



Estudio paleobotánico y geológico de las cuencas sedimentarias del Jurásico del Terreno Mixteco¹

María Patricia Velasco-de León²
Diego Enrique Lozano-Carmona²
Miguel Ángel Flores Barragán²
Mildred del Carmen Zepeda-Martínez²
Michelangelo Martini²

Resumen. La región de la Mixteca, en el sur de México, tiene un amplio registro fosilífero en las cuencas que existieron durante el Jurásico (hace 160 millones de años), en donde los fósiles de plantas son uno de los principales elementos. Actualmente, estos terrenos son sierras, debido a que los procesos de nuestro planeta han modificado el relieve. Después de estu-

diar más de dos mil ejemplares de fósiles de plantas, podemos concluir que estas vivieron en climas templados y semitropicales, pero con una deficiencia de agua; además, tuvieron una amplia distribución hacia Sudamérica y Norteamérica. Nuestra investigación también concluye que existieron especies que solo se distribuyeron en esta área.

Palabras clave. Bennettitales, fósiles, Mesozoico, México, Oaxaca, Puebla

¹ Proyecto PAPIIT IN 100721: "Estudio paleobotánico y geológico de las paleocuenas sedimentarias del Jurásico en el Terreno Mixteco"

² Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Correos electrónicos: pativel@unam.mx; diego.lozano@zaragoza.unam.mx; miguelflores@geologia.unam.mx; mildredzm@geociencias.unam.mx; mmartini@geologia.unam.mx.



Introducción

El estudio de las plantas fósiles en México se remonta al siglo XIX;³ sin embargo, el número de paleobotánicos mexicanos es pequeño en comparación con los paleontólogos de animales (vertebrados e invertebrados), y esto provoca que dicha línea de investigación avance con lentitud. Uno de los problemas más importantes al estudiar las plantas del pasado es que difícilmente se fosilizan completas y a menudo solo se encuentran como impresiones y/o compresiones de hojas, frutos, cortezas y/o flores aisladas, aunque con ello nos permiten conocer su morfología (características externas). Cuando las condiciones para la fosilización son ideales, pueden ocurrir permineralizaciones de troncos, hojas y/o frutos, y así podemos observar su anatomía (características internas).⁴ En algunas ocasiones se ha podido inferir con la suma de los diferentes órganos, cómo era la planta completa.⁵

A pesar de estos contratiempos y variables, los paleobotánicos pueden armar estos rompecabezas de la naturaleza y han propuesto eventos muy importantes en la evolución de la vida. Por ejemplo, la colonización del ambiente terrestre

3 Sergio Silvestre Cevallos-Ferriz y Josefina Barajas-Morales, "Fossil woods from the El Cien formation in Baja California sur: Leguminosae". *IAWA Journal*, núm. 15 (1994): 229-245.

4 Carlos Castañeda-Posadas, Carlos, María Patricia Velasco-de León y Diego Lozano-Carmona, "Consideraciones al recolectar y transportar fósiles de plantas". *Paleontología Mexicana* 13, núm. 2 (2024): 93-103. <https://doi.org/10.22201/igl.05437652e.2024.13.2.378>.

5 Christian Pott, Michael Krings, Hans Kerp y Else Marie Friis, "Reconstruction of a bennettitalean flower from the Carnian (Upper Triassic) of Lunz, Lower Austria". *Review of Palaeobotany and Palynology*, núm. 159 (2010): 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.11.004>.

Christian Pott, Wang Xiaoli y Zheng Xiaoting, "Wielandiella villosa comb. nov. From the Middle Jurassic of Daohugou, China: More Evidence for Divaricate Plant Architecture in Williamsoniaceae". *Botanica Pacifica. A Journal of Plant Science and Conservation* 4 núm. 2 (2015): 137-148. <https://doi.org/10.17581/bp.2015.041>.

Diego Enrique Lozano-Carmona y María Patricia Velasco-de León, "Bennettitales from the Middle Jurassic of northwestern Oaxaca, Mexico: Diversity, sedimentary environments, and phytogeography". *Journal of South American Earth Sciences* 110, (2021): 103404. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103404>.

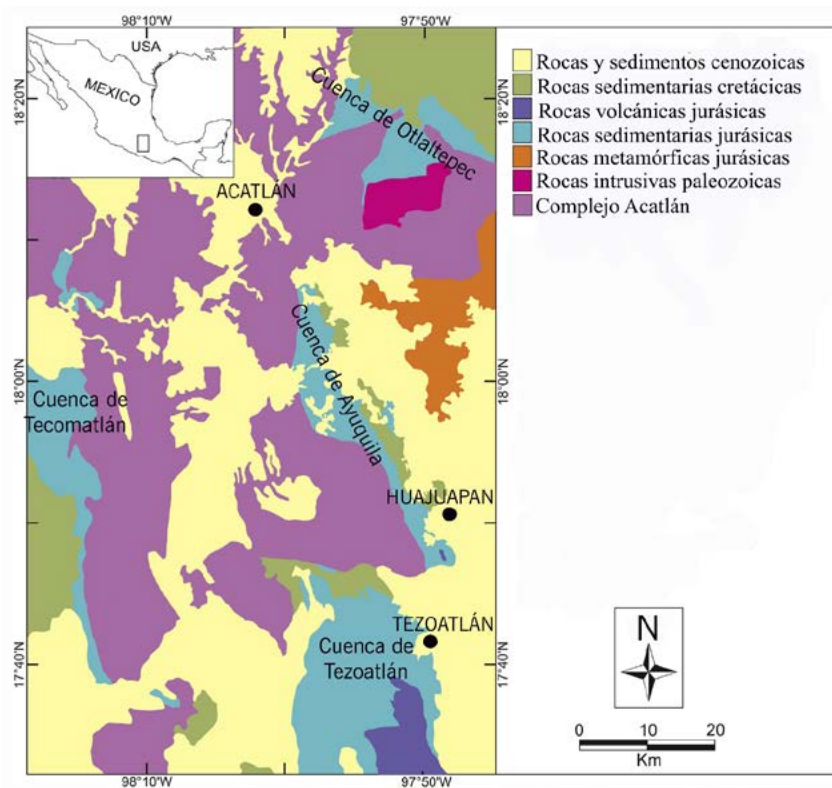
María Patricia Velasco de León, Erika Lourdes Ortiz-Martínez, Miguel Ángel Flores Barragán, Diana Silvia Guzmán-Madrid y Pedro Christian Martínez-Martínez, "New records of Bennettitales and associated flora from the Jurassic of the Cualac Formation, Mexico". *Palaeontologia Electronica* 27, núm.1 (2024): a14. <https://doi.org/10.26879/1293>.

por las plantas hace 470 millones de años (Ma); el origen de las hojas (387 Ma), la aparición de las primeras plantas con semillas (312 Ma) y de las flores (135 Ma). Además, se han elaborado listados paleoflorísticos para estimar diversidades en diferentes tiempos y lugares, lo que ha permitido proponer reinos o provincias florísticas. En la era Mesozoica, comúnmente conocida como la era de los dinosaurios, se ubica el periodo Jurásico (que inició hace 201 Ma y terminó hace 146 Ma).

Las rocas que pertenecen a esta edad afloran en diferentes estados de la actual República Mexicana (por ejemplo, Guerrero, Puebla y Oaxaca) y presentan un amplio registro de fósiles de plantas. Debido a lo anterior, el grupo de trabajo de la Colección de Paleontología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ) e investigadores del Instituto de Geología han estudiado, en localidades de esta edad y estados, los aspectos paleobotánicos y geológicos. Los resultados que presentamos aquí se refieren a la investigación de las cuencas (depresiones donde ocurrió el depósito de sedimentos) del Jurásico en el Terreno Mixteco (figura 1).

El Terreno Mixteco estuvo formado durante el Jurásico por los actuales estados de Guerrero (noreste), Puebla (sur) y Oaxaca (noroeste), y contiene un amplio registro fosilífero de plantas, invertebrados y vertebrados ligado a las cuencas y costas que existieron hace 160 Ma aproximadamente, donde uno de los principales elementos lo constituyen las plantas. Actualmente, lugares como las cuencas que se formaron en el Jurásico y que atestiguan el proceso de fragmentación del margen occidental de la Pangea los podemos admirar como sierras o montañas, puesto que los procesos tectónicos de nuestro planeta han modificado el relieve. A este panorama nos enfrentamos un grupo de paleontólogos y geólogos con el objetivo de contestar algunas preguntas, por ejemplo: ¿las cuencas son regiones que albergan una amplia diversidad? ¿Esta diversidad está influenciada por los procesos tectónicos de la tierra?

Figura 1
 Mapa geológico de la parte sur del estado de Puebla
 y noroeste de Oaxaca



Se muestra el área de estudio; la edad de las rocas se distingue por colores; las cuencas estudiadas son Otlaltepec, Ayuquila y Tezoatlán.

Fuente: elaboración propia.

Para contestar estas preguntas, empleamos diferentes métodos; por ejemplo, se revisó material previamente recolectado y nuevas recolectas de fósiles de plantas en las cuencas de Tezoatlán y Tlaxiaco, en Oaxaca, con el objetivo de buscar nuevos registros y estudiar su distribución espacial y temporal. En cada localidad realizamos mediciones de las secciones estratigráficas, describimos y en algunos casos llevamos a cabo estimaciones de edad por métodos geocro-

nológicos. Los fósiles (dos mil ejemplares) se resguardan en la Colección de Paleontología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, en la Ciudad de México, y otros en el Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería”, en Oaxaca. Ahí el material fue descrito e identificado, se realizaron fotografías para publicaciones, tesis, y presentaciones en congresos; además se organizaron simposios y participaciones en eventos de divulgación. Parte fundamental, fue el trabajo en la publicación de artículos científicos y capítulos en un libro dirigido a estudiantes y docentes de licenciatura del área de Ciencias de la Tierra.

RESULTADOS

Diversidad

Se identificaron más de dos mil ejemplares, lo que dio como resultado dos afinidades genéricas, 18 géneros y 18 especies (tabla 1). Todos estos taxones nos permiten reconocer la diversidad de plantas que existieron en el pasado y que hubo un grupo más abundante durante el Jurásico en México, y corresponde a las Bennettitales (tabla 1 en gris; figuras 5 y 6), las cuales son similares a las Cycadas actuales.

Ambientes de depósito

Entre los resultados principales también podemos comentar que se pudo realizar la propuesta del origen, morfología y evolución de las cuencas,⁶ como se puede observar en la figura 2. En esta se muestra que el parteaguas modificó la dirección de los vientos y la precipitación (flechas azul y amarilla), favoreciendo la precipitación en el dominio sur, lo que permite explicar la abundancia y diversidad de las plantas de las cuencas de este dominio.⁷

6 Zepeda-Martínez y Martini, “La fragmentación de Pangea en el sur de México”.

7 Zepeda-Martínez y Martini, “La fragmentación de Pangea en el sur de México”.

Tabla 1. Relación de las especies de plantas y su registro para cada cuenca sedimentaria dentro del área de estudio

Especie	Dominio norte		Dominio sur	
	Cuenca de Ayuquila	Cuenca de Otlaltepec	Cuenca de Tezoatlán	Cuenca de Tlaxiaco
<i>Equisetum sp.</i>	*			
<i>Helechos sp.</i>	*	*		*
<i>Cladophlebis sp.</i>	*		*	
<i>Gonatosorus</i>			*	
<i>Czekanowskia sp.</i>				*
<i>Sagenopteris colpodes</i>	*			
<i>Sagenopteris nilsonniana</i>	*			
<i>Sagenopteris pualensis</i>	*			
<i>Sagenopteris sp.</i>	*	*	*	
<i>cf. Caytonianthus</i>	*			
<i>Brachyphyllum sp.</i>	*	*		
<i>Pelourdea sp.</i>	*	*		
<i>Agathoxylon sp.</i>		*	*	
<i>Anomozamites angustifolium</i>	*		*	
<i>Anomozamites sp.</i>			*	*
<i>Otozamites hespera</i>	*	*	*	*
<i>Pterophyllum sp.</i>				*
<i>Ptilophyllum acutifolium</i>			*	*
<i>Ptilophyllum sp.</i>	*			
<i>Zamites diquiyui</i>			*	*
<i>Zamites feneonis</i>	*	*		
<i>Zamites lucerensis</i>	*	*		*

Especie	Dominio norte		Dominio sur	
	Cuenca de Ayuquila	Cuenca de Otlaltepec	Cuenca de Tezoatlán	Cuenca de Tlaxiaco
<i>Zamites oaxacensis</i>	*	*	*	*
<i>Zamites tribulosus</i>	*	*		*
<i>Zamites sp.</i>			*	*
<i>Cycadolepis mexicana</i>			*	*
<i>Weltrichia mixtequensis</i>	*	*		
<i>Williamsonia cuauhtemocii</i>				*
<i>Williamsonia netzahualcoyotlii</i>	*	*	*	*
<i>Williamsonia oaxacensis</i>	*			*
<i>Weltrichia huizilopochtlii</i>		*	*	
<i>Williamsoniella rosarensis</i>			*	
<i>Williamsonia xochiteltii</i>	*			
<i>Pseudoctenis</i>			*	
<i>Mexiglossa varia</i>	*		*	*

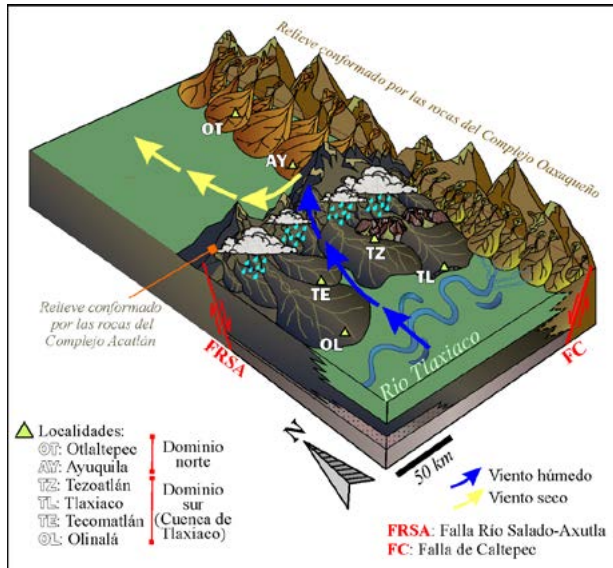
1 El asterisco indica el registro.

2 La clasificación dominio norte y sur es propuesta de Zepeda-Martínez y Martini,⁸ como se verá más adelante.

Fuente: Elaboración propia.

8 Mildred Zepeda-Martínez y Michelangelo Martini, “La fragmentación de Pangea en el sur de México y sus posibles efectos sobre los ambientes naturales del Jurásico y sus ecosistemas”, en Paleobiota y geología del Jurásico del sur de México, coordinado por María Patricia Velasco-de León (FES Zaragoza, 2024), 49-79.

Figura 2
Propuesta del relieve de las cuencas del dominio norte y sur



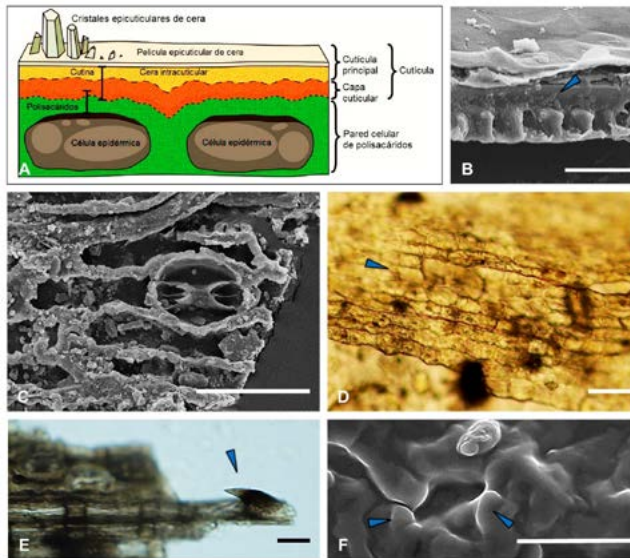
Fuente: Zepeda-Martínez y Martini, 2024.

Aportaciones novedosas

El grupo de trabajo de paleontólogos de la FES Zaragoza ha implementado distintos métodos para recabar más información taxonómica de las plantas. Uno de los casos es el de la cutícula. Esta es una capa cerosa externa que recubre los tejidos de las hojas y otros órganos de las plantas terrestres, formando una barrera protectora contra la pérdida de agua, la entrada de patógenos y la radiación ultravioleta. Esta capa puede quedar en el registro fósil y permite observar características celulares, como la morfología de la pared de células epidérmicas y la de los estomas (aperturas que permiten el intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera). En el caso del Terreno Mixteco, la cutícula tiene relevancia taxonómica y sirve también para inferir el clima pasado. Esta ha sido estudiada en Coniferales, Bennettitales y en un *insertae sedis* denominado *Mexiglossa* (figura 3).⁹

9 Diana Silvia Guzmán Madrid, *Estudio morfológico y cuticular de Mexiglossa varia del Jurásico inferior de la Formación Cuarcítica Cualac, localidad Rosario nuevo, Oaxaca*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (2016). <http://132.248.9.195/ptd2016/no->

Figura 3
Registros gráficos de Bennettitales



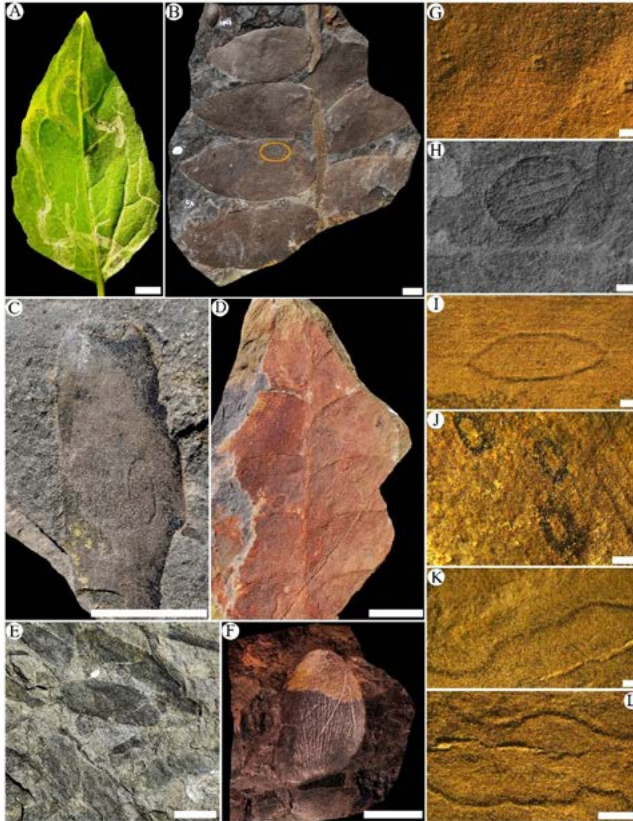
*A esquema lateral de cutícula; B y C ejemplar de bennettital corte lateral y estoma; D células epidérmicas de *Weltrichia magna* (bennettital); E tricoma y F estoma de *Zamites lucerensis*, réplica en caucho de silicon. Escalas: B=10 μ ; C=25 μ ; D, E=20 μ . Tomado de ^{9a} Fuente: Modificado de Martínez-Martínez et al.

Por otro lado, con el fin de analizar las relaciones paleoecológicas sucedidas durante el Jurásico en México, se han estudiado las interacciones entre plantas e insectos, ya sea de alimentación o de parasitismo. En general, los daños causados por los insectos se caracterizan por producir un color más oscuro (necrosis)

[viembre/0753299/Index.html](https://doi.org/10.5437652e.2022.0.6). Diana Silvia Guzmán-Madrid y María Patricia Velasco-de León, “Modificación de técnicas de extracción cuticular en fósiles de plantas triásicas (Cárnico) de la Formación Santa Clara (Sonora, México) y jurásicas (Aaleniano) de la Formación Cualac (Oaxaca, México)”. *Paleontología Mexicana*, núm. 6, Memorias de Congreso, editado por Josep A. Moreno Bedmar (2022): 48. <https://doi.org/10.22201/igl.05437652e.2022.0.6>. ^{9a} Pedro Christian Martínez- Martínez, Diana Silvia Guzmán-Madrid y María Patricia Velasco de León, “Esporas, polen y cutículas: su importancia en el registro de helechos y gimnospermas”, en *Paleobiota y geología del Jurásico del sur de México*, coordinado por María Patricia Velasco-de León (FES Zaragoza, 2024), 223-249.

alrededor del sitio dañado. Para el Jurásico en México se han identificado alimentación en el margen, agallas, minas, oviposición, además de perforación y succión (figura 4).

Figura 4
Daños en plantas causados por insectos



A. Ejemplo de angiosperma actual donde se observa minas en serpentina de diferente grosor; hacia el ápice de la mina de color oscuro los desechos del insecto minador; cerca del ápice, alimentación por agujeros. B. Hoja compuesta de *Zamites* sp. (CFZ Ca-97) donde el círculo indica tres puntos de daño interno (endofítico); en G acercamiento (fotografía tomada con estereoscopio) de posibles punciones y succiones. C. Foliolo coriáceo de *Zamites* sp. (CFZ Ca-341) con daño indefinido; en I acercamiento del mismo ejemplar. D. Hoja compuesta de *Zamites* sp. (CFZ Ca-260), donde se observan varios

foliolos con agallas; en H acercamiento al daño. E. foliolo aislado de *Zamites diquiyui* (CFZ R-96), que presenta una mina ligeramente curva; en K acercamiento al daño. F. Foliolo de *Otozamites* sp. (CFZ Toax-98) con una mina lineal que se dicotomiza. L. Hoja indeterminada (CFZ R-115) donde se observan dos minas paralelas en serpentina. Escala en A-F: 1 cm; en G-L: 1 mm (CFZ es acrónimo de la colección Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, las abreviaturas, por ejemplo, Ca = localidad Cañada Alejandro). Fuente: Elaboración propia.

Por último, en estas cuencas también existieron invertebrados,¹⁰ vertebrados marinos y dinosaurios terópodos,¹¹ saurópodos y anquilosáuridos.¹²

Acceso universal al conocimiento: un caso de éxito, el Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” y sus aportes a la paleobotánica de México

El Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo “Ing. Jorge Jiménez Rentería” (Murno) es un lugar que ha trabajado durante más de quince años como una iniciativa de la comunidad, apoyada en un primer momento por el ingeniero Jorge Jiménez Rentería y posteriormente por la Colección de Paleontología de la FES Zaragoza. Este recinto se encuentra en el municipio de Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca, en donde afloran rocas con registro fósil del Jurásico temprano y medio. El trabajo que se desarrolló en este sitio fue la actualización taxonómica de la colección del museo; es decir, la identificación de las especies de plantas, principalmente de las Bennettiales. En esta colaboración se logró renombrar y reinterpretar como una flor masculina a la especie *Weltrichia huitzi-*

10 Blanca Estela Buitrón Sánchez y Juan Carlos Jiménez López, “Invertebrados de Puebla, Oaxaca y Guerrero, región centro-sur de México”, en *Paleobiota y geología del Jurásico del sur de México*, coordinado por María Patricia Velasco-de León (FES Zaragoza, 2024), 81-99.

11 Jesús Alvarado-Ortega, Jair Israel Barrientos-Lara y Stephanie Pacheco-Ordaz, “Los vertebrados marinos jurásicos de Oaxaca”, en *Paleobiota y geología del Jurásico del sur de México*, coordinado por María Patricia Velasco-de León (FES Zaragoza, 2024), 100-135.

12 Rubén Armando Rodríguez de la Rosa, “Huellas de vertebrados del Jurásico medio de Oaxaca”, en *Paleobiota y geología del Jurásico del sur de México*, coordinado por María Patricia Velasco-de León (FES Zaragoza, 2024), 251-273.

lopochtlii (figura 5). Fue renombrada así debido a que anteriormente se creía que era una flor femenina del género *Williamsonia*.

Además, se logró mostrar la importancia de este museo como un sitio en donde la comunidad del poblado de Rosario Nuevo ha trabajado para la protección de este patrimonio.¹³ Esta información se presentó en la Convención Geológica Nacional 2021 y en el XVII Congreso Nacional de Paleontología. De ese modo, museos como este permiten la reinterpretación del conocimiento paleobotánico del Jurásico en México.¹⁴

En este sentido, la revisión de estas flores femeninas y masculinas del Jurásico en el sur de México nos ha permitido visualizar que su diversidad alcanza hasta quince especies fósiles, siete para el género masculino *Weltrichia*, siete para el género femenino *Williamsonia* y una especie para el género hermafrodita *Williamsoniella*.¹⁵ Además, observamos que en México tenemos las especies más pequeñas y grandes a nivel mundial del género *Weltrichia*; por ejemplo, *Weltrichia huitzilopochtlii*, *W. xochitetlii* y *W. microdigitata* tienen dimensiones que van de 3 a 4.5 cm de diámetro, mientras que la especie *Weltrichia magna* tiene más de 22 cm (figura 6). Esta variabilidad de tamaños nos llama la atención y observamos que su distribución está asociada con las condiciones geográficas y paleoambientales del sur de México.¹⁶ Por ejemplo, la propuesta paleogeográfica del dominio norte (cuencas de Ayuquila y Otlaltepec) y el dominio sur (cuena de Tlaxiaco), los cuales están separados por una cadena montañosa que influyó en las condiciones de lluvia y humedad, siendo el dominio sur más húmedo que

13 Diego Enrique Lozano-Carmona, María Patricia Velasco-de León y Jorge Jiménez-Rentería, “Órganos reproductivos de Bennettitales del Jurásico Temprano de la colección del Museo Geológico Comunitario de Rosario Nuevo ‘Ing. Jorge Jiménez Rentería, Oaxaca, México’”. *Paleontología Mexicana* 13, nú. 1 (2024): 17-33. <https://doi.org/10.22201/igl.05437652e.2024.13.1>.

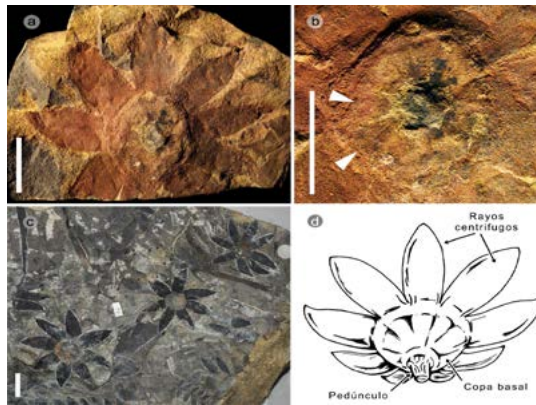
14 Diego Enrique Lozano-Carmona y María Patricia Velasco-de León, “*Weltrichia huitzilopochtlii*: una ‘flor’ masculina del Jurásico del sur de México”, en Libro de resúmenes de la Convención Geológica Nacional 2021 (evento en línea, 2021a). Diego Enrique Lozano-Carmona, “Dos nuevos registros del género *Williamsonia* (Bennettitales, Williamsoniaceae) del Jurásico temprano-medio en Oaxaca, México”, en *Paleontología Mexicana*, núm. 6, Memorias de Congreso, editado por Josep A. Moreno Bedmar (2022):58. <https://doi.org/10.22201/igl.05437652e.2022.0.6>.

15 Lozano-Carmona y Velasco-de León, “*Weltrichia huitzilopochtlii*: una ‘flor’ masculina”; Velasco-de León et al., “Órganos reproductivos de Bennettitales”.

16 Lozano-Carmona y Velasco-de León, “*Weltrichia huitzilopochtlii*: una ‘flor’ masculina”

el norte.¹⁷ A su vez, *Weltrichia magna* se descubrió en el dominio sur, mientras que *Weltrichia xochitetlii* y *W. microdigitata* están en el dominio norte, por lo que se asocian con las diferentes condiciones climáticas. Es posible que esta variación en el clima influyera en el tamaño de estas flores.

Figura 6
Weltrichia huitzilopochtlii combinación nueva



a) Ejemplar numero 19 resguardado en el Murno, visto desde la parte inferior. b) Acercamiento a la copa basal del ejemplar 19; las flechas indican su ornamentación segmentada. c) Ejemplares recolectados por Wieland (1914), en los que se basó para la descripción original como flor femenina de *Williamsonia*. d) Reconstrucción ilustrativa de *W. huitzilopochtlii* comb. nov., donde se puede ver la disposición de los rayos centrifugos unidos a la copa basal y el pedúnculo. Reconstrucción basada en el ejemplar Murno-19. Escala 1 cm.

Fuente: Tomado de Lozano-Carmona et al., 2024.

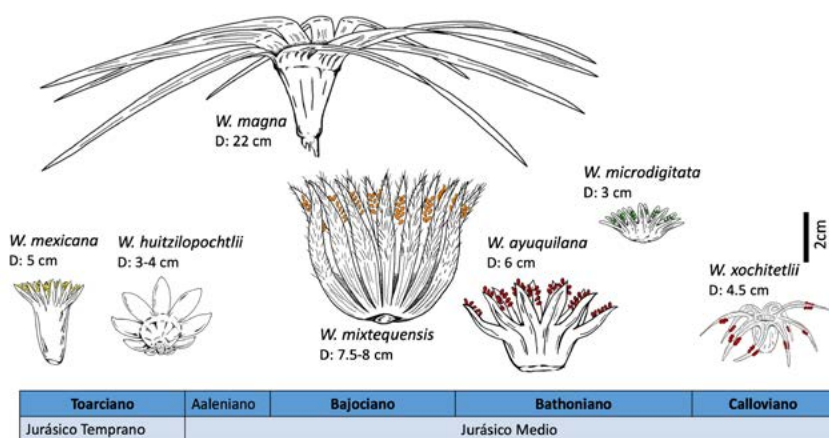
Conclusiones

Después de la exposición de los resultados, podemos contestar a nuestras preguntas diciendo que el tamaño y la forma de las cuencas del Jurásico incidieron directamente en la diversidad y abundancia de las plantas; además, que las cuencas evolucionan de acuerdo con los procesos tectónicos. Esto nos permitió

17 Zepeda-Martínez y Martini, “La fragmentación de Pangea en el sur de México”.

comprender, desde una perspectiva multidisciplinaria, que el Jurásico en el sur de México es una ventana al pasado que nos muestra lo que nos precedió, y hoy, a más de cien años de su constante estudio, sabemos mucho más que antes, pero este es un camino que no se ha recorrido por completo.

Figura 7
Especies del género *Weltrichia* del Jurásico en el sur de México y sus tamaños



Nótese las dimensiones pequeñas de *Weltrichia microdigitata*, *W. huitzilopochtlii* y *W. xochitlilii* en comparación con *W. magna*.

Fuente: Ilustraciones elaboradas por Lozano-Carmona con base en las publicaciones de cada especie.