. La descripción estratigráfica y sedimentológica de este grupo fue realizada por varios autores (Flores, 1929; Jaworski, 1929; Burckhardt, 1930; King, 1939; Wilson y Rocha, 1946; Guiza y White, 1949; Bello-Barradas, 1959, 1960; Pesquera-Velázquez y Carbonell-Córdoba, 1960; Alencáster, 1961a; Keller, 1973; Cojan y Potter, 1991; Obregón-Andría y Arriaga-Arredondo, 1991; Stewart y Roldán-Quintana, 1991; Antuna-Ibarra, 2002; Gutiérrez-Briones, 2005; González-León *et al.*, 2009). Dos de los trabajos de investigación más completos publicados sobre la geología del Grupo Barranca corresponden con los realizados por Stewart y Roldán-Quintana (1991) y por González-León *et al.* (2009).

El Grupo Barranca tiene un espesor de aproximadamente 3 km y se encuentra distribuido en una cuenca



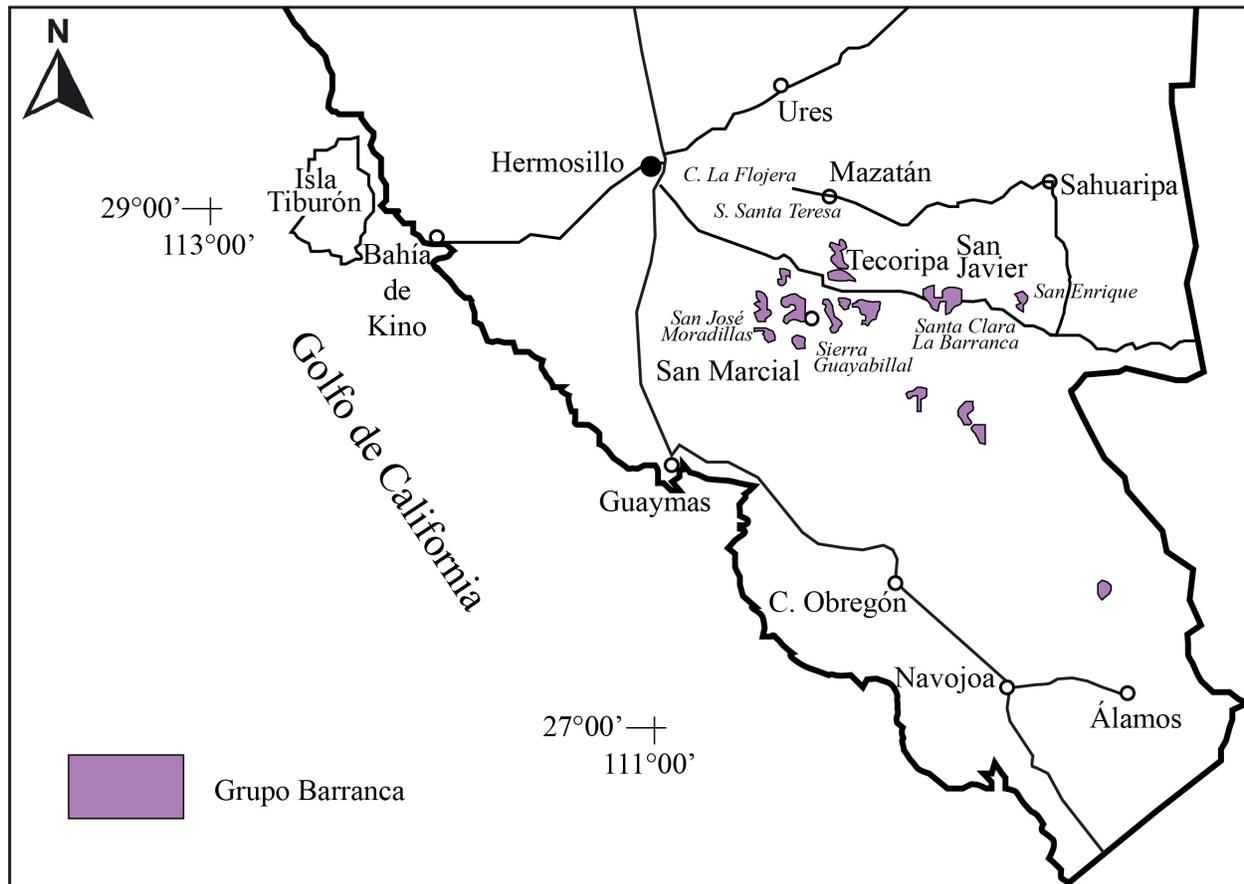
**Figura 1.** Localización de los yacimientos de plantas fósiles del Triásico Superior más relevantes de Norteamérica, incluyendo Canadá, Estados Unidos y México (modificado de Kustatscher *et al.* 2018). 1: Formación Santa Clara. 2: Formación Chinle. 3: Formación Popo Agie. 4: Formación Dolores. 5: Grupo Dockum. 6: Formación Holberg. 7: Jameson Land. 8: Cuenca Fundy. 9: Cuenca Hartford. 10: Cuenca Newark-Gettysburg. 11: Cuenca Culpeper. 12: Cuenca Ritchmond. 13: Cuenca Danville-Dan River. 14: Cuenca Deep River.

con dirección E-O, de 110 km de longitud por 40 km de ancho, su morfología resulta de una serie de fallamientos laterales transtensionales y/o extensionales (Stewart y Roldán-Quintana, 1991), producto de la deformación distensiva del Neógeno denominada *Basin and Range*.

González-León *et al.* (2011) hace una crono-correlación de las rocas sedimentarias triásicas del Grupo Antimonio con las del Grupo Barranca y destaca lo siguiente: El Grupo Antimonio se localiza en el N-O de Sonora, se encuentra constituido por tres formaciones: Antimonio, Río Asunción y Sierra de Santa Rosa, con abundantes fósiles de corales, bivalvos, gasterópodos y ammonites característicos de ambientes marinos, con una mayor composición detrítica de fragmentos líticos volcánicos y plutónicos, mientras que el Grupo Barranca también se conforma por tres formaciones de base a techo: Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. La Formación Santa Clara es la única unidad del Grupo Barranca con fósiles.

## 2. Contexto geológico

El contexto geológico se hace con base en una recopilación bibliográfica de los trabajos de investigación que se han realizado en el área que comprenden los afloramientos de las rocas sedimentarias del Triásico-Jurásico del centro de Sonora correspondientes al Grupo Barranca. Alencáster (1961a) nombró formalmente como Grupo Barranca a las rocas sedimentarias de Sonora central, el cual se divide en 3 unidades litoestratigráficas (Figura 3), distribuidas de la base a la cima por las formaciones Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. Estas fueron descritas en sus unidades tipo en las inmediaciones de La Barranca y Santa Clara, en los poblados de San Javier y Tónichi y en los arroyos Pie de la Cuesta y Tarahumara, por el camino que une a los poblados de Tónichi a Tecoripa (Silva-Pineda y Buitrón-Sánchez, 1998). El Grupo Barranca se depositó en una cuenca marginal (San Marcial) en ambientes de tipo fluvial, lacustre, pantanoso y aluvial (González-León *et al.* 2011).



**Figura 2.** Localización del Grupo Barranca en la parte oriental de Sonora (modificado de González-León *et al.* 2011). C.: Cerro; S.: Sierra.

## 2.1. Formación Arrayanes

Alencáster (1961a) reporta esta formación en el arroyo Los Arrayanes por el camino de los poblados de Tecoripa-Tónichi, la cual descansa en discordancia angular sobre unas calizas probablemente del Paleozoico. Uno de los trabajos estratigráficos más detallados que se han hecho sobre el Grupo Barranca es el de Stewart y Roldán-Quintana (1991), incluyendo la Formación Arrayanes que según estos autores corresponde con depósitos fluviales y el tránsito de esta formación a la suprayacente Formación Santa Clara es transicional. Estos mismos autores estimaron un espesor de aproximadamente 1,150 m para el depósito de la Formación Arrayanes en un ambiente fluvial. Asimismo, establecieron 3 divisiones para esta unidad: Miembro Inferior, Medio y Superior. Los miembros Inferior y Superior se caracterizan por areniscas generalmente masivas de grano medio de color gris a gris-naranja claro, pobremente clasificados con capas de granos grueso a muy grueso con intercalaciones de conglomerados (de gránulos a guijarros de cuarcita y pedernal de colores gris a marrón) y de limolita (con fragmentos de plantas no identificables). La arenisca es masiva de 1 a 15 m de espesor o con laminaciones pobremente definidas. La limolita de color gris claro a gris olivo se encuentra interestratificada con

areniscas que ocasionalmente pueden contener plantas fósiles. El conglomerado puede llegar a tener clastos de hasta 14 cm de cuarcita y pedernal. El Miembro Medio, está representado por una sucesión de capas rojizas de limolita masiva y en menor proporción de arenisca lenticular (González-León *et al.* 2011). Se estima un espesor aproximado de 1,150 m y está en contacto gradacional con la Formación Santa Clara.

## 2.2. Formación Santa Clara

### 2.2.1. Estratigrafía

Esta formación, con una estimación de unos 3,000 m espesor (Cojan y Potter, 1991), aflora en la Sierra San Javier, La Barranca y Santa Clara (González-León *et al.* 2011). Se trata de una sucesión de intercalaciones de lutita, limolita, arenisca, conglomerado, lutita carbonosa. Es la única unidad del Grupo Barranca con contenido fósil de invertebrados marinos (ammonites y bivalvos) y macroflora (Alencáster, 1961a).

La formación se divide en dos sucesiones bien diferenciadas, una de grano fino y otra de grano grueso (Stewart y Roldán-Quintana, 1991): A) La sucesión de grano fino, está constituida por limolita y lutita de color gris oscuro a claro con interestratificaciones de arenisca gris (que localmente pueden presentar estratificación cruzada).

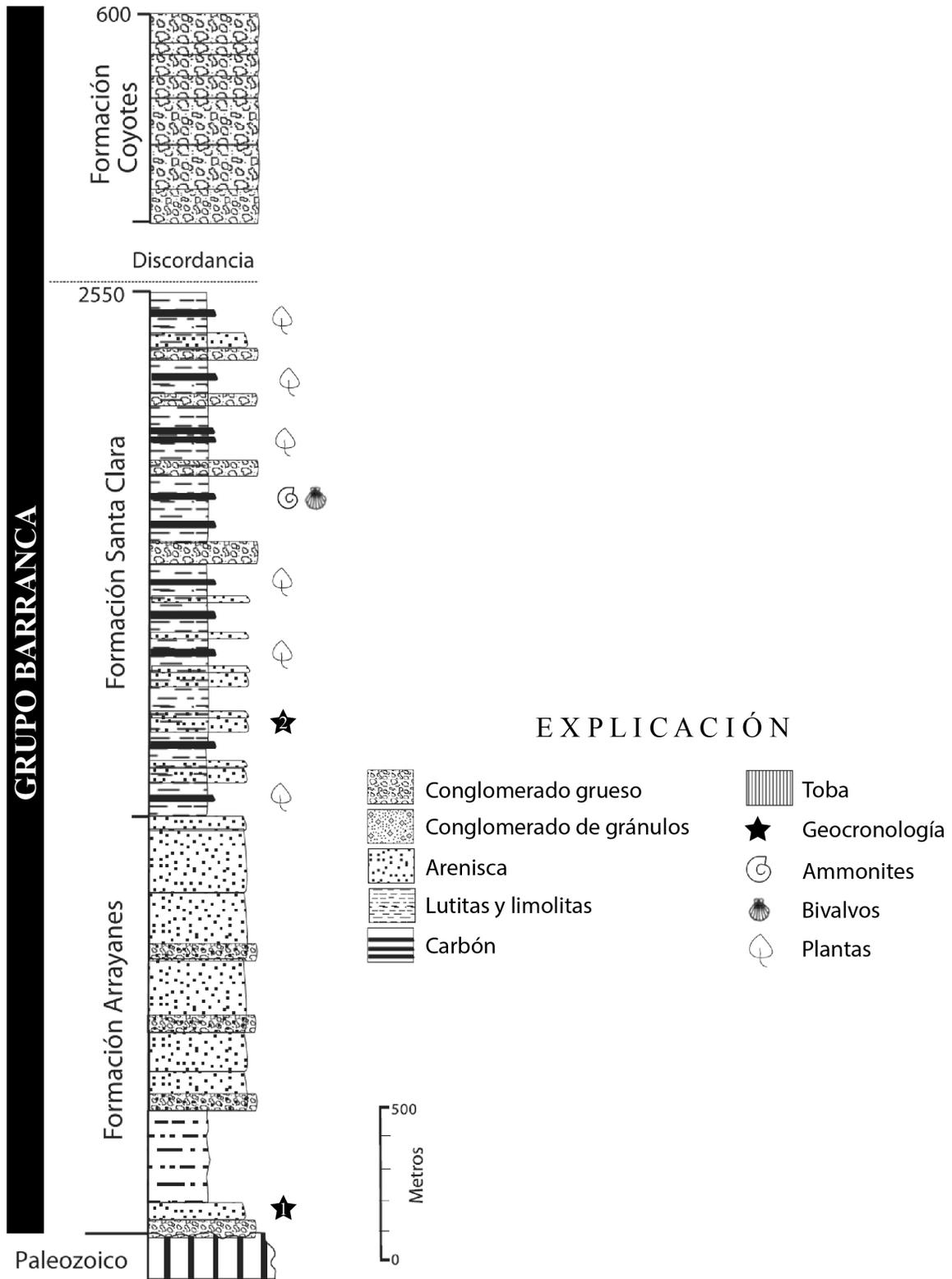


Figura 3. Columna estratigráfica compuesta del Grupo Barranca de unos 3,000 de espesor, constituida de base a techo por las formaciones Arrayanes, Santa Clara y Coyotes, en discordancia sobre rocas pérmicas paleozoicas (modificado de González-León *et al.* 2009, 2011). 1: Muestra 7-26-07-1 tomada a la base de la Formación Arrayanes que indican una edad de 288–239 Ma con un pico de edades de 250–254 Ma en base a isótopos de U/Pb en zircones. 2: Muestra proveniente de la Formación Santa Clara de la Mina Lourdes que indican una edad de 297–205 Ma con un pico de edades de 269, 245 y 231 Ma en base a isótopos de U/Pb en zircones.

Las lutitas y limolitas presentan fósiles de plantas y escasos fósiles marinos (braquiópodos, pelecípodos y ammonites). B) La sucesión de grano grueso está constituida principalmente por areniscas y limolitas masivas, donde algunos estratos de areniscas presentan grados conglomeráticos hacia la base y otros con estratificación cruzada lo cual puede indicar un ambiente deltaico. La lutita carbonosa, carbón y escasas tobas también están presentes en esta sucesión.

Se ha interpretado la sucesión de Santa Clara como el resultado de la sedimentación en un ambiente de prodelta y de frente deltaico hacia un ambiente de planicie deltaica costera con ríos meándricos, lagos y pantanos (Cojan y Potter, 1991; Stewart y Roldán-Quintana, 1991). Por el contrario, Silva-Pineda y Buitrón-Sánchez (1998) lo interpretaron de otra manera, sugiriendo posiblemente una transgresión marina temporal, donde el mar invadió por un corto periodo de tiempo las tierras bajas, quedando esas aguas estancadas en un ambiente salobre cuya salinidad fue diluyéndose progresivamente debido al aporte normal de agua dulce de los cauces de ríos. En este contexto de facies palustre, se desarrollaron plantas con predominio de cicadofitas, helechos y en menor medida otras plantas asociadas a estos pantanos donde progresivamente fue acumulándose la materia orgánica que dio lugar a las capas de carbón, especialmente en la cuenca de San Marcial (Silva-Pineda y Buitrón-Sánchez, 1998).

Con base en las similitudes litológicas y paleobotánicas Weber *et al.* (1980b), relacionó la Formación Santa Clara con el Grupo Richmond de Virginia y con la Formación Chinle del suroeste en los Estados Unidos de América (Fig. 1).

### 2.2.2. Paleontología

En cuanto a la paleontología de la Formación Santa Clara del área se destacan los trabajos realizados por Humphreys (1916), Alencáster (1961a, b), Silva-Pineda (1961, 1979), Weber 1980, 1985a, 1985b, 1985c, 1995, 1997, 1999, 2005, 2008a, 2008b, 2008c, Weber *et al.*, 1980b) y Zambrano-García y Weber (1985) donde se describen numerosos especímenes fósiles de flora e invertebrados marinos, siendo estos últimos indicadores de una edad del Triásico Tardío.

La preservación de la flora fósil no es muy buena, por lo que no ha permitido, en la mayoría de los casos, realizar estudios de cutículas (bien por ausencia de cutícula o bien por su escasa preservación) para determinar su asignación botánica (Silva-Pineda, 1961). Las localidades con mayor abundancia de plantas corresponden a Santa Clara, San Marcial y San Enrique (Silva-Pineda, 1979; Silva-Pineda y Buitrón, 1998) (Figura 1). Muchas de las especies fósiles tipo de plantas descritas previamente de la Formación Santa Clara fueron incluidas dentro del Catálogo de Plantas Fósiles en la Colección Nacional de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM (Perrilliat y Castañeda-Posadas, 2013).

Las plantas fósiles más abundantes en la Formación Santa Clara son los helechos (*Asterocarpus*, *Cladophlebis*, *Cynepteris*, *Mertensides*, *Phlebopteris*, *Thaumatopteris*) (Figura 4) y las cicadofitas (*Ctenophyllum*, *Nilssonia*, *Otozamites*, *Pterophyllum*, *Sphenozamites*, *Taeniopteris*, *Zamites*) (Figura 5) (Silva-Pineda y Buitrón, 1998). En menor medida se han descrito pteridospermas (*Alethopteris*), coniferales (*Abietites*, *Cycadites*, *Elatocladus*, *Palissya*, *Pelourdea*, *Podozamites*), equisetales (*Equisetites*, *Neocalamites*) y ginkgoales (*Baiera*, *Ginkgo*, *Sphenobaiera*) (Figura 6) (Silva-Pineda, 1979; Silva-Pineda y Buitrón, 1998).

Además de las emendaciones realizadas por los investigadores que estudiaron las plantas de la Formación Santa Clara, han sido descritas 20 especies fósiles nuevas (*Asinisetum breviararticulatum*, *A. dissimile*, *A. formosum*; *Asterotheca santaclarae*; *Bennettistemon sonorensis*; *Cycadolepis auris-leporis*; *Cynepteris intranscendentalis*, *C. sonorensis*; *Dictyotrichia john-strongii*, *D. major*; *Equisetites aequecaliginosus*; *Laurozamites pima*, *L. tarahumara*, *L. yaqui*; *Phlebopteris crenulata*; *Scoresbya pinnata*, *S. mirabile*; *Sonoraphyllum mirabile*, *Williamsonia newberryi*, *W.? opilionoides*) y 4 géneros fósiles nuevos (*Asinisetum*, *Dictyotrichia*, *Laurozamites*, *Sonoraphyllum*) (Weber, 1985c, 1995, 1996, 2005, 2008a, 2008b, 2008c; Weber y Zamudio-Varela, 1995).

Se debe destacar la escasa presencia de algunos ejemplares precursoras de posibles angiospermas como son *Scoresbya* y *Sonoraphyllum* (Weber, 1995; Kustatscher *et al.*, 2018).

Además de la flora, asociada a ella se ha descrito fauna fósil de ambiente marino y salobre (Figura 7). Las localidades con mayor abundancia de fauna marina corresponden a los depósitos de carbón y calizas yesíferas de San Marcial y en menor medida a Santa Clara de facies palustre (Alencáster, 1961a) (Figura 2). Del mismo modo, esta autora identificó en ambiente palustre, en la localidad de Santa Clara, al braquiópodo *Lingula* cf. *selwyni* Thiteaves y una gran diversidad de moluscos: el ammonite ?*Traskites* (*Shastites*) sp.; el escafópodo *Dentalium* sp. y los bivalvos *Cassianella* cf. *woyaniana* McLearn, *Entolium* cf. *subdemissus* Münster, *Monotis* cf. *montini* McLearn, *Myophoria boesei* Frech, *M. cf. laevigata* Zieten, *M. mexicana* Alencáster, *Mytilus* (*Chloromya*) *sonorensis* Alencáster y ?*Trigonia* sp. (Alencáster, 1961b) (Figura 4). Igualmente, asociados a la flora fósil, en San Marcial se ha identificado la fauna salobre compuesta por *Nuculana curvirostris* Alencáster, *Myophorogonia salasi* Alencáster y *Anodontophora remondi* (Gabb) Alencáster interpretando su presencia como depósito palustre (Alencáster, 1961b) (Figura 7).

El único ammonite reportado por Alencáster (1961b) en la Fm. Santa Clara (Figura 7k) permite correlacionar dicha unidad litoestratigráfica con la Formación Antimonio. Esta formación se considera de edad Cárnico, como un cambio lateral con la Fm. Santa Clara, en base a los ammonites estudiados al sur del pueblo minero abandonado de El Antimonio, a unos 45 km al oeste de Caborca

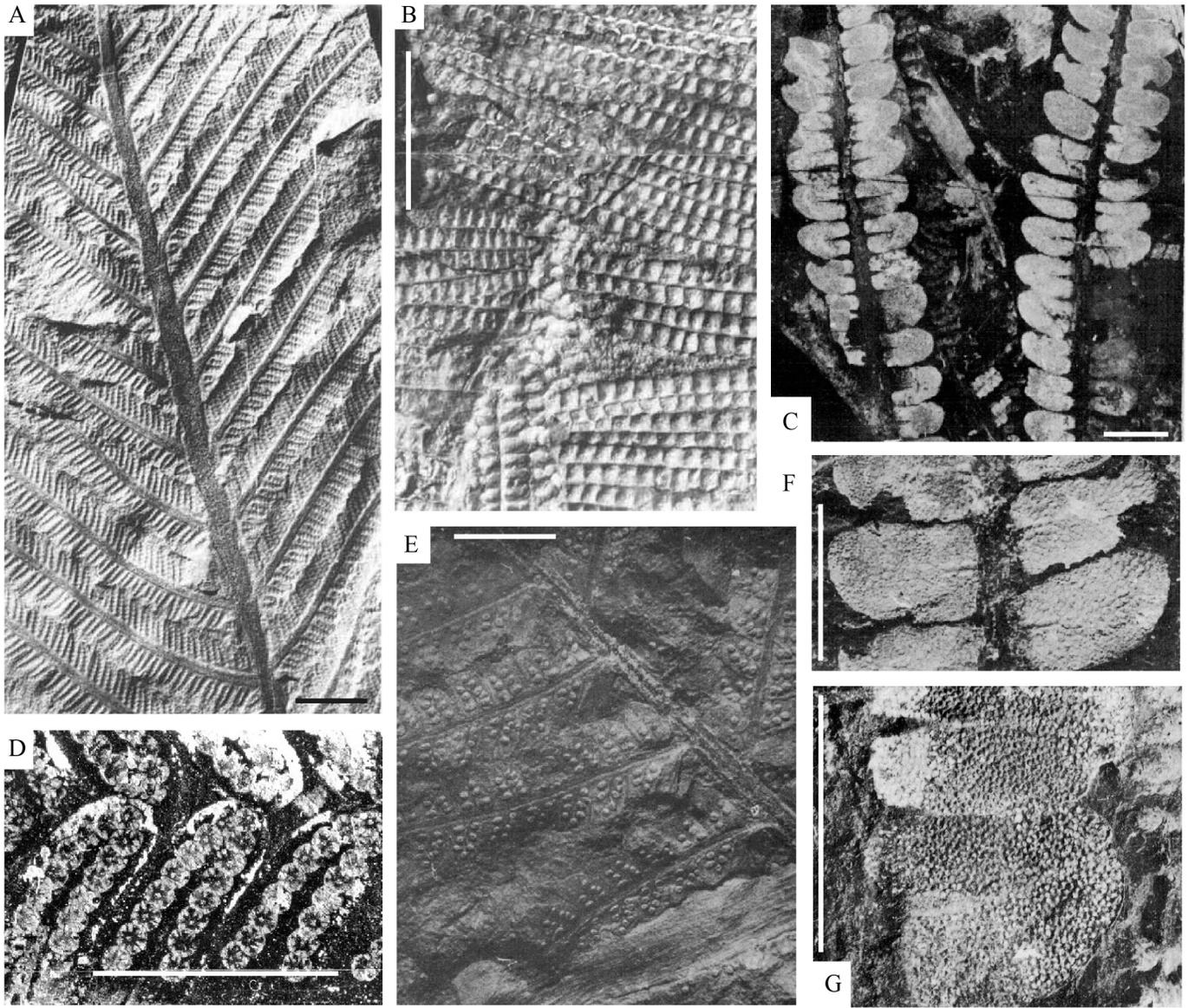


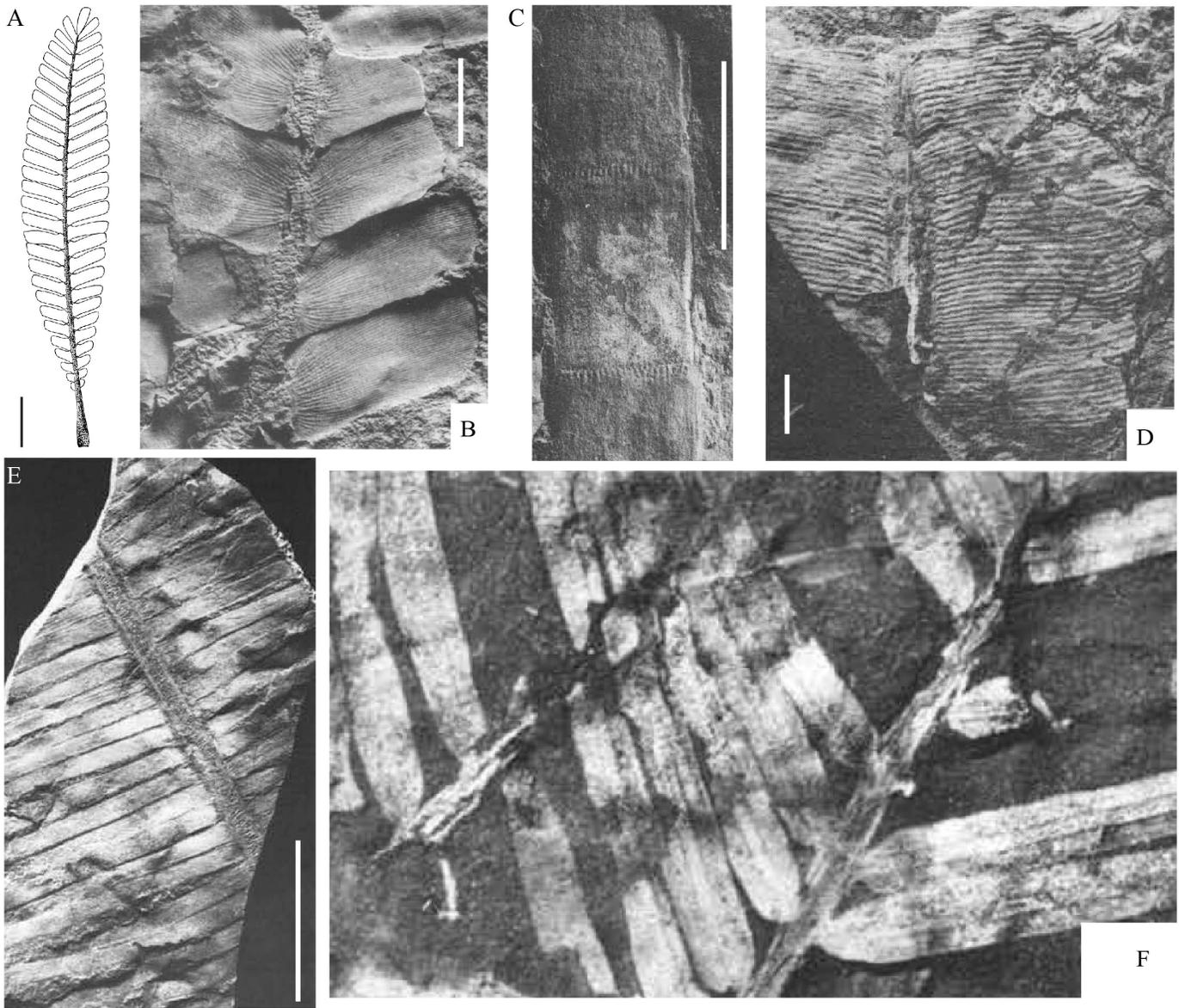
Figura 4. A, D. A: *Asterotheca santaclarae* Weber 1985, escala 1 cm (imagen tomada de Weber, 1997); D: escala 1 cm, foto tomada por A. Altamira y R. Weber disponible en <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/weber/galeria/foto025.htm>). B.- *Phlebopteris angustiloba* (Braun) Hirmer y Hörhammer 1936, escala 1.5 cm (imagen tomada de Weber, 1997). C, F, G.- *Cynepteris sonorensis* Weber 1985c (escalas 1 cm, imágenes tomadas de Weber, 1985c). E.- *Mertensides mexicanus* (Newberry) Maldonado-Koerdell 1950 (escala 1 cm, imagen tomada de Weber, 1985c).

(Lucas *et al.* 2015). Estos autores reportaron entre otros al ammonite *Traskites robustus* en el área de Santa Clara en la biozona *Tropites dilleri* Hyatt y Smith.

### 2.3. Formación Coyotes

La Formación Coyotes es una sucesión, con un espesor aproximado de 600 m, de rocas sedimentarias de origen fluvial, asociado a ríos y abanicos aluviales, sobreyacida en discordancia angular por la Formación Tarahumara (González-León *et al.*, 2011). Está constituida principalmente por un ortoconglomerado clastosoportado

de guijarros y cantos angulares a subredondeados de cuarcita, pedernal y caliza paleozoica en una matriz arenosa. En menor proporción contiene interestratificaciones de conglomerado matriz-soportado de areniscas de cuarzo de grano fino a grueso (con coloraciones que varían de rojizas a amarillentas a gris claro) y limolita rojiza (Alencáster, 1961a). Debido a su posición estratigráfica se considera de edad comprendida entre el Cárnico (que sería la edad de la Formación Santa Clara) y el pre-Cretácico Superior al ubicarse infrayacente a la Formación Tarahumara, marcada por una discordancia angular (Alencáster, 1961a; González-León *et al.*, 2011).

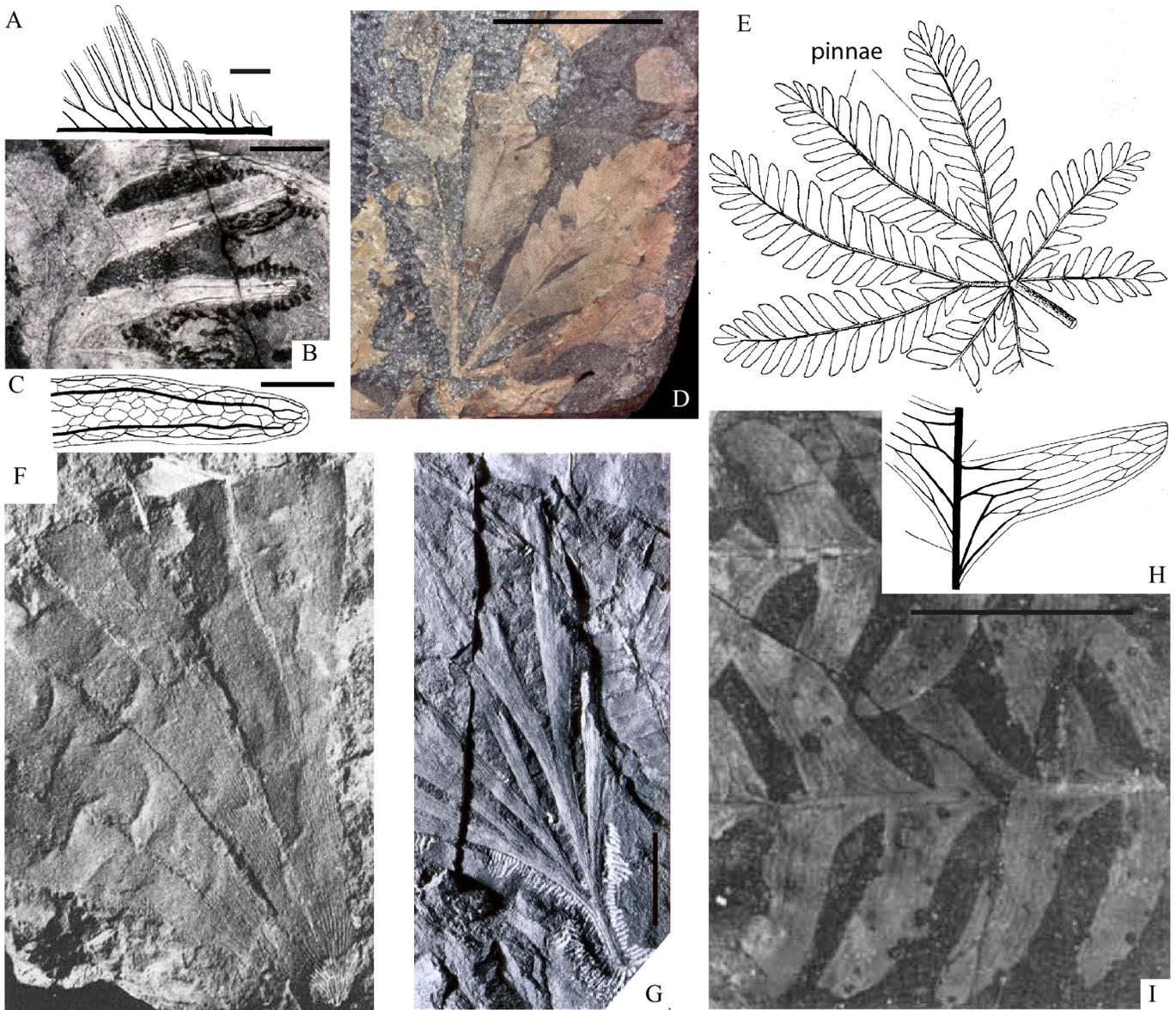


**Figura 5.** A. Reconstrucción de una hoja típica de *Laurozamites* similar a *Laurozamites fragilis* (tomado de Weber y Zamudio-Varela, 1995, fig. 6, escala 2 cm). B.- *Laurozamites yaqui* Weber y Zamudio-Varela 1995 (IGM-PB-515-674) del área La Barranca-Santa Clara, escala 1 cm (tomado de Weber y Zamudio-Varela, 1995). C.- *Equisetites aequecaliginosus* Weber 2005 (escala 2.5 cm, tomado de Weber *et al.*, 1980a). D.- *Taeniopteris elegans* Newberry 1876 (escala 2.5 cm, tomado de Weber *et al.*, 1980a). E.- “*Ctenophyllum braunianum*” s.l. Göppert 1844 (escala 3.5 cm, imagen tomada de Weber, 1997). F.- *Elatocladus carolinensis* (Emmons) Weber 1997 (imagen tomada de Weber, 1997, escala no indicada).

### 3. Edad de la Formación Santa Clara

Datos bioestratigráficos, geocronológicos y de isótopos de U/Pb en zircones heredados para tobos de la Formación Santa Clara del Grupo Barranca en Sonora Central indican una edad del Cárnico para la unidad (235–225 Ma, Triásico Superior) (Anderson y Silver, 1979; Gehrels y Stewart, 1998). Edades cronoestratigráficas de la Formación Antimonio (equivalente lateral de la Formación Santa Clara) indican una edad mínima del Triásico Medio (Roadiano-Ladiniano, 270–240 Ma) (González-León *et al.*, 2005).

La fauna marina constituida por *Anodontophora*, *Cassianella*, *Monotis*, *Myophorogonia* y *Traskites* indican una edad triásica, y las especies fósiles de estos géneros una edad cárnica (Alencáster, 1961b). Las especies de *Cassianella* y *Monotis* son confer, en el caso de *Traskites* es una ejemplar indeterminable y *Anodontophora remondi* solo ha sido descrita en Sonora. Asimismo, se describieron dos especies nuevas de *Myophorogonia* que aunque este género es abundante en el Cárnico de Norteamérica (Alencáster, 1961b), no se justifica la asignación de esta edad ya que su rango estratigráfico es mayor, por lo que la bioestratigrafía de fauna marina



**Figura 6.** A-C. *Sonoraphyllum mirabile* Weber 1995 (imagen tomada de Weber, 1995), escala de 2 cm en imagen A, escala de 1 cm en C. [Fig. 7B: escala 1.5 cm; foto tomada por A. Altamira y R. Weber, disponible en <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/weber/galeria/foto030.htm>]. D.- *Scoresbya dentata* Harris 1932 (escala 3 cm; foto tomada por A. Altamira y R. Weber, disponible en <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/weber/galeria/foto042.htm>). Ginkgoales de la Formación Santa Clara en el área de La Barranca-Santa Clara. E, H, I.- *Scoresbya pinnata* Weber 1995 (imagen tomada de Weber, 1995; E y H reconstrucción de las hojas, escala 2.5 cm). F.- *Chiropteris* sp. (imagen tomada de Weber, 1997; escala no indicada en el artículo original). G.- *Sphenobaiera* sp. (escala 3 cm; foto tomada por A. Altamira y R. Weber, disponible en <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/weber/galeria/foto045.htm>).

en la Formación Santa Clara es cuestionable. En base a la fauna marina se indica una edad cárnica debido a su correlación con depósitos cárnicos de la Formación El Antimonio, aunque ésta unidad ha sido asignada con base en fauna marina (belemnoides aulacoceridos, bivalvos, braquiópodos, corales) al Carníco en su base, al Nórico en su parte media y Jurásico Inferior hacia su techo (Stanley *et al.*, 1994; Damborenea y González-León, 1997).

Muchas de las plantas fósiles descritas en la Formación Santa Clara son típicas del Triásico Tardío, como son algunas esfenofitas (*Equisetites*), helechos (*Asterotheca*), cicadas/bennettitales (*Laurozamites*, *Pterophyllum*, *Ctenophyllum*), ginkgoitas y algunas coníferas (Kustatscher *et al.*, 2018). *Mertensides bullatus*, *Laurozamites fragile* (Newberry, 1876) Weber & Zamudio-Varela y *Taeniopteris magnifolia* son las especies fósiles de flora que indican una edad del Triásico Tardío por

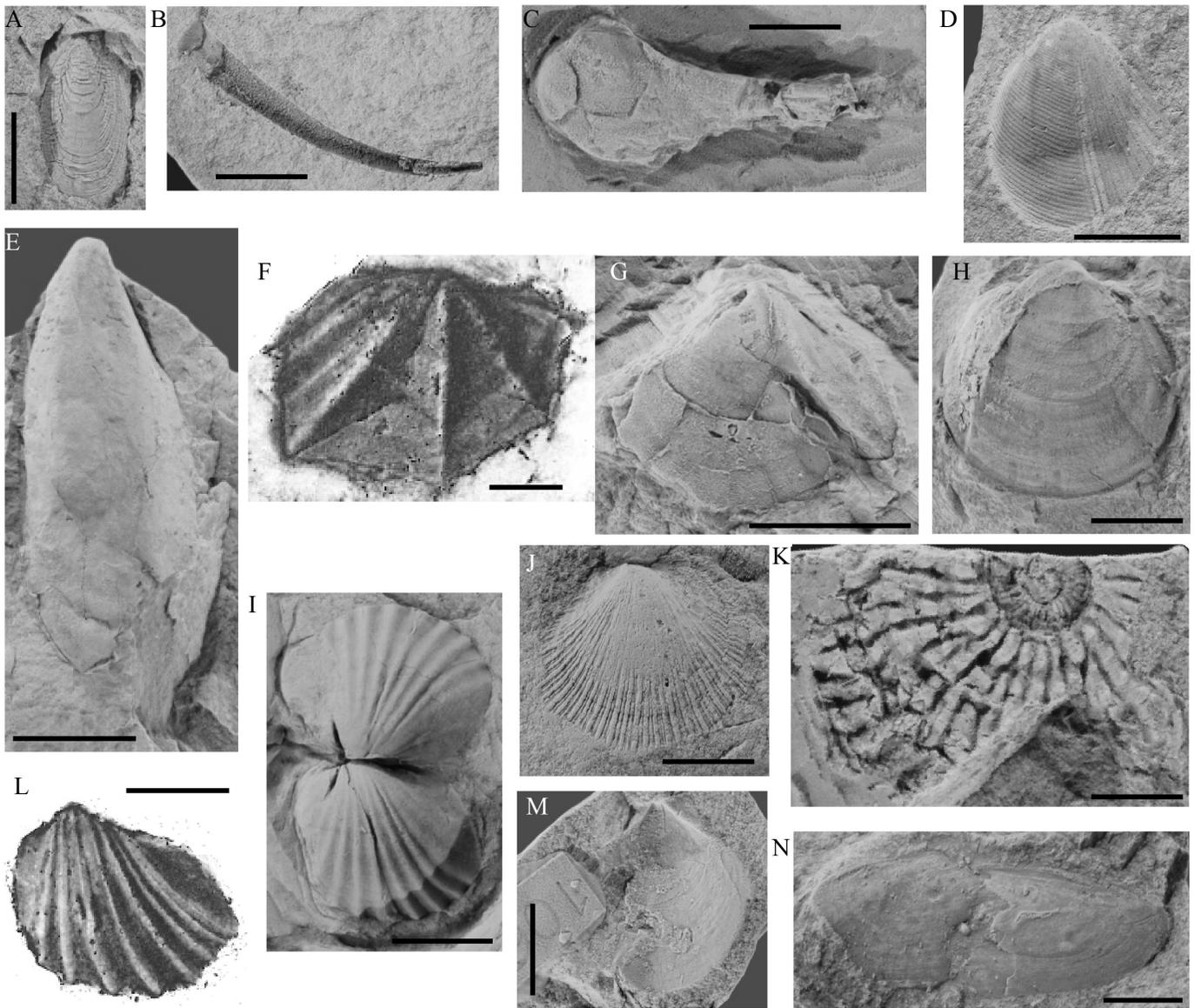


Figura 7. Fauna de la Formación Santa Clara en Sonora (figuras 4F y 4L tomadas de Alencáster, 1961b; el resto de imágenes tomadas de: Departamento de Paleontología Instituto de Geología (IGL), Colección Nacional de Paleontología (IGM). En Portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias -en línea-, México, Universidad Nacional Autónoma de México). A.- *Lingula* cf. *selwyni* Thiteaves (1058-5-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1058>); B.- *Dentalium* sp. (1071-2-S-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1071>); C.- *Nuculana curvirostris* Alencáster, 1961b (holotipo 1059-2-P-IGM, localidad San Marcial) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:7260>); D.- ?*Trigonia* sp. (1064-2-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1064>); E.- *Mytilus* (*Chloromya*) *sonorensis* Alencáster, 1961b (holotipo 1065-26-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1065>); F.- *Myophoria boesei* Frech (1062-5-P-IGM, localidad Santa Clara); G.- *Myophoria* cf. *laevigata* (Zieten) (1061-1-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1061>); H.- *Anodontophora remondi* (Gabb) Alencáster, 1961b (1069-97-P-IGM, localidad San Marcial) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:7281>); I.- *Myophoria mexicana* Alencáster, 1961b (holotipo 1060-14-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:7262>); J.- *Monotis* cf. *montini* McLearn (10-68-2-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:7279>); K.- ammonite ?*Traskites* (*Shastites*) sp. (1070-1-C-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1070>); L.- *Myophorigonia salasi* Alencáster, 1961b (1063-7.-P-IGM, localidad San Marcial); M.- *Entolium* cf. *subdemissus* Münster (1067-3-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:1067>); N.- *Cassianella* cf. *woyaniana* McLearn (1066-8-P-IGM, localidad Santa Clara) (<https://datosabiertos.unam.mx/IGL:IGM:7278>). Imágenes F y L tomadas de Alencáster, 1961b. Escalas A, B, C, D, F, J, K, M y N corresponde con 5 mm; escala E corresponde con 2 cm; escalas G, H e I corresponden con 1 cm.

su correlación con numerosos lugares del mundo, incluyendo el Grupo Dockum de Texas y el Grupo Newark de Virginia en los Estados Unidos (Alencáster, 1961b; Silva-Pineda, 1961). Asimismo, los géneros *Cynepteris*, *Mertensides* y *Tranquillia* se conocen desde el Cárnico (Weber, 1997).

#### 4. Paleogeografía y paleoambiente durante depósito de la Fm. Santa Clara

Las rocas del Triásico Superior y Jurásico Inferior en Sonora están representadas por afloramientos discontinuos de los depósitos del Grupo Barranca y Grupo El Antimonio (González-León *et al.* 2011). La sedimentación del Grupo Antimonio que inició en el Triásico Tardío continuó hasta el Sinemuriano (González-León *et al.* 2011). Existen diferencias petrográficas marcadas entre el Grupo Antimonio y el Grupo Barranca, en el primero predominan los fragmentos líticos derivados de terrenos volcánicos y plutónicos, mientras que en el segundo se presentan principalmente clastos de cuarzo, feldespato, cuarzenita, pedernal y caliza paleozoica fosilífera. Estudios de isótopos de U/Pb en circones heredados indican que el origen de los aportes de ambos grupos provienen de los basamentos proterozoicos regionales y rocas ígneas de arco volcánico de edad pérmica, triásica y jurásica (González-León *et al.* 2011). El Grupo El Antimonio está conformado por las formaciones Antimonio, Río Asunción y Sierra de Santa Rosa (González-León *et al.* 2011). En el Cárnico, en el área de El Antimonio, predominan los depósitos calcáreos marinos de facies nerítica (Fm. Antimonio), determinada por la presencia de diferente fauna con predominancia de ammonites, corales, bivalvos y gasterópodos (Keller, 1928, p. 329; White y Guiza, 1949, p. 10; González-León *et al.* 2011). Por el contrario, en el área de Santa Clara, San Marcial y El Salto los depósitos para el Cárnico son de facies palustres con pantanos que dieron lugar al carbón con abundante flora y bivalvos, principalmente representados por la Formación Santa Clara (Wilson y Rocha, 1946, p. 26; Bello-Barradas, 1960, figs. 6-10; Silva-Pineda y Buitrón, 1998, p. 67). Las formaciones Antimonio y Santa Clara se consideran equivalentes laterales, aunque con esquemas de proveniencia sedimentaria diferente en base a estudios de isótopos de U/Pb de circones heredados: la fuente más probable de la Fm. Antimonio sería de la erosión de rocas plutónicas y volcánicas del Pérmico y del Triásico Medio (Roadiano-Ladiniano, 270–240 Ma), mientras que para las tobas de la Fm. Santa Clara la fuente sería de la erosión de rocas precámbricas del suroeste de Estados Unidos y Sonora, pérmicas e ígneas triásicas (Anderson y Silver, 1979; Gehrels y Stewart, 1998).

En una primera reconstrucción paleogeográfica, se describió que el Grupo Barranca se acumuló en la Cuenca de San Marcial, la cual se rellenó hasta finales del Triásico Tardío y fue en ese momento durante el Cárnico

cuando tuvo conexión marina con la paleobahía del Antimonio, siendo equivalentes laterales para esta edad (Alencáster, 1961a). Según esta primera reconstrucción, el depósito en la Cuenca de San Marcial comenzó posiblemente antes del Cárnico con calizas yesíferas en un medio de circulación restringida según los datos de Bello-Barradas (1959, 1960). Posteriormente, se registró la entrada de material clástico con un predominio de areniscas cuarcíferas debido al desmantelamiento de rocas cristalinas que afloraron después de sufrir un elevamiento (Alencáster, 1961a). Después de este episodio clástico, se fue disminuyendo paulatinamente el depósito fue marino constituido por areniscas de grano fino, limolitas y lodolitas, interpretándose como un ambiente de pantano con selvas densas de cicadáceas, helechos y otro tipo de plantas. En las áreas donde se han encontrado depósitos con pecelípodos marinos (géneros *Mytilus*, *Dentalium* y *Nuculana*) asociadas a estas plantas bien conservadas se ha interpretado como una invasión temporal de las aguas marinas sobre una llanura baja, las cuales quedaron estancadas. Estas aguas estancadas fueron evolucionando progresivamente por la influencia de agua dulce proveniente de los ríos, manteniéndose únicamente fauna tolerante de agua salobre como el pecelípodo *Anodontophora* (Alencáster, 1961a) y el conócstraco *Cyzicus* (*Lioestheria*) sp. (crustáceo de la Clase Branchiopoda). Estos depósitos pantanosos permitieron la acumulación de mantos carbonosos en una secuencia de alternancia rítmica con sedimentos clásticos arenosos finos, posiblemente asociados a variaciones climáticas debido a una estacionalidad de alta pluviosidad (Alencáster, 1961a).

La segunda reconstrucción paleogeográfica realizada por Stewart y Roldán Quintana (1991), implica que el Grupo Barranca se depositó en una fase de rifting, en una cuenca distensiva alargada en dirección E-O en la parte central de Sonora al sureste de Hermosillo.

La tercera reconstrucción paleogeográfica, implica que el Grupo Antimonio pertenecía al terreno Antimonio, un terreno alóctono cabalgante (el cual se habría depositado en una cuenca marina de antearco) sobre el basamento del Precámbrico y el Paleozoico de Sonora, lo cual se podría explicar por el desplazamiento lateral izquierdo durante el Jurásico Tardío debido a la falla de Mojave-Sonora cuya posición original se encontraba en el suroeste de los Estados Unidos (González-León *et al.* 2011). La mayoría de los investigadores concuerdan que los grupos El Antimonio y Barranca se depositaron en la misma cuenca cuya línea de playa se ubicaría cerca de la Sierra de Santa Teresa (Stewart, 2005; Marzolf y Anderson, 2005).

#### 5. Conclusiones

La flora de la Formación Santa Clara en Sonora es el único registro paleobotánico del Triásico Superior (Cárnico) en México bien fechado que permite

correlacionarlo con otras localidades florísticas de la misma edad en Norteamérica. La flora está predominada por helechos y cicadofitas, y en menor proporción de pteridospermas, coníferales, equisetales y ginkgoales. La presencia en algunos niveles en San Marcial, San Javier y Santa Clara de fauna marina (principalmente de bivalvos) junto con las plantas fósiles sugiere incursiones marinas temporales.

## Agradecimientos

Agradecemos a dos revisores anónimos por su inestimables sugerencias que ayudaron a mejorar el presente trabajo.

## Referencias

- Alencáster, G. (1961a). Estratigrafía del Triásico Superior de la parte central del estado de Sonora, *Paleontología Mexicana*, 11 (1), 1–18.
- Alencáster, G. (1961b). Fauna fósil de la Formación Santa Clara (Cárnico) del estado de Sonora, *Paleontología Mexicana*, 11 (3), 19–45.
- Anderson, T.H. & Silver, L.T. (1979). The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora. En: Anderson, T.H. & Roldán-Quintana, J., (eds.). *Geology of northern Sonora*. Geological Society of America Annual Meeting, San Diego, California, Guidebook-Field Trip, 27, 59–68.
- Antuna-Ibarra, I. (2002). *Estratigrafía del Grupo Barranca en la región de San Marcial, Sonora*. Hermosillo, Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, Unidad Académica, Hermosillo. Tesis de licenciatura, 58 pp.
- Bello-Barradas, A. (1959). *Reconocimiento geológico de la zona carbonífera de San Marcial, Sonora*. Hermosillo, México, Consejo de Recursos Minerales, Archivo técnico OH-20, 24 pp.
- Bello-Barradas, A. (1960). *Geología de los yacimientos de antracita de San Marcial, Municipio de San Marcial, Sonora*. Ciudad de México, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., Tesis Profesional, 40 pp.
- Burckhardt, C. (1930). Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicain. *Mémoire de la Société Paléontologique Suisse*, 49(1), 1–123.
- Carrillo-Bravo, J. (1961). Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria. *Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13(1-2), 1–98.
- Cojan, I. & Potter, P.E. (1991) Depositional environment, petrology, and provenance of the Santa Clara Formation, Upper Triassic Barranca Group, eastern Sonora, Mexico. En: Pérez-Segura, E. & Jacques-Ayala, C. (eds.). *Studies of Sonoran Geology*. GSA Special Papers, 254, 37–50. <https://doi.org/10.1130/SPE254-p37>
- Damborenea, S.E. & González-León, C.M. (1997). Late Triassic and Early Jurassic bivalves from Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14 (2), 178–201.
- Departamento de Paleontología, Instituto de Geología (IGI), Colección Nacional de Paleontología (IGM), Tipos. En: *Portal de Datos Abiertos UNAM* (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://datosabiertos.unam.mx>. Fecha de actualización: 25/08/2015, 7:34:00 p.m. Fecha de consulta: 08/11/2022, 1:00:00 p.m.
- Fastovsky, D.E., Clark, J.M., Strater, N.H., Montellano, M., Hernández R.R. & Hopson, J.A. (1995). Depositional environments of a Middle Jurassic Terrestrial vertebrate assemblage, Huizachal Canyon, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 15 (3), 561–575.
- Flores, T. (1929). Reconocimientos geológicos en la región central del estado de Sonora. *Boletín Instituto Geológico de México*, 49, 1–267.
- Gehrels, G.E. & Stewart, J.H. (1998). Detrital zircon U-Pb geochronology of Cambrian to Triassic miogeoclinal strata of Sonora, Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 103, 2471–2488. <https://doi.org/10.1029/97JB03251>
- González-León, C.M., Stanley, G.D., Gehrels, G.E. & Centeno-García, E. (2005). New data on the lithostratigraphy, detrital zircon and Nd isotope provenance, and paleogeographic setting of the El Antimonio Group, Sonora, Mexico. *Geological Society of America Special Paper*, 393, 259–282.
- González-León, C.M., Valencia, V.A., Lawton, T.F., Amato, J.M., Gehrels, G.E., Leggett, W.J., Montijo-Contreras, O. & Fernández, M.A. (2009). The lower Mesozoic record of detrital zircon U-Pb geochronology of Sonora, Mexico, and its paleogeographic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (2), 301–314.
- González-León, C.M., Lawton, T.F. & Weber, R. (2011). Estratigrafía del Triásico y el Jurásico Inferior de Sonora, México. En: Calmus, T., (ed.). *Panorama de la geología de Sonora, México*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín Instituto de Geología, 118(3), 57–80.
- Guiza, R. Jr. & White, D.E. (1949). Los yacimientos antimoniales de la región de El Antimonio, estado de Sonora. *Boletín Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales (México)*, 23, 1–48.
- Gutiérrez-Briones, J.F. (2005). *Estudio estratigráfico sedimentológico de la Formación Coyotes (Triásico Superior) y su importancia en el entendimiento de la evolución geológica de Sonora central*. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Tesis de maestría, 81 pp.
- Humphreys, E.W. (1916). Triassic plants from Sonora, Mexico, including a *Neocalamites* not previously reported from North America. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 6, 75–78. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/42501#page/15/mode/1up>
- Jaworski, E. (1929). Eine Liasfauna aus Nordwest-Mexiko. *Abhandlungen der Schweizerischen Palaeontologischen Gesellschaft*, 48(4), 1–12.
- Keller, W.T. (1928). Stratigraphische beobachtungen in Sonora (nordwest Mexico). *Eclogae Geologicae Helveticae*, 21, 327–335.
- Keller, W.T. (1973). Observaciones estratigráficas en Sonora. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 35 (1–3), 2–22.
- King, R.E. (1939). Geologic reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 50, 1625–1722.
- Kustatscher, E., Ash, S.R., Karasev, E., Pott, C., Vajda, V., Yu, J. & McLoughlin, S., 2018, Chapter 13 Flora of the Late Triassic. En: Tanner, L.H. (ed.). *The Late Triassic World, Topics in Geobiology*, 46, 545–622. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68009-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68009-5_13)
- Lucas, S.G., Cantrell, A., Suazo, T.L. & Estep, J.W. (2015). Carnian (Late Triassic) Ammonoids From El Antimonio, Sonora, Mexico. En: Sullivan, R.M. & Lucas, S.O. (eds.), *Fossil Record 4*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 67, 189–204.
- Marzolf, J.E. & Anderson, T.H. (2005). Lower Mesozoic facies and crosscutting sequence boundaries—constraints on displacement

- of the Caborca terrane. En: Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W. & Steiner, M.B., (eds.). *The Mojave-Sonora megashear hypothesis—development, assessment and alternatives*. Geological Society of America Special Paper, 393, 283–308.
- Michalzik, D. (1991). Facies sequence of Triassic-Jurassic red beds in the Sierra Madre Oriental (NE Mexico) and its relation to the early opening of the Gulf of Mexico. *Sedimentary Geology*, 71 (3–4), 243–259.
- Mixon, R.B., Murray, G.E. & Díaz, T. (1959). Age and correlation of Huizachal Group (Mesozoic), State of Tamaulipas, Mexico. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 43 (4), 757–771.
- Montellano, M., Hopson, J.A. & Clark, J.M. (2008). Late early Jurassic mammaliaforms from Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28(4), 1130–1143. <https://doi.org/10.1671/0272-4634-28.4.1130>
- Obregón-Andría, L. & Arriaga-Arredondo, F. (1991). Coal in Sonora. En: Pérez-Segura, E. & Jacques-Ayala, C. (eds.). *Studies in Sonoran geology*. Geological Society of America Special Paper, 254, 121–130.
- Perrilliat, M.C. & Castañeda-Posadas, C. (2013). Catálogo de Plantas Fósiles en la Colección Nacional de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM, México: *Boletín Instituto de Geología UNAM*, 119, 1–109.
- Pesquera-Velázquez, R. & Carbonell-Córdoba, M. (1960). Geología y exploración de los depósitos de carbón de la región de San Marcial, estado de Sonora. *Boletín Consejo de Recursos Minerales no Renovables (México)*, 59, 1–52.
- Reynoso, V.H. (1996). A middle Jurassic *Sphenodon*-like sphenodontian from Huizachal Canyon, Tamaulipas, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 16 (2), 210–221. <https://doi.org/10.1080/02724634.1996.10011309>
- Reynoso, V.H. (2005). Possible evidence of a venom apparatus in a Middle Jurassic sphenodontian from the Huizachal red beds of Tamaulipas, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 25, 646–654.
- Rubio-Cisneros, I.I. & Lawton, T.F. (2011) Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle de Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early-Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extension. *Geosphere*, 7, 159–170.
- Rueda-Gaxiola, J., López, O.E., Dueñas, M.A. & Rodríguez J.L. (1993). Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla-El Alamar. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 43 (1), 1–33.
- Silva-Pineda, A. (1961). Paleontología del Triásico Superior de Sonora; Parte II, Flora fósil de la Formación Santa Clara (Cárnico) del estado de Sonora. En: Alencáster de Cserna, G. (ed.). *Paleontología del Triásico Superior de Sonora*. Paleontología Mexicana, 11(2), 1–37.
- Silva-Pineda, A. (1979). La flora triásica de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 3 (2), 138–145.
- Silva-Pineda, A. & Buitrón-Sánchez, B.E. (1998). *Paleontología de México*. Plantas vasculares fósiles: México, Facultad de Ingeniería UNAM, 93 pp.
- Stanley, G.D., González-León, C., Sandy, M.R., Senowbari-Daryan, B., Doyle, P., Tamura, M. & Erwin, D.H. (1994). Upper Triassic invertebrates from the Antimonio Formation, Sonora, Mexico. *The Paleontological Society Memoir*, 36, Supplement 68 (4), 1–33.
- Stewart, J.H. (2005). Evidence for Mojave-Sonora megashear—systematic left-lateral offset of Neoproterozoic to Lower Jurassic strata and facies, western United States and northwestern Mexico. En: Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W. & Steiner, M.B., (eds.). *The Mojave-Sonora megashear hypothesis—development, assessment and alternatives*. Geological Society of America Special Paper, 393, 210–231.
- Stewart, J.H. & Roldán-Quintana, J. (1991). Upper Triassic Barranca Group; nonmarine and shallow-marine rift-basin deposits of northwestern Mexico. *Geological Society of America Special Paper*, 254, 19–36. <https://doi.org/10.1130/SPE254-p19>
- Weber, R. (1980). Megafósiles de Coníferas del Triásico Tardío y del Cretácico Tardío de México y consideraciones generales sobre las Coníferas mesozoicas de México. *Revista Instituto de Geología UNAM*, 4 (2), 111–124.
- Weber, R. (1985a). Las plantas fósiles de la Formación Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora, México) – estado actual de las investigaciones. En: Weber, R., (ed.). *Tercer Congreso Latinoamericano de Paleontología, Simposio sobre floras del Triásico Tardío, su fitogeografía y paleoecología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 3° Congreso Latinoamericano de Paleontología: Oaxtepec, Morelos, Mexico, Memoria, pp. 107–124.
- Weber, R. (1985b). Helechos nuevos y poco conocidos de la taoflora Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora) NW-Mexico Part I Marattiales. En: Weber, R., (ed.). *Tercer Congreso Latinoamericano de Paleontología, Simposio sobre floras del Triásico Tardío, su fitogeografía y paleoecología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 3° Congreso Latinoamericano de Paleontología: Oaxtepec, Morelos, México, Memoria, pp. 125–137.
- Weber, R. (1985c). Helechos nuevos y poco conocidos de la taoflora Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora) NW-Mexico Part II Helechos leptosporangidos; Cynepteridaceae y Gleicheniaceae. En: Weber, R., (ed.). *Tercer Congreso Latinoamericano de Paleontología, Simposio sobre floras del Triásico Tardío, su fitogeografía y paleoecología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 3° Congreso Latinoamericano de Paleontología: Oaxtepec, Morelos, México, Memoria, pp. 139–152.
- Weber, R. (1995). A new species of *Scoresbya* Harris and *Sonoraphyllum* gen. nov. (Plantae Incertae sedis) from the Late Triassic of Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12 (1), 94–107.
- Weber, R. (1996). Review of *Macropterygium* Schimper (“Cycadophyta”, presumed Bennettiales) and a new species from the Upper Triassic of Sonora, Northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13 (2), 201–220.
- Weber, R. (1997). How old is the Triassic flora of Sonora and Tamaulipas and news on Leonardian floras in Puebla and Hidalgo, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14 (2), 225–243.
- Weber, R. (1999). New and poorly known ferns from the Santa Clara Formation, Late Triassic, Sonora, NW Mexico; III Marattiales. *Tranquilia* Herbst—a Panamerican dimorphic genus. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(2), 175–186.
- Weber, R. (2005). *Equisetites aequicaliginosus* sp. nov., ein Riesenschachtelhalm Aus der spätriassischen Formation Santa Clara, Sonora, Mexico. *Revue de Paléobiologie*, 24 (1), 331–364.
- Weber, R. (2008a). Homomorfismo en Equisetaceae del Triásico: *Asinisetum* gen. nov., *Equisetites aequicaliginosus* Weber y conos asociados de Sonora, México. En: Weber, R., (ed.). *Plantas triásicas y jurásicas de México*. Boletín Instituto de Geología UNAM, 115 (1), 1–83.
- Weber, R. (2008b). *Phlebopteris* (Matoniaceae) en el Triásico y Jurásico

- de México. En: Weber, R., (ed.). *Plantas triásicas y jurásicas de México*. Boletín Instituto de Geología, UNAM 115 (2), 85–115.
- Weber, R. (2008c). *Dictyotrichia* gen. nov., *Haitingeria* Krasser, y otros órganos reproductivos o apendiculares de cicadofitas, Triásico Tardío, Sonora, México. En: Weber, R., (ed.). *Plantas triásicas y jurásicas de México*. Boletín Instituto de Geología UNAM, 115 (3), 117–149.
- Weber, R. & Zamudio-Varela, G. (1995). *Laurozamites*, a new genus and new species of bennettitalean leaves from the Late Triassic of North America. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12 (1), 68–93.
- Weber, R., Trejo-Cruz, R., Torres-Romo, A. & García-Padilla, A. (1980a). Hipótesis de trabajo acerca de la paleoecología de comunidades de la taoflora Santa Clara del Triásico Tardío de Sonora. *Revista Instituto de Geología*, Universidad Nacional Autónoma de México, 4(2), 138–154.
- Weber, R., Zambrano-García, A. & Amozurrutia-Silva, F. (1980b). Nuevas contribuciones al conocimiento de la taoflora de la Formación Santa Clara (Triásico Tardío) de Sonora. *Revista Instituto de Geología*, Universidad Nacional Autónoma de México, 4 (2), 125–137.
- White, D. & Guiza, R. (1949). Los yacimientos antimoniales de la región de El Antimonio, Estado de Sonora. *Boletín del Instituto Nacional para la Investigación de los Recursos Minerales*, 23, 1–48.
- Wilson, I.F. & Rocha, V.S. (1946). Los yacimientos de carbón de la región de Santa Clara, municipio de San Javier, estado de Sonora. *Boletín del Comité Directivo para la Investigación de Recursos Minerales (México)*, 9, 1–108.
- Zambrano-García, A. & Weber, R. (1985). Nuevo ensayo de un panorama de la paleoecología de comunidades de taoflora Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora). En: Weber, R., (ed.). *Simposio sobre floras del Triásico Tardío, su fitogeografía y paleoecología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 3° Congreso Latinoamericano de Paleontología: Oaxtepec, Morelos, México, Memoria, 153–163.

## Itinerario de la excursión

Fecha de la excursión: sábado 26 de noviembre, 2022.

Recomendaciones generales para los participantes:

En la zona de la excursión se han registrado temperaturas medias para el mes de noviembre de 18-20°C, pero el clima puede ser impredecible ante la llegada de frentes fríos que pueden provocar lluvias. Se sugiere estar atentos a predicciones del clima para llevar la ropa adecuada. Se hará una caminata de aproximadamente 1.5 km por terreno con topografía suave, que no excede los 150 m de diferencia de altitud. Se recomienda llevar botas, ropa de campo apropiada y líquidos suficientes para hidratación.

Las altitudes regionales por donde se realizará la excursión varían de 500 a 805 msnm.

### *Sábado 26 de noviembre, 2022*

- 08:00 HRS. Salida de instalaciones de la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología UNAM, en Hermosillo, para iniciar viaje de excursión.
- 08:20 HRS. Salida de Hermosillo tomando la carretera internacional 16 hacia el sureste rumbo a Yécora, desviándose en el entronque ubicado a 145 km de Hermosillo por la carretera 129 y continuando unos 3 km hacia el poblado de San Javier.
- 11:00 HRS. Recorrido a pie de las dos últimas unidades litoestratigráficas del Grupo Barranca: Fm. Santa Clara y Fm. Coyotes.
- 12:00 HRS. Regreso al entronque entre las carreteras 129 y 16, para continuar por la carretera 16 hasta La Barranca.
- 12:30 HRS. Recorrido del afloramiento con plantas fósiles de la Fm. Santa Clara.
- 15:30 HRS. Regreso de la Barranca hacia Hermosillo retomando la carretera 16 hasta Hermosillo.
- 18:00 HRS. Llegada a Hermosillo con entrega al lugar de hospedaje de cada uno de los participantes en la excursión.