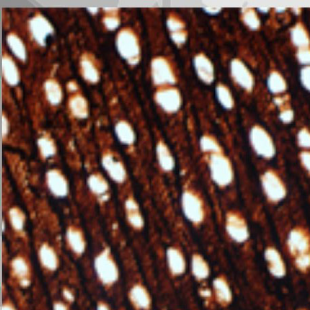
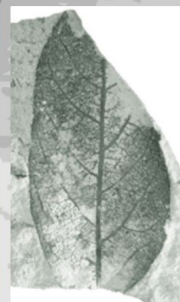
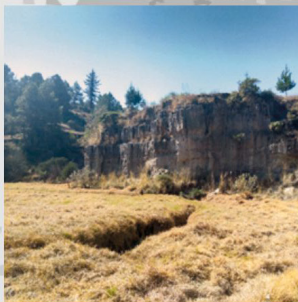


# EL REGISTRO PALEONTOLÓGICO DEL ESTADO DE TLAXCALA

**Carlos Castañeda Posadas**  
**Diana K. Pérez-Lara**  
**J. Alberto Cruz**





EL REGISTRO PALEONTOLÓGICO  
DEL ESTADO DE TLAXCALA



EL REGISTRO PALEONTOLÓGICO  
DEL ESTADO DE TLAXCALA

Carlos Castañeda Posadas  
Diana K. Pérez-Lara  
J. Alberto Cruz

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Dirección General de Publicaciones  
2022

Primera edición: 2022  
ISBN: 978-607-525-868-3

DR © BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
4 sur 104, Col. Centro Histórico, Puebla, Pue. CP 72000  
Teléfono: 222 229 55 00 | [www.buap.mx](http://www.buap.mx)

DR© DIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES  
2 norte 1404, Centro Histórico, Puebla, Pue., CP 72000  
Tels.: 222 229 55 00, exts. 5768  
[www.dgp.buap.mx](http://www.dgp.buap.mx) | [publicaciones.buap.mx](http://publicaciones.buap.mx)

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
Rectora: María Lilia Cedillo Ramírez | Secretario General: José  
Manuel Alonso Orozco | Vicerrector de Extensión y Difusión de  
la Cultura: José Carlos Bernal Suárez | Director General de Publi-  
caciones: Luis Antonio Lucio Venegas

Diseño de portada: Francisco González Bernal | Diseño editorial:  
Israel López Soriano

# Contenido

Resumen	9
Introducción	13
Los bosques húmedos tropicales de Tlaxcala durante el mioceno	19
Los lagos del Plioceno de Tlaxcla	37
El Cuaternario en Tlaxcala: de la Edad de Hielo a principios de la época actual	43
Referencias	59
Autores	69





Agradecemos a Gabriel, Ignacio, José y Juan Castañeda Vázquez, quienes fueron los promotores, patrocinadores, animadores y apoyo personal, para el primer autor, en el desarrollo de las investigaciones paleontológicas en Tlaxcala.

Los autores agradecemos infinitamente a las comunidades del municipio de San Nicolas Panotla y San Esteban Tizatlán, así como a la junta auxiliar de San Francisco Temezontla y San Mateo Huexoyucán, quienes del periodo 2001 al 2019 nos brindaron todas las facilidades y apoyo para la realización del trabajo de campo, así como para el acceso a sus terrenos. Muchas gracias, este conocimiento es suyo.

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo de nuestra formación académica y en particular agradecemos al Dr. Sergio Cevallos Ferriz y al Instituto de Geología (UNAM) por el apoyo académico a Carlos Castañeda Posadas. También agradecemos a la Facultad de Ciencias Biológicas y a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, BUAP, por el apoyo otorgado en el desarrollo de las investigaciones al laboratorio de paleobiología los últimos 15 años.



## Resumen

Los estudios paleobotánicos realizados en el estado de Tlaxcala en los últimos veinte años han cambiado la visión sobre su importancia paleobiológica, que pasó de ser un sitio de recolecta de escasos fósiles del Pleistoceno a ser considerada una región rica en evidencias de la evolución de la flora mexicana en los últimos 15 millones de años (Ma).

Este replanteamiento en la importancia del registro fósil de la región tlaxcalteca se debe a los hallazgos registrados en sus principales localidades, que evidencian los procesos o cambios que ocurrieron en la biota mexicana del Mioceno al Holoceno.

Las localidades más antiguas de Tlaxcala se sitúan en el municipio de Panotla, con una edad del Mioceno medio (15 Ma aproximadamente), en la que se han descrito e identificado maderas permineralizadas.

Estos registros sugieren que en dicha región prosperó una selva alta o mediana perennifolia sobre suelos volcánicos, a alturas menores a los 900 metros sobre el nivel del mar (msnm). También, evidencia del Mioceno medio se encuentra en la región de San Esteban Tizatlán, un sitio paleontológico donde el registro fósil de impresiones de hojas y polen sugiere que existió un bosque mesófilo de montaña alrededor de los 15 Ma atrás.

Para el Plioceno (5.33 - 2.58 Ma), en la mina El Lucero y la mina Santa Bárbara, ubicadas en el centro del estado, cercanas a la comunidad de San Mateo Huexoyucán, afloró un yacimiento fosilífero conformado por una secuencia de estratos laminados, el cual se registra gran número de taxa de diatomeas, resultado de la actividad de un gran lago productivo durante los inicios de la última gran glaciación.

En el Pleistoceno, los registros palinológicos de Acuitlapilco, Tlaloqua y la cuenca Oriental sugieren que durante este tiempo se desarrollaba un bosque templado dominado por pinos (*Pinus*) y encinos (*Quercus*). Para finales del Pleistoceno, la disminución de *Quercus* y el incremento de polen de *Amaranthaceae* (familia del Amaranto) y de otras plantas herbáceas sugieren que la cuenca pudo estar conformada por matorrales, bosques de coníferas y grandes estacionales rodeados de cuerpos de agua. Esta hipótesis es sustentada con los registros de la mastofauna, el polen fósil y el estudio de los suelos antiguos (paleopedología) en San Mateo Huexoyucán, Concepción y Barranca Caulapán.



Yacimiento fosilífero de Panotla, Tlaxcala.  
Fotografía de Carlos Castañeda Posadas.

Aunque en los últimos años ha habido un aumento significativo en el conocimiento paleontológico de la región, aún falta

mucho por descubrir e identificar. Así mismo, es importante consolidar las hipótesis de trabajo mediante publicaciones para despertar el interés por el estudio de los fósiles en el estado de Tlaxcala, por lo que este trabajo intenta ser una lectura recomendada para impulsar la paleontología en el estado de Tlaxcala.



## Introducción

El estado de Tlaxcala se encuentra situado en la parte centro-oriental de la república mexicana, es la entidad de menor tamaño territorial (4,060.93 kilómetros cuadrados), equivalentes al 0.2% del territorio nacional. El estado colinda al norte, sur y este con el estado de Puebla, al noroeste con Hidalgo y al oeste con el Estado de México (figura 1). Tlaxcala se ubica en el Altiplano Central de México, flanqueado en el oeste por los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, y al suroriente por la Matlalcuéytl o Malinche. El clima de la región se caracteriza como templado-semifrío y semi-húmedo, con frecuentes heladas; el área ocupa el extremo norte de la cuenca alta del río Balsas, y de las montañas baja el río Zahuapan (o Atoyac), que atraviesa el territorio estatal (Cazarín-Martínez, 2009).

El territorio del estado de Tlaxcala pertenece a la provincia tectonoestratigráfica Faja Volcánica Transmexicana (FVTM; Suárez-Mota et al., 2013). El pertenecer a esta provincia la describe como una región que presenta grandes rasgos topográficos derivados de actividad volcánica. Esta actividad originada por el proceso de subducción entre las placas tectónicas oceánica (Placa de Cocos) y la continental (Placa Norteamericana) se inició en el Mioceno y perdura hasta la época actual (Gómez-Tuena et al., 2005).

El territorio tlaxcalteca dentro de la provincia de la FVTM pertenece a la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, que a su vez se distingue por tener sierras volcánicas y aparatos individuales que alternan con amplias cuencas lacustres. Bajo estas circunstancias se presentan altitudes desde los 2,200 msnm en las partes más bajas, y altitudes de 4,200 msnm en las partes más altas (Suárez-Mota et al., 2013; INEGI, 2017).



Figura 1. Ubicación del estado de Tlaxcala (punto blanco) dentro de la provincia Faja Volcánica Transmexicana, en la república mexicana. Se observan las provincias tectonoestratigráficas y las placas tectónicas ubicadas en el centro del país.

Estas condiciones topográficas particulares hacen que Tlaxcala presente un mosaico de escenarios bióticos en los que se establecen varios tipos de vegetación y, en ellos, se resguarde una gran biodiversidad. Sin embargo, es una región con escasas investigaciones sobre la diversidad biológica, aunque en su delimitación territorial tenga una de las principales áreas de conservación del país, como es el Parque Nacional La Malinche (Lara-Rodríguez et al., 2015).

El mismo problema de escasa información existe acerca de la historia geológica y paleontológica del estado de Tlaxcala. En relación con los registros paleontológicos, el primer registro fósil oficial para el estado fue el publicado por Osborn en 1921, describiendo un proboscideo llamado *Rhynchotherium tascalae*, de edad del Plioceno (Lucas y Morgan, 2008).

Por tal motivo, el presente trabajo sintetiza la información paleontológica que se conoce para el estado y muestra la impor-



tancia biológica que tiene este conocimiento para la evolución de la biodiversidad mexicana.

### El registro paleontológico en Tlaxcala

Tlaxcala es un estado con gran cantidad de información sobre las culturas prehispánicas, que ha llevado a los antropólogos y arqueólogos a realizar varias investigaciones para conocer y entender la evolución de la sociedad tlaxcalteca. Situación contraria ocurre con la información del acervo paleontológico, pues, aunque es poco conocido, se cuenta con datos a partir de los años sesenta al presente.



Figura 2. Ilustración que representa el momento en que el pueblo tlaxcalteca les muestra a los españoles los fósiles de sus antepasados. Tomado de *Fossil Legends of the First Americans*, dibujo de Heckc (2005).

El registro más antiguo sobre la presencia de fósiles en el estado de Tlaxcala remonta a los relatos de Bernal Díaz del Castillo, de 1521, donde narra que en una plática que sostenía el capitán Hernán Cortés con los caciques o emperadores tlaxcaltecas, mencionan que ellos llegaron a poblar ese territorio por indica-

ciones de sus antepasados, y que ahí existieron otros habitantes muy malos de cuerpos muy altos y grandes huesos (figura 2). Para corroborar esta anécdota, Bernal Díaz narra cómo los tlaxcaltecas les enseñaron los huesos. Al verlos, se sorprendieron, compararon con su estatura y los enviaron a Castilla para que los viese su majestad. Pero como lo describe Adrienne Mayor (2005) en su obra, los huesos parecen ser restos fósiles del proboscideo *Rhynchotherium*, organismo que habitó en América durante el Mioceno-Plioceno (Lucas y Morgan, 2008).

Aunque el primer registro oficial de un fósil para el estado de Tlaxcala es el de Osborn en 1921, describiendo a *Rhynchotherium tascalae* (Lucas y Morgan, 2008), existe una gran ausencia de información “oficial” o científica sobre este tema. Algunos reportes son muy locales y de poca difusión, como los realizados en los años setenta por el proyecto Comunicaciones de la Cuenca Puebla-Tlaxcala, patrocinado por una Fundación Alemana. En este proyecto se realizaron investigaciones paleontológicas, edafológicas y geológicas en la región de Puebla-Tlaxcala, pero entre sus informes se reportan pocos fósiles de vertebrados ubicados en sedimentos del Plioceno y Pleistoceno en el estado de Tlaxcala, así como un análisis palinológico para el Pleistoceno, principalmente cerca del lago de Atlacuapilco. Estos resultados quedaron resguardados por varios años y sin el seguimiento de este megaproyecto.

Sin embargo, la presencia de fósiles de gran tamaño en el estado de Tlaxcala estaba latente en las comunidades del municipio de Panotla, ya que en las descripciones del municipio (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones. Estado de Tlaxcala), así como en revistas de difusión como *México Desconocido*, se menciona que en los cañones o barrancas de las cercanías de Tlaxcala existen veredas con una vegetación abundante y donde es común encontrar grandes fósiles (figura 3).



Figura 3. Portada de la revista México Desconocido y la página donde se menciona la presencia de fósiles en el estado de Tlaxcala.

Estos datos solo confirmaban la gran abundancia de fósiles que existen en el estado de Tlaxcala y que no habían sido estudiados aún por la comunidad científica.

A partir de los años noventa del siglo pasado se comenzaron a realizar las primeras investigaciones con objetivos paleontológicos por personal de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Iztaacala, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estos estudios fueron realizados en la región de San Mateo Huexoyucán y San Simeón. A inicios del 2000 se emprendieron investigaciones paleobotánicas en la región del municipio de Panotla por parte de estudiantes del Instituto de Geología de la UNAM, y a partir de entonces ha comenzado un auge de investigaciones paleontológicas en sus diferentes áreas, en las que intervienen investigadores de la UNAM, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), la Universidad del Mar-Puerto Escondido (Umar) y la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), principalmente.



# Los bosques húmedos tropicales de Tlaxcala durante el mioceno

Recientemente el interés por el origen y diversidad de la flora y fauna mexicana ha puesto en la mira algunas localidades del estado, donde se han encontrado restos fósiles de plantas, algas, invertebrados y vertebrados, y mediante su estudio se podría contribuir a inferir las condiciones ambientales que prosperaron durante el tiempo en que se desarrollaron estas estructuras, así como la diversidad de esos grupos (Poole, 2000; Taylor et al., 2009).

En este capítulo se abordan los escenarios florísticos de la región de Panotla que se han propuesto para el estado durante el Mioceno, para lo cual nos apoyamos en trabajos publicados por diferentes investigadores, así en los resultados que se han obtenido en el Laboratorio de Paleontología de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Esto contribuye a conocer más sobre el origen y la evolución de la flora y fauna actual de Tlaxcala, mediante el entendimiento de los restos fósiles encontrados hasta el momento. En total se tiene el registro de 19 familias, con 25 géneros y 17 especies de plantas, dos géneros de peces, dos géneros de algas y un género de invertebrados.

## El Mioceno tlaxcalteca

De manera general, el Mioceno es una división de la escala de tiempo geológica que pertenece a la Era Cenozoica (figura 4). Esta época comenzó hace 23 Ma y terminó hace 5.3 Ma (Cohen et al., 2020). A inicios del Mioceno el clima era relativamente cálido, con temperaturas de 3-4°C más que en la actualidad (Hansen

et al., 2013), lo que favoreció la diversificación de los tipos de vegetación. Cevallos-Ferriz et al. (2012) considera que durante ese periodo inició la modernización de la vegetación de México (Cevallos-Ferriz et al., 2012; UCPM, 2016).

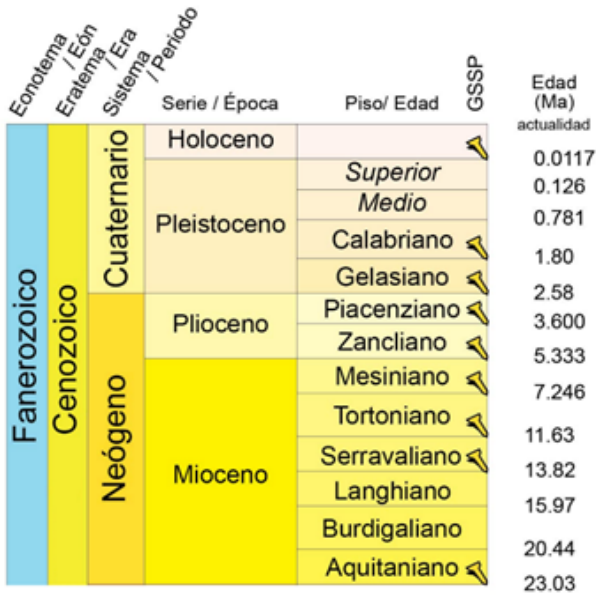


Figura 4. Columna cronoestratigráfica del Neógeno y el Cuaternario, resaltando el Mioceno con las respectivas edades que lo componen (Tomado de Cohen et al., 2020).

Para este tiempo, en México las condiciones geológicas y orográficas eran diferentes a las actuales, estas condiciones permitieron que las reconstrucciones paleogeográficas muestran que el país tuvo el aspecto de una semipenínsula (figura 5), en la que Panotla, y en general el estado de Tlaxcala, se encontraba en la parte sur del entonces territorio mexicano (Cevallos-Ferriz y González-Torres, 2005).

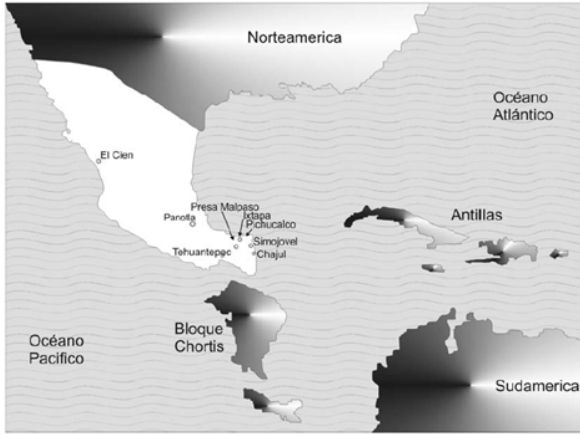


Figura 5. Ubicación de Panotla y otras localidades miocénicas de México (tomado de Castañeda-Posadas, 2007).

Para esta época se han descrito dos localidades fosilíferas en Tlaxcala, de gran importancia en el estudio de la paleoflora; la primera de ellas, conocida como La Mina, ubicada dentro del municipio de Panotla; y la segunda, dentro del municipio de Tlaxcala, conocida como San Esteban Tizatlán (figura 6).



Figura 6. Ubicación de La Mina, marcada con el punto negro, dentro del municipio de Panotla, coloreado de amarillo. De color verde, el municipio de Tlaxcala, señalando con el punto negro la localidad de San Esteban Tizatlán.

## La Mina, Panotla

Se encuentra al norte de San Nicolas Panotla, a 5 kilómetros al noroeste de la capital del estado; es un pequeño sistema montañoso llamado Volcanes Blancos. Respecto a fósiles, dentro de esta localidad han sido recolectadas maderas permineralizadas (figura 7) de gimnospermas (plantas sin flor, como el pino) y angiospermas (plantas con flor).

Para las gimnospermas, Castañeda-Posadas (2004) reporta la presencia de muestras con afinidad al género del granadillo (*Taxus*, *Taxaceae*) y el podocarpo (*Podocarpus*, *Podocarpaceae*; figura 8). Actualmente estos géneros se encuentran en ambientes templados húmedos, y en nuestro país se distribuyen en los bosques de montaña principalmente.



Figura 7. La figura A) muestra La Mina, B) Carlos Castañeda-Posadas sacando una madera del estrato, C) madera embebida en el estrato y D) Alejandro Cristin-Ponciano y Carlos Castañeda-Posadas al lado de una madera in situ. Fotografías de Carlos Castañeda-Posadas.



En el caso de las angiospermas, los únicos trabajos formales describen grupos relacionados con el Cedro (*Cedrela*, *Meliaceae*), Almendro (*Terminalia*, *Combretaceae*; figura 9) y la familia del aguacate (cf. *Hypodaphnis*, *Lauraceae*) y del maple (*Platanaceae*) (Castañeda-Posadas et al., 2009; Pérez-Lara et al., in prep.). No obstante, en varios trabajos de tesis ha sido reportada la presencia de *Lythraceae*, *Myrtaceae*; *Anacardiaceae*, *Sapindaceae*, *Fabaceae*, *Phyllanthaceae* y *Platanaceae* (Bretón-Bermúdez, 2012; Flores-Rocha, 2014; Quintanar-Castillo, 2018).

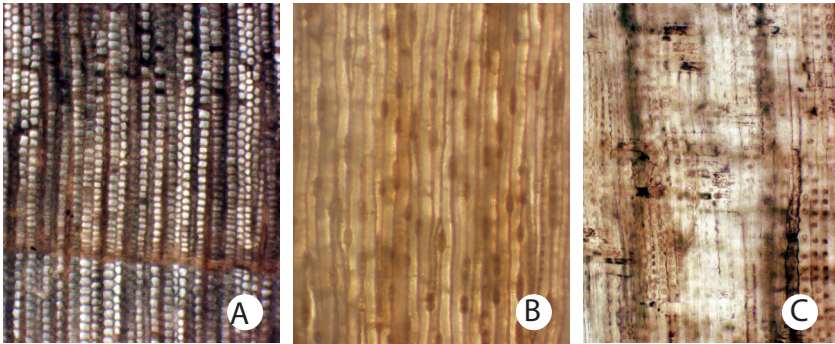


Figura 8. Madera de gimnosperma del género *Podocarpus*, de La Mina, Panotla, Tlaxcala. Fotografías tomadas y modificadas de Castañeda, 2004 A) corte transversal, B) corte longitudinal y C) corte radial.

Los parientes actuales de estas maderas miocénicas se desarrollan en condiciones tropicales, principalmente en comunidades de bosques mesófilos a selvas altas perennifolias (*Cedrela*, *Terminalia*, *Hypodaphnis*, *Platanus*, *Phyllanthaceae*, *Fabaceae*, *Anacardiaceae*, *Sapindaceae*), que son componentes importantes dentro de estos bosques (Cintrón, 1990; Pennington y Sarukhán, 1998; powo, 2019). Con la presencia de estos taxa y guiádonos en las tolerancias ambientales del pariente vivo más cercano, las condiciones bajo las cuales se desarrollaron eran parecidas a las de

un clima tropical, como precipitación media anual de aproximadamente 2000 mm, temperatura media anual por encima de los 20°C y la distribución altitudinal por debajo de los 900 m (límite altitudinal de Terminalia). Aunado a esto, en México la distribución de coníferas (*Podocarpus* y *Taxus*) está restringida a pequeñas áreas; sin embargo, se pueden encontrar en zonas de transición de la selva alta perennifolia (Castañeda-Posadas, 2007).

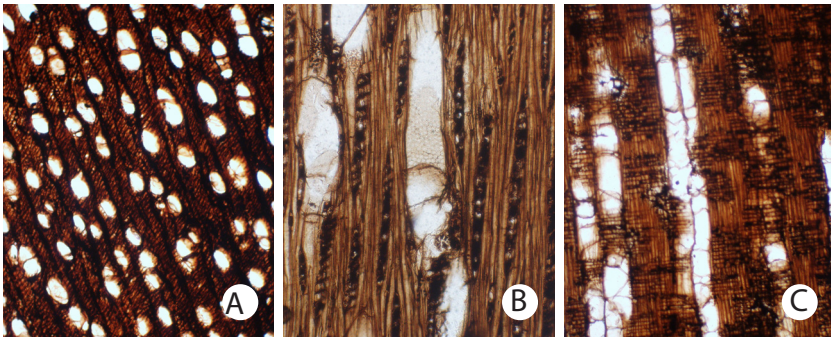


Figura 9. Madera de angiosperma de *Terminalioxylon panotlensis*, de La Mina, Panotla, Tlaxcala. Fotografías tomadas y modificadas de Castañeda, 2004 A) corte transversal, B) corte longitudinal y C) corte radial.

Mediante el empleo de los caracteres presentes en las maderas fósiles que se mencionan con anterioridad, ha sido posible interpretar cuestiones ambientales y estimar variables climáticas como temperatura, precipitación media anual, condiciones de crecimiento y disponibilidad de agua, entre otros, puesto que es bien sabido que la vegetación es un indicador de dichos factores ambientales (Dickison, 1975; Baas, 1982; Woodcock e Ignas, 1994; Wiemann et al., 1998; Traverse, 1999; Martínez-Cabrera y Cevallos-Ferriz, 2008; Martínez-Cabrera et al., 2014).

Se han realizado dos análisis para conocer el posible paleoclima presente durante el Mioceno de Panotla, empleando datos obtenidos con la anatomía de las maderas. Los resultados obte-

nidos en el primer trabajo sugieren que prevaleció un clima cálido-húmedo, con una temperatura entre los 25° y 31° C, una precipitación media anual aproximado de 2200 mm, así como ausencia de temporada seca, condiciones que favorecieron el establecimiento de una selva alta perennifolia (Castañeda-Posadas, 2007). El segundo estudio realizado confirma la afinidad de las maderas con ambientes tropicales y subtropicales, pero sugieren una relación con plantas que actualmente crecen en selvas subcaducifolias o caducifolias (Quintanar-Castillo, 2018).

	Moderno	Mioceno (Análisis de maderas)	Mioceno (Pariente vivo más cercano)
Tipo climático	Templado subhúmedo con lluvias en verano	Cálido-húmedo	Cálido-húmedo
Temperatura	24.3°C	31 +/- 0.6°C	Aprox. 25°C
Precipitación	144 mm	2172 +/- 75 mm	Aprox. <2000 mm
Vegetación	Matorral xerófilo y bosque de pino-encino en las partes más altas.	Posible selva	Selva alta perennifolia (dominada por Terminalia)
Altitud	2200-2300 msnm		900 msnm
Longitud de la temporada de sequía	6 meses	Ausente	Ausente
Origen de los suelos	Ígneo (cenizas)		Ígneo, cenizas

Cuadro 1. Comparación de las condiciones climática actuales con las reconstruidas a partir del empleo de análisis en las maderas fósiles encontradas en la zona (Castañeda-Posadas, 2007).

Con los datos obtenidos para el paleoclima y dado que los parientes vivos cercanos de las plantas reportadas en la localidad se desarrollan en vegetaciones similares, puede sugerirse que las condiciones en las que se desarrolló la flora de Panotla hace 13 Ma eran parecidas a las presentes dentro de un bosque tropical con elementos de coníferas (cuadro 1).

La reconstrucción obtenida a partir del análisis de maderas permineralizadas contrasta con lo que actualmente se puede observar en la localidad (figura 10), puesto que la composición de la vegetación está constituida por bosques de pino-encino y de coníferas, así como una vegetación secundaria, tipo matorral (Rzedowski, 1978).

El clima presente es templado subhúmedo con lluvias en verano y un rango de precipitación media anual de 700 a 1000 msnm, mucho menor que lo obtenido para el Mioceno, y la temperatura media anual varía de los 12 a 16°C (Inafed, 2010), siendo al igual que la precipitación mucho menor a lo estimado para los fósiles.

Estos cambios pueden ser explicados por la actividad volcánica en la región central del país, la cual era alta; además, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Oriental estaban en proceso la formación. Estos factores contribuyeron en el cambio altitudinal, la influencia de la sombra orográfica proyectada por la Sierra Madre Oriental, resultando en un clima más seco (Rzedowsky, 1978; Castañeda-Posadas, 2007). Como ejemplo de estas variaciones podemos observar que las maderas encontradas en Panotla sugieren una altitud máxima de 900 msnm, y actualmente la región se ubica a 2200 msnm, mostrando un cambio de 1300 msnm en los últimos doce millones de años, que coincide con la orogenia de la Sierra Madre Oriental (Castañeda-Posadas, 2007).

Se propone que los bosques tropicales que se infieren con los análisis de las plantas miocénicas de Tlaxcala pudieron desaparecer a causa de la actividad volcánica (figura 10), estableciéndose de esta forma comunidades con predominio de herbáceas

y pocos elementos arbóreos (Onhgemach y Starka, 1978). Esto hace evidente que los procesos geológicos influyen en el ambiente y permiten entender la manera en que las comunidades vegetales responden a través del tiempo. La formación de biomas en el Mioceno estuvo influenciada por la modificación de las condiciones del medio, de esta manera se explica la aparición y desarrollo de selvas secas (Cevallos-Ferriz et al., 2012).

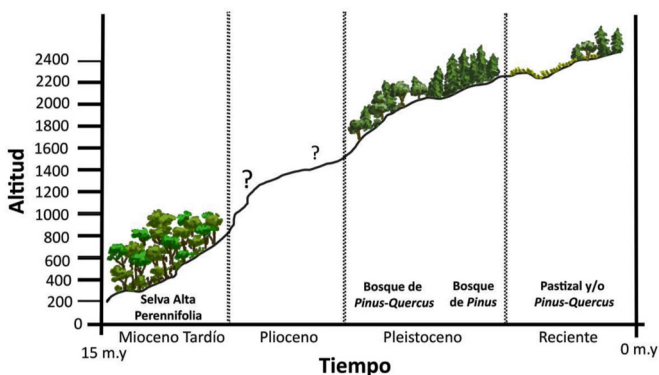


Figura 10. Perfil topográfico que muestra el cambio de altitud y el cambio en la vegetación desde el Mioceno tardío hasta el reciente, con base en la historia geológica, el registro paleobotánico y palinológico de la región de Tlaxcala (Castañeda-Posadas, 2007).

¿Qué otro tipo de fósiles se han encontrado en la localidad?

No solo restos de maderas han sido reportadas en la región oeste del poblado de Techachalco en sedimentos pertenecientes a La Mina, se ha encontrado la presencia de algas; uno de estos grupos cubre su cuerpo de sílice y corresponde a las conocidas como Diatomeas (productoras de Diatomita), organismos eucariontes, unicelulares, cuyo tamaño puede variar entre 10 y 200  $\mu\text{m}$ . En el mismo estrato de las maderas permineralizadas se ha reconocido el género *Epithemia* (figura 11), exclusivo de agua dulce y común en hábitats con cuerpos de agua básicos en cuanto a su pH (Castañeda-Posadas, 2004).

Otro grupo de alga presente son las Charophytas, particularmente estructuras reproductivas conocidas como oogonios. Ubicadas por debajo de los estratos con madera permineralizada, se reconoce la presencia del género *Lamprothamnium* aff. *papulosum* (figura 11). Estas algas ayudan a determinar el tiempo en que se desarrollaron. Las encontradas en La Mina arrojan una edad cercana al Oligoceno-Mioceno. Además, este género es indicador de salinidades relativamente altas. En la actualidad, estas algas se encuentran en lagos en diferentes partes del mundo, así como en mar abierto (Castañeda-Posadas, 2004).

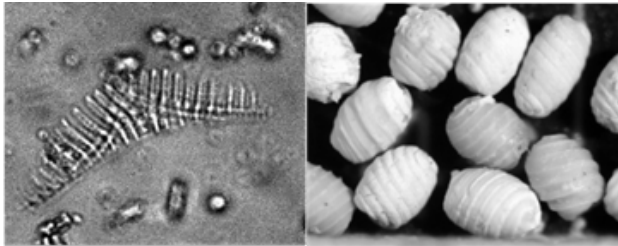


Figura 11. Fotografías de los fósiles de una diatomea (izquierda) y oogonios (derecha) encontrados en los sedimentos de La Mina.  
Fotografía de Carlos Castañeda-Posadas.

Respecto a la fauna, se ha reportado la presencia de grupos de invertebrados y vertebrados. Para el primer grupo se menciona la presencia de ostrácodos, los cuales son crustáceos bivalvos de 3-5 mm largo que se encuentran en agua dulce. De estos invertebrados se han reportado valvas de diferentes tamaños, y al igual que los oogonios, están por debajo del estrato de la madera. Se ha reconocido el género *Limnocythere* (figuras 11 y 12), el cual es indicativo de aguas con una profundidad de más de 1.5 metros (Castañeda-Posadas, 2004).

En el grupo de los vertebrados se pueden encontrar restos de peces como dientes, vértebras, huesos del cráneo, entre otros,

en estratos donde predominan los ostrácodos o aisladamente en otros estratos. Se ha reconocido la presencia del género *Ictiobus* (figura 12), comúnmente llamados matalote o boquín (Castañeda-Posadas, 2004; Guzmán, 2015). Estos grandes peces son filtradores y detritófagos, se encuentra en cuerpos profundos de agua, actualmente habitan grandes ríos y lagos desde Canadá hasta Guatemala. También se han encontrado restos óseos de la mandíbula, dientes, vértebras y cráneo del género *Ictalurus*, comúnmente llamados bagres, los cuales son grandes peces detritófagos, habitantes de grandes ríos, lagos y arroyos desde Canadá hasta Guatemala (Castañeda-Posadas, 2004; Guzmán, 2015).

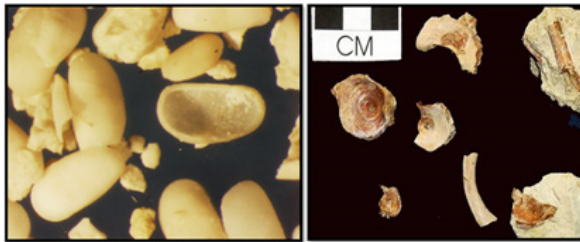


Figura 12. Fotografías de los fósiles de ostrácodos (izquierda) y restos de peces (derecha) encontrados en los sedimentos de La Mina.  
Fotografía de Carlos Castañeda-Posadas.

Por lo tanto, la región de Panotla durante el Mioceno se encontraba cerca de un paleolago, posiblemente salado (dada la abundancia de carofitas), el cual fue disminuyendo su salinidad hasta convertirse en un lago de agua dulce con una profundidad un poco mayor a 1.5 m de profundidad, debido a la presencia de ostrácodos y diatomeas (Castañeda-Posadas, 2004).



### San Esteban Tizatlán, Tlaxcala

En esta zona se ha encontrado gran variedad de hojas fósiles, y se ha reportado la presencia de varias familias de angiospermas (figura 13). A esta localidad se le ha dado una edad aproximada de 12 Ma (edad determinada por Castañeda-Posadas y Moloud Benami por fechamiento de cenizas volcánicas en la localidad), aunque puede ser asignada una edad aproximada de  $15.2 \pm 0.7$  Ma (Silva-Romo et al., 2002).

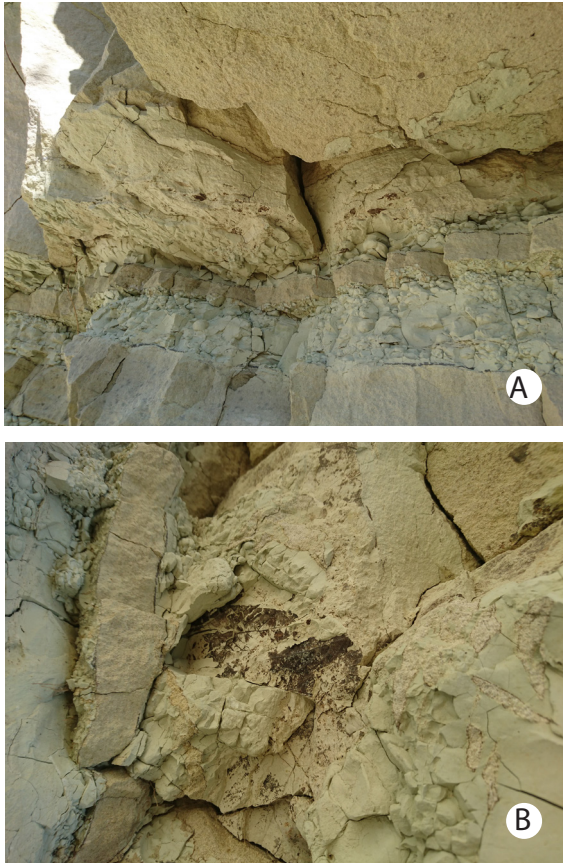


Figura 13. Estrato portador de las hojas fósiles en San Esteban Tizatlán, Tlaxcala. Fotografías de Carlos Castañeda-Posadas.



Los trabajos realizados en San Esteban Tizatlán mencionan la presencia de las familias carricillo silvestre (*Phytolaccaceae*), bejuco blanco (*Meliaceae*), sauce (*Salicaceae*), orégano (*Lamiaceae*), cornejo (*Cornaceae*), michay (*Berberidaceae*), mango (*Anacardiaceae*), sayolistle (*Rhamnaceae*), frijol (*Fabaceae*), hondapara (*Dilleniaceae*) y encino (*Fagaceae*) (Zayas-Ocelotl, 2010; Hernández-Damián, 2010; Domínguez de la Torre, 2013; Zayas-Ocelotl et al., 2014; Centeno-González, 2016).

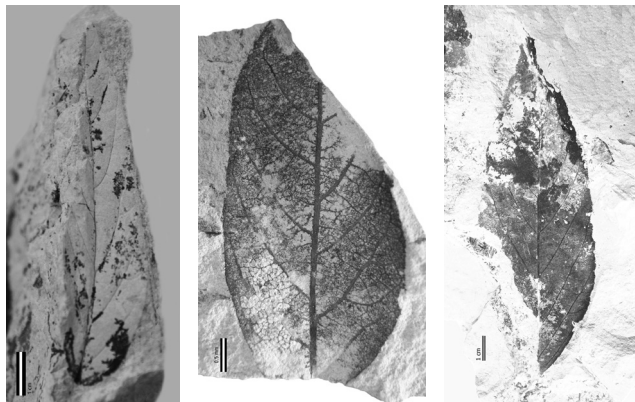


Figura 14. Ejemplares de hojas encontradas en San Esteban Tizatlán, Tlaxcala. A) hoja de *Salix*, B) hoja de *Phytolacca* y C) hoja de *Guarea*.

Los representantes actuales de *Guarea* (*Meliaceae*), *Petiveria* (*Phytolaccaceae*) y *Salix* (*Salicaceae*) (figura 14) sugieren condiciones climáticas con una temperatura cálida y una precipitación abundante o constante, coincidiendo con lo propuesto para la zona de Panotla. Sin embargo, los taxones relacionados con *Lonchocarpus*, *Abarema*, *Pithecellobium* y *Fabaceae* presentan una distribución por encima de los 1000 msnm. *Rhamnus/Karwinskia* (*Rhamnaceae*), *Notopegia* (*Anacardiaceae*), *Cyrtocarpa* (*Anacardiaceae*) (Hernández-Damián, 2010; Domínguez de la Torre, 2013). Estos grupos presentan una amplia distribución

y se encuentran en distintos ambientes, que van desde el Bosque Tropical Perennifolio, Subcaducifolio, Caducifolio, el Bosque Espinoso, Matorral Xerófilo y Bosque Mesófilo de Montaña, por lo que resulta complicado establecer un tipo de vegetación con base en el pariente vivo más cercano.

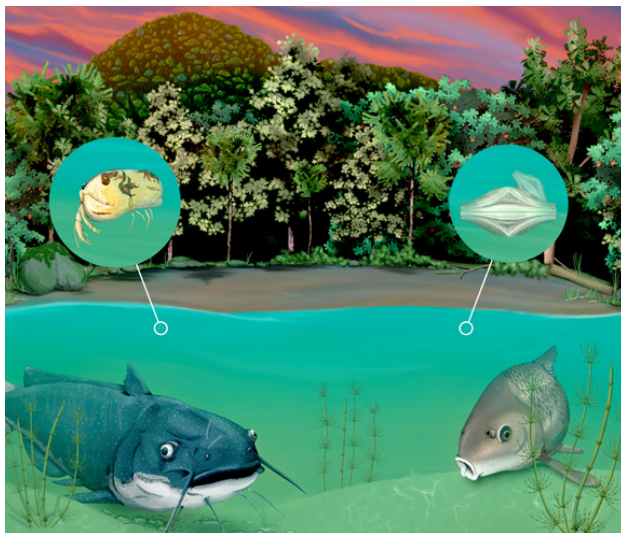


Figura 15. Es la reconstrucción del bosque mesófilo durante el Mioceno de Tlaxcala (Ilustración de Gerardo García Demeneghi).

Al emplear análisis estadísticos y de arquitectura foliar para interpretar las condiciones bajo las cuales se desarrolló la comunidad fósil, se propone que la temperatura media anual era de 21.5°C, y la precipitación media anual de 3000 mm, caracterizando al clima como semicálido. Generalmente este tipo de clima se distribuye sobre zonas montañosas (INEGI, 2011), lo que podría indicar que la paleoflora de San Esteban Tizatlán se desarrolló sobre los 1000 msnm (Domínguez de la Torre et al., 2011; Domínguez de la Torre, 2013).

Los datos obtenidos con estos trabajos muestran un escenario muy distinto al que se observa actualmente en la región (figura 15), como pasa también con la comunidad fósil y actual de Panotla. Hoy en día está presente un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con un tipo vegetación de bosque de coníferas con predominio de herbáceas y arbustos, que forman parte de una vegetación secundaria tipo matorral, que se desarrolla sobre una altitud que va de los 2 200 a los 2 300 msnm (Domínguez de la Torre, 2013).

Con base en la información paleontológica disponible, la evolución de las comunidades de plantas en la región de Panotla inicia con el desarrollo de un bosque tropical perennifolio que sufre transición hacia un bosque mesófilo de montaña, que pasa a ser un bosque de pinus-quercus hasta lograrse el bosque dominado por Pinus. Posteriormente estos bosques desaparecieron para dar a paso a una comunidad dominada por herbáceas con pocos elementos arbóreos que se pueden ver hoy en día.

Lo anterior es un claro ejemplo de cómo los procesos geológicos influyen en el ambiente para modificar los tipos de vegetación, dando como resultado el paisaje y las condiciones que existen hoy en día en San Esteban Tizatlán (Domínguez de la Torre, 2013).

La recopilación de los trabajos presentados en este libro demuestran que las hipótesis propuestas por distintos autores se apoyan mutuamente y que el cambio climático puede estar asociado con el incremento en altitud de la Faja Volcánica Transmexicana, un evento que restringió la distribución de muchos grupos considerados actualmente de distribución tropical, de aquellos restringidos de las montañas y tierras altas de México (Guenther y Bunde, 1973; Onhgemach y Starka, 1978; Castañeda-Posadas, 2007, Hernández-Damián, 2010; Domínguez de la Torre, 2013).

La disminución de la temperatura y humedad puede relacionarse con otros procesos, tales como el desarrollo de la Sierra Madre Oriental, que al aumentar su altitud generó un efecto de

sombra orográfica captando de esta forma la mayor parte de la humedad que pudiera provenir del Golfo de México, y disminuyendo con ello la humedad en el centro y altiplano mexicano. También la formación del Istmo de Panamá pudo tener un fuerte impacto sobre las condiciones de humedad, al interrumpirse las corrientes cálidas de agua superficial entre el Océano Atlántico y el Pacífico, disminuyendo aún más la humedad en el centro de México, que dejaba de ser una península para dar paso a la configuración del continente americano que existe hoy en día.

Los trabajos que se han realizado con fósiles del Mioceno tlaxcalteca muestran distintos ambientes a pesar de que las localidades de Panotla y San Esteban Tizatlán probablemente fueron contemporáneas, ya que en los últimos 12 millones de años han ocurrido cambios geológicos, fisiográficos y biológicos en la parte central de México debido al desarrollo de la Faja Volcánica Transmexicana, los cuales tuvieron consecuencias en el incremento de la altitud, temperatura y precipitación. Es bien conocido que estas características influyen en la vegetación.

Las maderas fósiles sugieren un ambiente tropical/subtropical con dos escenarios: el primero, con la presencia de una vegetación tipo selva alta perennifolia o un intermedio entre bosque mesófilo de montaña y una selva tropical conformada por representantes de las familias Combretaceae, Meliaceae, Lauraceae y Leguminosae en una sola comunidad; el segundo escenario, con plantas que actualmente crecen en selvas subcaducifolias o caducifolias. Sin embargo, los cambios geológicos en el centro del país pudieron influir en las condiciones del medio, propiciando el desarrollo de vegetaciones con características tanto de selvas altas y bajas, con elementos perennifolios a caducifolios y bajo condiciones de humedad variables; esta mezcla de condiciones no se encuentra hoy en día en ningún tipo de vegetación.

La presencia de plantas miocénicas con similitud bastante cercana a grupos actuales como son Anacardiaceae, Phyllan-

thaceae y Sapindaceae concuerda con la idea del incremento de similitud morfológica entre fósiles y plantas actuales durante esta época, además de apoyar la hipótesis de la modernización florística durante el Mioceno, la cual dio pie a la vegetación actual.

La presencia de las algas, los ostrácodos y los peces fósiles indican que durante el Mioceno de Tlaxcala, junto con la vegetación de tipo tropical y subtropical, existía un cuerpo de agua importante cercana a las localidades.

Finalmente, estos estudios paleontológicos ofrecen evidencias sobre los cambios en las comunidades de plantas de últimos millones de años, de presentarse un bosque tropical a bosques de coníferas, luego dominancia de pastizales y finalmente el aspecto xérico que presenta hoy.



## Los lagos del Plioceno de Tlaxcala

El Plioceno es una época muy importante para la diversidad de México. Esta época dura de los 5.3 a los 2.5 Ma (Cohen, 2020) (figura 16), y está llena de grandes eventos continentales que llevaron al principio de la regionalización o provincialismo de la fauna mexicana antes de la glaciación del Pleistoceno.

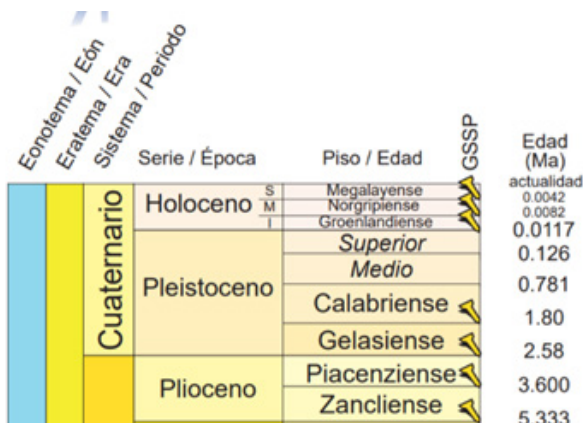


Figura 16. Edades geológicas del periodo Cuaternario y el Plioceno en Norte América. GSSP, Estratotipo Global del Límite (Global Boundary Stratotype Section and Point) (Modificado de Cohen et al., 2020).

El Plioceno es considerado el episodio donde se establecieron las grandes barreras biogeográficas del país (Web, 1977), donde surgió el Istmo de Panamá a los 3.5 millones de años, y donde se dio el cambio de las condiciones climáticas tropicales a condiciones más secas y frías, como consecuencia del inicio de la glaciación nebraskense (Berggren, 1972; Lundelius et al., 1987). Estos factores abióticos influyeron mucho en la diversidad de la flora y

fauna de esta época, provocando migraciones, extinciones y divergencia de muchas especies. Sin embargo, poco es el registro que se tiene en el estado de Tlaxcala acerca de la influencia de estos cambios en la biodiversidad.

### Los sedimentos lacustres pliocénicos de Tlaxcala

Es común encontrar en los mapas geológicos del estado de Tlaxcala los sedimentos pliocénicos que se distribuyen en la parte central y poniente del estado (figura 17). Sin embargo, son escasos los trabajos o reportes sobre trabajos paleontológicos o geológicos que hablen de la formación, evolución o significado que tienen estos yacimientos.

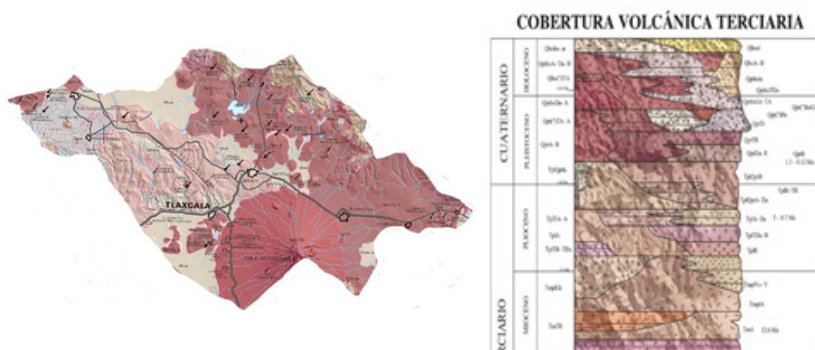


Figura 17. Mapa geológico de Tlaxcala mostrando los parches de rocas lacustres pliocénicas (colores morado claro), lado poniente del estado (Servicio Geológico Nacional, 2008).

Las investigaciones paleontológicas más sobresalientes para el Plioceno de Tlaxcala son los estudios paleontológicos realizados en las minas de diatomita El Lucero, Santa Barbara y San Simeón (figura 18). Estas investigaciones comenzaron a realizarse por Roberto Rico, profesor de la Facultad de Estudios Superiores-Iz-



tacala de la UNAM en la década de los noventa del siglo pasado. Las minas en un inicio estaban ubicadas estratigráficamente como sedimentos lacustres de Tlaxcala, con una edad Plioceno-Pleistoceno por no tener dataciones directas, solo por asociaciones faunísticas fósiles de la megafauna, encontradas en horizontes cercanos a las localidades (Rico-Montiel et al., 1993). Por el avance de los años y el interés de un grupo de investigadores alumnos de Rico, estos sedimentos fosilíferos han aportado información sobre el Plioceno de Tlaxcala.



Figura 18. Entrada en la mina de diatomita El Lucero (izquierda). Interior de la mina mostrando el laminado de la estratificación.

Entre los resultados importantes que se tienen para estos sitios con sedimentos diatomáceos están sus laminados, ricos en arcillas y cenizas volcánicas. Muestran la presencia de un gran paleo lago de cuenca datado para el Plioceno, aproximadamente 2.6 Ma (Vilaclara et al., 2010). Se trata de un lago de agua dulce, alcalino y mesoeutrífico, con una profundidad somera.

La evolución de este lago muestra parte de la actividad geológica del centro del país. Un gran lago llamado Aztlán, originado en el Eoceno-Oligoceno (Silva-Romo, 2001), se fraccionó en peque-

ñas cuencas que se fueron estrangulando derivado de la elevación de los terrenos y cierre de cuencas, producto del levantamiento de la Faja Volcánica Transmexicana.

Los sedimentos pliocénicos de Tlaxcala muestran la evolución de lagos salobres a lagos profundos; en condiciones normales, sería por el aporte de alta humedad. Pero en este caso es posiblemente derivado de la estrangulación de las cuencas por los cambios geomorfológicos derivados de la actividad volcánica y el nacimiento de los volcanes de alrededor, como la Malintzi o Tlaloc (Miranda 1994).

La evidencia geológica indica que para inicios del Plioceno se produjo un doble fallamiento tectónico en la zona de Tlaxcala y Tetlatlauca. Este evento geológico provocó una fractura de la corteza, que dio lugar a una actividad volcánica de composición basáltica, la cual formó los conos eruptivos más recientes, así como tobas arenosas. Para el Plioceno superior, las emisiones volcánicas disminuyeron y se depositaron solo tobas y sedimentos de abanicos aluviales sobre los sedimentos lacustres (Comisión del Agua, 2015).

### Otros vestigios del Plioceno de Tlaxcala

La vegetación que dominaba en el Plioceno de Tlaxcala está muy poco estudiada, solo existen registros derivados del proyecto Comunicaciones Puebla-Tlaxcala, realizado en los años setenta del siglo pasado (Mooser, 1990). En ellos se propone que al inicio del Plioceno en la región se encontraba una establecida comunidad arbórea compuesta de los géneros *Pinus*, *Alnus*, *Bursera*, *Engelhardtia* y *Quercus*, y que para el Plioceno superior la vegetación cambió a una vegetación con condiciones de mayor humedad, compuesta por *Alnus*, *Quercus*, *Pinus*, *Bursera* y *Fraxinus Liquidambar*. Sin embargo, la humedad representada en esta comunidad vegetal puede no tener las condiciones climáticas

regionales, sino que esta humedad puede ser influenciada por los cuerpos de agua presentes en la región de Tlaxcala (Mosser, 1990).

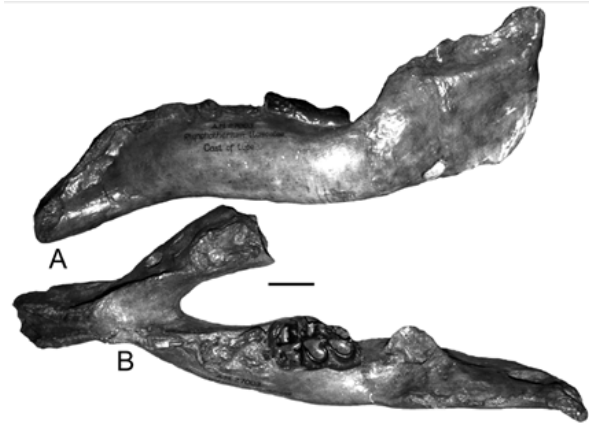


Figura 19. Réplica de yeso del holotipo de *Rhynchotherium tlascae* (Osborn, 1918, AMNH 27003). A) mandíbula inferior en vista lateral y dorsal, B) escala = 10 cm (Lucas y Morgan, 2008).

En cuanto a la paleontología de vertebrados, solo se conoce el registro de *Rhynchotherium tlascae* (Lucas y Morgan, 2008) (figura 19), el cual se distribuye en California, Arizona, Nuevo México, Texas y Florida, en Estados Unidos, y en México ha sido reportado en Sonora y Tlaxcala (Lucas y Morgan, 2008); y si se considera al *Rhynchotherium tlascae* como sinónimo de *R. blicki*, su distribución llegaría hasta Honduras, Costa Rica, El Salvador y Guatemala, en Centroamérica (Behrensmeyer y Turner, 2013). El género *Rhynchotherium* tiene su origen en Centroamérica (Lucas y Morgan, 2008; Lucas y Alvarado, 2010; Lucas, 2013); sin embargo, no se conoce más sobre el registro de *Rhynchotherium tlascae* en el estado de Tlaxcala.



Figura 20. Reconstrucción del paleoambiente durante el Plioceno de Tlaxcala con la presencia de grandes lagos (Ilustración de Gerardo García Demeneghi).

# El Cuaternario en Tlaxcala: de la Edad de Hielo a principios de la época actual

El Cuaternario es el último periodo de la historia geológica del planeta, y permite explicar patrones y procesos del pasado mediante el principio de uniformitarismo. Este principio sugiere que los procesos del pasado muy probablemente son los mismos procesos que se observan actualmente (Stewart y Cooper, 2008). Sin embargo, durante este periodo ocurren importantes cambios ecológicos y climáticos, siendo un periodo extremadamente dinámico (Hofreiter y Stewart, 2009; Stewart y Cooper, 2008).

El Cuaternario está formado por dos épocas: el Pleistoceno y el Holoceno. El Holoceno abarca desde los 11700 años al presente (AP) (Cohen et al., 2020). Esta época es climáticamente estable si la comparamos con su predecesora, el Pleistoceno, la cual abarca desde los 2.588 Ma AP hasta los 11700 años AP (Head et al., 2008; Cohen et al., 2020) (figura 20).

El Pleistoceno, la transición Pleistoceno-Holoceno y las fluctuaciones climáticas durante el Holoceno son excelentes periodos de tiempo para estudiar los cambios en la biota frente a cambios climáticos importantes (Meadows, 2014). También permiten comparar el efecto de la biota con la ausencia y la presencia del hombre en Norteamérica (Seddon et al., 2014; Jackson y Blois, 2015).

El Pleistoceno se caracterizó por presentar oscilaciones climáticas intensas con cambios en la temperatura arriba de 15 °C en lapsos muy cortos (Hofreiter y Stewart, 2009). Grandes masas de hielo en los polos, principalmente en el hemisferio norte, que cubrían gran parte de Eurasia y Norteamérica (figura 16), perio-

dos de climas fríos y cálidos en intervalos irregulares y con diferente duración y grandes mamíferos, como mamuts, perezosos gigantes y tigres dientes de sable (Hofreiter y Stewart, 2009) (figura 21).

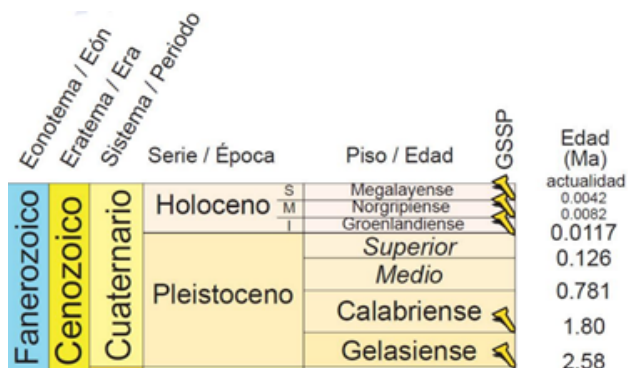


Figura 21. Edades geológicas del periodo Cuaternario en Norteamérica. GSSP, Estratotipo Global del Límite (Global Boundary Stratotype Section and Point) (Cohen et al., 2020).

Para el Pleistoceno, el Último Máximo Glacial (UMG) fue una de las épocas más interesantes y mejor estudiadas por ser la glaciación más reciente. Comprende desde los 33000 a los 19000 años AP (Clark et al., 2009), dividido en dos etapas: entre los 33000-26500 años y los 26500-19000 años AP. Durante los 6500 años de la primera etapa, el crecimiento del casquete polar llegó a su máxima posición en respuesta al decremento de la insolación durante el verano, la disminución de la temperatura de la superficie de la parte tropical del Océano Pacífico y la reducción de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Posteriormente, en la segunda etapa (26500-19000 años AP) el casquete tuvo su Último Máximo Glacial (UMG) en un periodo estable con cambios mínimos de los forzamientos climáticos antes mencionados (Clark et al., 2009).

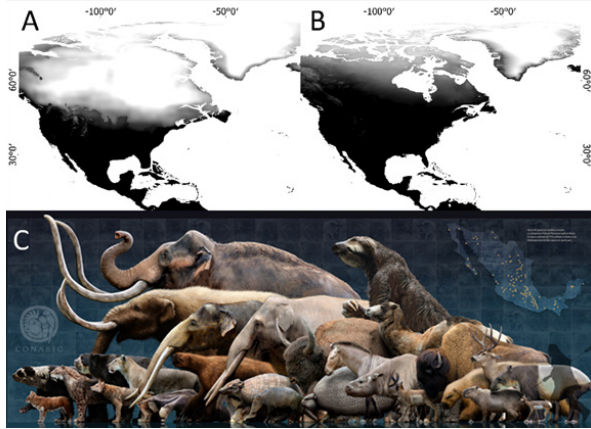


Figura 22. El Cuaternario a través del tiempo. A) en el pasado, en el Pleistoceno durante épocas glaciares, como el UMG, el glaciar (blanco) cubría gran parte de Norteamérica, B) siendo mucho más grande que en la actualidad, durante el Holoceno, donde se encuentra restringido principalmente en Groenlandia. C) Durante el Pleistoceno habitó en México una gran cantidad de organismos extintos de gran tamaño, denominados megafauna.

(Imagen de la megafauna tomada de Conabio, 2015).

En la compilación de los estudios sobre el UMG del centro de México (Caballero et al., 2010) se divide en glacial temprano (más de 23000 años cal AP) y glacial tardío (23000-12000 años cal AP (Caballero et al., 1999).

Las condiciones en el glacial temprano para el centro de México (35000-23000 años cal AP) indican temperaturas entre 5-6 °C más bajas que las condiciones actuales. Se dio un deslizamiento 1000 m debajo de la línea actual de los glaciales de montaña, y los bosques de coníferas estuvieron dominados por *Pinus* con grandes extensiones de pastizales (Metcalf et al., 2000).

El glacial tardío mostró las mismas características que el glacial temprano. La diferencia está en que los registros de Tlapacoya, Estado de México, tuvieron con temperaturas menores de 18°C y una precipitación menor de 500 mm (Metcalf et al., 2000,

Metcalfe, 2006; Caballero et al., 2010; Israde et al., 2010). Los datos del UMG en el norte del país incluyen el glacial temprano y tardío entre los 33000-12000 años AP, indicando que el clima durante esta etapa fue 5-6 °C más frío que el actual, con veranos más fríos. Hubo una mayor precipitación en invierno (figura 22) y una ampliación de los bosques de *Pinus* y *Juniperus* 400 km al sur de su distribución actual, y con un desplazamiento altitudinal hasta los 800 m (Metcalfe et al., 2000; Metcalfe, 2006).

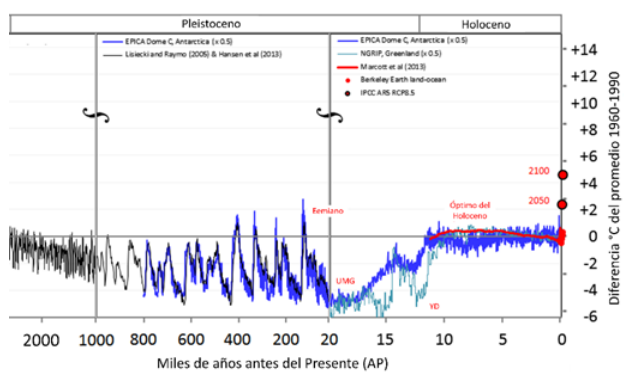


Figura 23. Estimación de la diferencia de temperatura respecto al promedio de 1960 a 1990 basados en EPICA, NGRIP, IPCC, Berkeley Earth; a través del Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno) durante los últimos 2.6 millones de años. Se remarcan el Eemiano (penúltimo interglaciar antes del Holoceno), el UMG, el Younger Dryas (último periodo frío antes del Holoceno), el clima óptimo del Holoceno y las proyecciones a futuro (2050-2100) ante un cambio climático antropogénico (modificado de Fergus, 2014).

Durante el Pleistoceno, la presencia de megafauna fue uno de los aspectos más relevantes. En México, el registro de megafauna es amplio y se extiende en todo el país (Ceballos et al., 2010; Ferrusquía-Villafranca et al. 2010; 2017) (figura 21). Se cree que la megafauna pudo influir en la formación de comunidades vegetales no análogas con el presente.



En el Pleistoceno existió una estructura de la vegetación en mosaico, contraria a la vegetación en franjas encontrada actualmente (Guthrie, 1984; Johnson, 2009a, 2009b; Gill et al., 2009, 2012, 2014; Faith, 2011) (figura 23). Estos cambios en la estructura de vegetación tan marcados entre el Pleistoceno y el Holoceno se pudieron deber a la extinción de la megafauna, al clima o a ambos (Guthrie, 1984; Johnson, 2009a, 2009b; Gill et al., 2009, 2012, 2014; Faith, 2011), permitiendo la presencia de comunidades no análogas a la estructura vegetal durante el Pleistoceno (figura 23), tal como se había predicho con análisis de polen anteriormente (Gill et al., 2009, 2012, 2014; Correa-Metrio et al., 2011, 2012a, 2012b, 2013), lo que pudo provocar que se encontraran diferentes comunidades de fauna actual en el pasado, reunidas en un mismo sitio (Guthrie, 1984).

Los registros paleoambientales son importantes porque juegan un papel importante para entender el sistema climático de la Tierra, tanto en el pasado como en el presente, para así poder predecir cambios climáticos del futuro (Fitzpatrick et al., 2009). En México se han realizado reconstrucciones paleoambientales para el Pleistoceno en el norte del país (Metcalf, 2006), en la Faja Volcánica Transmexicana (Heine, 1994; Caballero et al., 1999, 2003, 2010; Ortega-Guerrero et al., 2000; Sedov et al., 2001, 2009, 2010; Lozano-García, 2004, 2005; Israde-Alcántara et al., 2005, 2010a, 2010b; Lounejeva-Baturina et al., 2006; Metcalf, 2006; Piperno et al., 2009; Roy et al., 2009) y en la península de Yucatán, incluyendo a Guatemala (Buccheri, 1980; Leyden et al., 1994; Metcalf et al., 2000; Hillesheim et al., 2005; Hodell et al., 2008; Bush et al., 2009; Correa-Metrio et al., 2012; Cruz et al., 2016). Dichas reconstrucciones se han basado en el análisis de polen, diatomeas, ostrácodos, moluscos, química e isótopos de sedimentos, registros glaciales, madrigueras de *Neotoma*, microfósiles de plantas (Metcalf et al., 2000; Metcalf, 2006) y pequeños vertebrados.

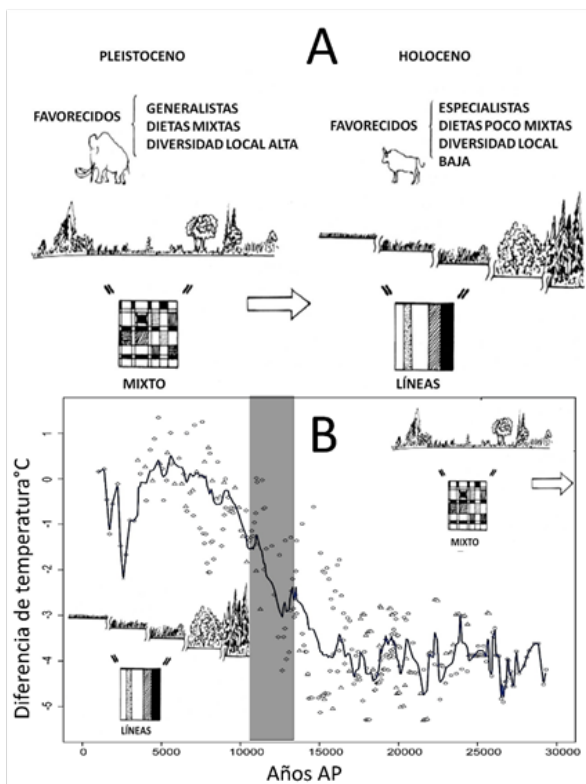


Figura 24. Tipos de estructura de la vegetación durante el Pleistoceno y el Holoceno. A) Se infiere que en el pasado (Pleistoceno) la vegetación en Norteamérica era en mosaico, es decir, había mezclas de las comunidades vegetales que encontramos actualmente (Holoceno), lo cual favorece organismos con diferentes características. B) La diferencia de la estructura de la vegetación pudo deberse a la extinción de la megafauna (barra gris) o al cambio climático (línea negra), como se observa en el Lago de Chalco, o una combinación de ambos factores (modificado de Guthrie, 1984; y Correa-Metrio et al., 2013).

En este capítulo se recopiló información existente en geología, micropaleontología, paleobotánica y paleomastozoología del estado de Tlaxcala durante el Cuaternario, para establecer los cambios en el paisaje de varias zonas de Tlaxcala hace miles de años, para lo cual se consultó la literatura disponible hasta el momento.

## Estudios paleontológicos en Tlaxcala

Los estudios realizados en Tlaxcala para el Cuaternario se han enfocado principalmente en estudios de ocho localidades (cuadro 4) que se enfocan en estudios geológicos y paleobotánicos que involucran el estudio de polen fósil, y en estudios paleomastozoológicos que se enfocan en megafauna. Las localidades paleontológicas se encuentran en la parte centro y sur del estado de Tlaxcala (figura 24), dejando sin estudiar la parte norte, este y el extremo oeste del estado.

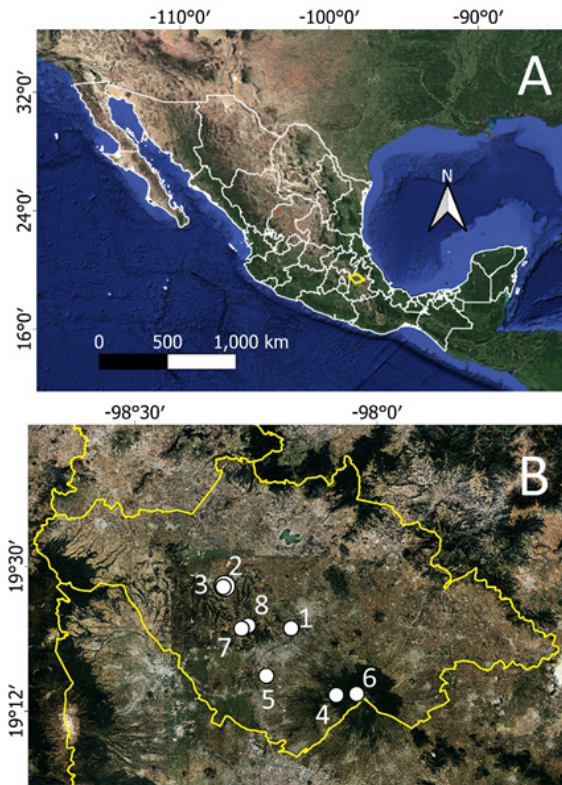


Figura 25. Localidades paleontológicas del Cuaternario de Tlaxcala. A) Ubicación del estado de Tlaxcala (amarillo) en la república mexicana (blanco). B) Localidades paleontológicas (círculo blanco) en Tlaxcala. Los números de las localidades corresponden al cuadro 4.

ID	Localidad	Estudio	Periodo	Edad	Publicaciones
1	Atlihuetzia	Paleozoología	Pleistoceno	ND	Contreras-López, 2018
2	Barranca Tlalpan	Geología	Pleistoceno-Holoceno	38,160±5,880 – 1,310±35	Ortega-Guerrero et al., 2004 Sedov et al., 2009 Solis-Castillo et al., 2012
3	Concepción C	Geología	Pleistoceno-Holoceno	51,798-10,490	Solis-Castillo et al., 2012
4	Cráter Tlaloc	Paleobotánica	Holoceno	9,000 – 3,000	Ohngemach, 1977 Straka y Ohngemach, 1986
5	Lago Acuitlapilco	Paleobotánica	Holoceno	1000	Straka y Ohngemach, 1986
6	Malinche	Glaciología Paleobotánica	Pleistoceno-Holoceno	38,895±1200 – 5,750 ± 280	Heine, 1988, 1994 Caballero et al., 2010
7	San Mateo Huexoyucan	Geología Paleozoología	Pleistoceno	51,798 - 47,650	Solis-Castillo et al., 2012 Sánchez-Salinas et al., 2016, 2020 Castillo-Rodríguez, 2018
8	San Tadeo	Geología Paleozoología	Pleistoceno	24,051 – 16,764	Sedov et al., 2009 Solis-Castillo et al., 2012 Ramírez-Cruz y Montellano-Ballesteros, 2014

Cuadro 2. Localidades paleontológicas del Cuaternario estudiadas en Tlaxcala, con la posible edad y citas de trabajos realizados.

De las ocho localidades, sólo Atlahuetzia no tiene una edad absoluta, lo que es importante desde un punto de vista paleoambiental, para poder determinar si corresponde a un periodo glacial (frío) o interglacial (cálido). Los estudios geológicos son los más representados en cuatro localidades de Tlaxcala, les siguen los estudios paleobotánicos y paleozoológicos realizados en tres localidades, y finalmente los estudios sobre la historia glacial del volcán de la Malinche (cuadro 4). Sin embargo, existen trabajos multidisciplinarios en la Malinche que involucran trabajos paleobotánicos y estudios glaciares, y en las localidades de San Mateo Huexoyucan y San Tadeo existen estudios geológicos y de megafauna extinta (cuadro 2).

#### Tlaxcala durante el Cuaternario

Para inferir cómo lucía Tlaxcala hace miles de años durante el Cuaternario, dividimos los periodos en cinco partes (cuadro 3), siguiendo los análisis realizados con registros glaciares y datos polínicos en la Malinche (Caballero et al., 2010), los registros con diatomeas fósiles en el Lago de Chalco para los últimos 40,000 años (Caballero et al., 2019) y los registros de palinomorfos en el Lago de Chalco los últimos 85,000 años (Torres-Rodríguez et al., 2018), para abarcar todas las temporalidades fechadas en los sitios paleontológicos de Tlaxcala (cuadro 3).

Edad (años AP)	Evento climático
55,000 – 26,500	Periodo interglacial MIS 3 (Marine Isotope Stage, etapa Isotópica de Oxígeno 3)
26,500 – 19,000	Último Máximo Glaciar (UMG)
19,000 – 15,000	Glaciar tardío

15,000 – 13,000	Periodo interglaciar Bølling Allerød
13,000 – 11,000	Periodo glacial Younger Dryas
11,000 - actualidad	Holoceno o época actual

Cuadro 3. Periodos de tiempo dentro del Cuaternario que abarcan los estudios paleontológicos en el estado de Tlaxcala.

Durante el periodo Interglaciar MIS 3, San Mateo Huexoyucan muestra la evidencia de megafauna extinta que comprende especies de bisontes (*Bison antiquus*, *Bison occidentalis*), camello (*Camelops hesternus*), caballos (*Equus conversidens*, *Equus mexicanus*), perezoso gigante (*Eremotherium laurillardii*), gliptodonte (*Glyptotherium floridanum*), gonfoterio (*Cuvieronius hyodon*) y mamut (*Mammuthus* sp.), incluyendo organismos juveniles de mamut (Sánchez-Salinas et al., 2016, 2020) (figura 26).

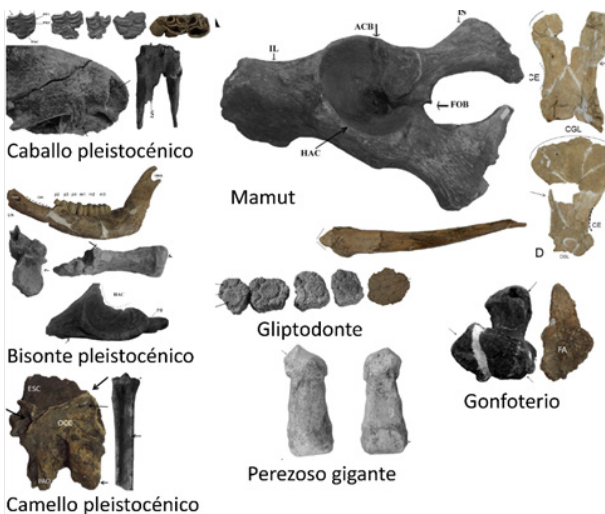


Figura 26. Restos fósiles de megafauna encontrados en la localidad

de San Mateo Huexoyucan correspondientes al periodo interglaciar MIS 3 (Sanchez-Salinas et al., 2020).

El periodo de tiempo MIS 3 es el equivalente a la unidad TX2 de Sedov et al. (2009) en el Bloque Tlaxcala, que comprende las localidades de Barranca Tlalpan, Concepción C y San Mateo Huexoyucan (Sedov et al., 2009; Solis-Castillo et al., 2012), al avance glacial de la Malinche MI de Heine (1988, 1994) (figura 27) y a la zona polínica I y II de Straka y Ohngemach (1989).

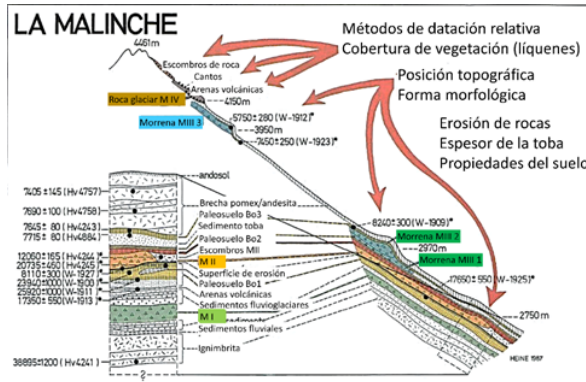


Figura 27. Estratigrafía de los depósitos cuaternarios de La Malinche, indicando los factores actuales que intervienen en la acumulación de los sedimentos, los echamientos, los avances glaciares (M I, M II, M III, M IV) y las características de los estratos (modificado de Heine, 1988).

Durante el MIS 3 en los estudios de paleosuelos (figura 28) se encontraron restos de megafauna que indican climas estacionales (Solis-Castillo et al., 2012). Para el Bloque Tlaxcala (Barranca Tlalpan, Concepción C y San Mateo Huexoyucan) se infiere la presencia de un cuerpo de agua somero (pantanosos) por la presencia de espículas de esponja y diatomeas (Aulacoseira, Crysohytas, Eunotia y Pinnularia), algas (Botryococcus, Zygnema, Debarya y Spirogyra), acompañado de bosques de pino (Pinus), encino



(*Quercus*), aliso (*Alnus*), helechos (*Lycopodium* y *Polipodium*), pastos (*Chenopodiaceae*-*Amaranthaceae*), plantas acuáticas (*Cyperaceae*) y plantas no arbóreas (*Poaceae*) (Solis-Castillo et al., 2012). Para Straka y Ohngemach (1989), el MIS 3 estuvo dominado por pinos y acompañado de encinos, estos últimos fueron disminuyendo su abundancia conforme avanzaba el MIS 3 hacia edades más actuales, lo que sugiere climas más húmedos y fríos (Straka y Ohngemach, 1989), y concuerda con lo encontrado en Barranca Tlalpan, donde se infiere una temperatura de 7-8 °C menor a la actual (Solis-Castillo et al., 2012).

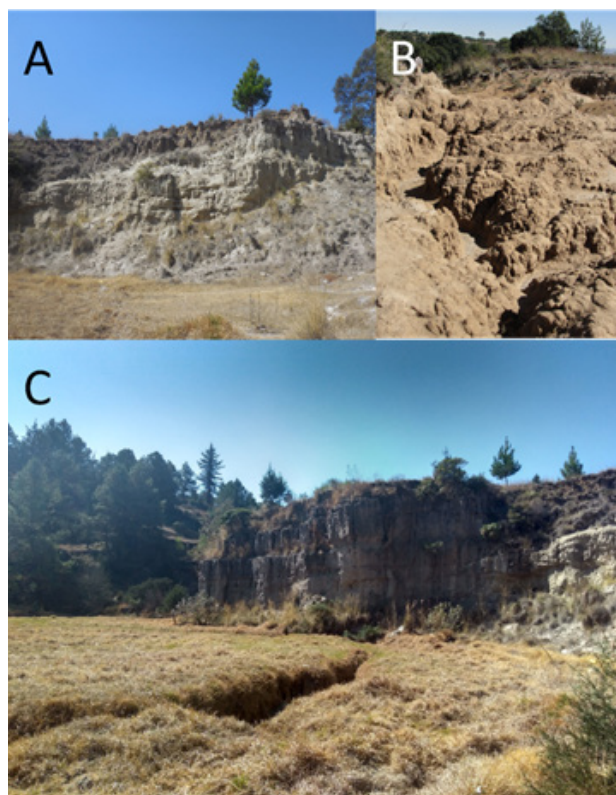


Figura 28. Estratos sedimentarios en San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala.  
 A) Estratigrafía de los paleosuelos que incluyen la parte holocénica (sedimento oscuro superior) y los sedimentos pleistocénicos (sedi-



mento gris inferior). B) Sedimentos arcillosos pleistocénicos expuestos, sin la capa superior que pertenece al Holoceno. C) Panorama general del sitio paleontológico con la vegetación de pino actual en el fondo.

Sin embargo, para San Mateo Huexoyucan, donde se encontró la megafauna fósil, se infieren también condiciones de mayor temperatura y más secas, lo que concuerda con los datos del lago de Chalco, cercano a Tlaxcala, que infieren para el MIS 3 un periodo de alta salinidad en el lago, con una baja insolación en verano y una alta insolación en primavera (Torres-Rodríguez et al., 2018), indicando altas temperaturas y precipitaciones ligeramente mayores que las actuales (Caballero et al., 2019).

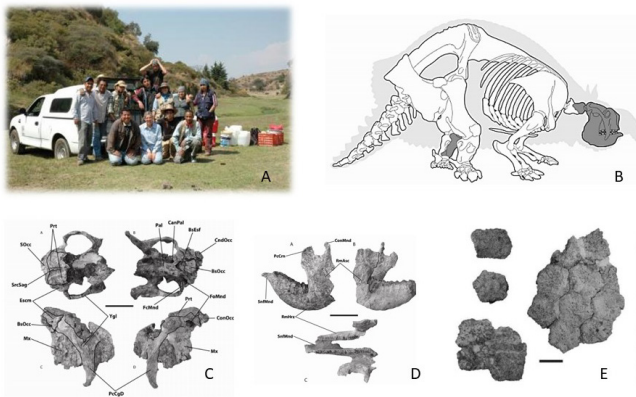


Figura 29. Registro de *Glyptotherium cylindricum* (IGM 9563) en la localidad de San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala. A) Equipo de trabajo 2006 Laboratorio de Paleontología-BUAP-Laboratorio de Paleontología de Vertebrados-UNAM. B) Esqueleto de *Glyptotherium*, mostrando en gris los elementos recuperados. C) Cráneo del gliptodonte de Huexoyucan. Escala 10 cm. D) Dentario del gliptodonte de Huexoyucan. Escala 10 cm. E) Osteodermos de la región cefálica del caparacho del gliptodonte de Huexoyucan. Escala 3 cm. Imágenes B, C, D y E de Gonzalo Ángel Ramírez Cruz. Para mayor referencia de las figuras consultar a Ramírez-Cruz (2011) y Ramírez-Cruz y Montellano Ballesteros (2014).

La evidencia de condiciones climáticas frías y húmedas en el estado de Tlaxcala (Straka y Ohngemach, 1989; Solis-Castillo et al., 2012), contrarias a condiciones climáticas cálidas y no tan húmedas en regiones cercanas (Solis-Castillo et al., 2012; Torres-Rodríguez et al., 2018; Caballero et al., 2019), concuerda con la hipótesis de que durante el MIS 3 las condiciones fueron estacionales (Solis-Castillo et al., 2012). Esto permitió que se acumularan restos de fauna paleártica como los mamuts, gonfoterios, caballos, camellos y bisontes, con fauna neotropical como los gliptodontes y los perezosos gigantes (Ceballos et al., 2010; Ferrusquía et al., 2010, 2017).



Figura 30. Noticias en periódicos y páginas en línea sobre hallazgos de megafauna en diferentes municipios del estado de Tlaxcala.

Durante el UMG, la localidad de San Tadeo incluye la presen-

cia de fósiles de gliptodonte (*Glyptotherium cylindricum*) que consisten en parte del cráneo y la mandíbula (Ramírez-Cruz y Montellano-Ballesteros, 2014) (figura 29).

A pesar de que el registro fósil del Cuaternario del estado de Tlaxcala es de lo más estudiado en el estado, los estudios son escasos si se comparan los realizados en otros estados del centro del país, como Ciudad de México, Estado de México y Puebla (Ceballos et al., 2010; Ferrusquía et al., 2017). Además, se cuenta con muchas notas periodísticas que mencionan la presencia de megafauna en los municipios de Contla, San Felipe Cuauhtenco, Santiago Tepeticpac, Tetla, Tlaxcala, Tlaxco y Totolac (figura 30), por lo que la falta de estudios en la región es inminente.



## Referencias

- Acosta-Pérez, R., Delgado, J.L. y Cervantes, P. 1991. La Vegetación del Estado de Tlaxcala, México. Folleto número 6. Jardín Botánico Tizatlán-Gobierno del Estado de Tlaxcala. 31p.
- Baas, P. 1982. Systematic, phylogenetic, and ecological wood anatomy –history and perspectives. En: Baas, P.(ed.), *New Perspectives in Wood Anatomy*. Nijhoff/Junk, The Hague: 29-53.
- Behrensmeyer, A. K., and A. Turner. 2013. Taxonomic occurrences of Suidae recorded in the Paleobiology Database. Fossilworks. <http://fossilworks.org>.
- Bretón-Bermúdez, C. 2012. Identificación de maderas fósiles de Panotla, Tlaxcala, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. BUAP. 50p.
- Castañeda-Posadas, C. 2004. Identificación de maderas terciarias en Panotla, Tlaxcala, México y sus implicaciones paleontológicas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México. 66p.
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., Ortega, B. 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*. 62(3):359–377.
- Castañeda-Posadas, C. 2007. Modelo paleoclimático, basado en los caracteres anatómicos de la madera de rocas miocénicas de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas. Tesis de Maestría, Instituto de Geología. UNAM. 160p.
- Castañeda-Posadas, C., Calvillo-Canadell, L. y Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2009. Woods from Miocene sediments in Panotla,

- Tlaxcala, México. Review of Paleobotany and Palynology. 159:494-506.
- Castañeda-Posadas, C., Zayas-Ocelotl, L. y Bonilla-Toscano, L.R. 2011. Los fósiles de la parte central de Tlaxcala. Guía de Campo del XII Congreso Nacional de Paleontología, Escuela de Biología, BUAP. 21p.
- Castillo-Rodríguez, J.deJ. 2018. Análisis Biogeográfico De Los Vertebrados Fósiles De La Cuenca Puebla-Tlaxcala. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Tesis de Licenciatura.
- Cazarín-Martínez, A. 2009. Regiones y autonomía municipal de Tlaxcala. Scripta Ethologica. XXXI:59-88.
- Ceballos, G., Arroyo-Cabrales, J., Ponce, E. 2010. Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico. Quaternary Research 73:464-473.
- Centeno-González, N. 2016. Nuevos morfotipos de hojas de angiospermas del Mioceno de San Esteban Tizatlán, Tlaxcala, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas. BUAP. 83 pp.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., y González-Torres, E.A. 2005. Geological setting and phytobiodiversity in Mexico. In: Vega, F.J., T.G. Nyborg, M.C. Perrilliat, M. Montellano, S. Cevallos y S. Quiroz (eds.). Studies on Mexican paleontology. Springer. Dordrecht, Holanda:1-15.
- Cevallos-Ferriz, S.R.S., González-Torres, E.A., Calvillo-Canadell, L. 2012. Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México. Acta botánica mexicana. 100:317-350.
- Cintron, B., 1990. *Cedrela odorata*. Silvics of North America: 2. Hardwoods. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C. Agriculture Handbook 654:250-257.
- Cohen, K.M., Harper, D.A.T., Gibbard, P.L. 2020. ICS International Chronostratigraphic Chart 2020/03 International

- Commission on Stratigraphy, IUGS. [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org) (visited: 2020/07/15).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Alto Atoyac ("901), Estado de Tlaxcala. Diario Oficial de la Federación.
- CONABIO. 2015. Megafauna de México durante la edad de hielo hace 10,000 años. De la Rosa, S. (Ilustrador), Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.
- Contreras-López, M. 2018. Taxonomía y Ecología alimentaria de camélidos del Pleistoceno tardío de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tesis de Maestría.
- D'Antoni, H. L. 1993. Paleotemperatures of la malinche: A palynological hypothesis. *Grana*, 32(6), 354–358. <https://doi.org/10.1080/00173139309428964>
- Dickison, W.C. 1975. The bases of angiosperm phylogeny: vegetative anatomy. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 62: 590-620.
- Domínguez de la Torre, A., Calvillo-Canadell, L., López Gómez V., Cevallos-Ferriz S.R.S. 2011. Clima en San Esteban Tizatlán, Tlaxcala, durante el Mioceno con base en un análisis de arquitectura foliar. Resúmenes del XII Congreso Nacional de Paleontología. Puebla, México.
- Domínguez-de la Torre, A. 2013. Reconstrucción paleoclimática con base en la diversidad foliar del Mioceno de San Esteban Tizatlán, Tlaxcala. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 78 p
- Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Tlaxcala. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM29tlaxcala/municipios/29024a.html>. Acceso el 27/07/2020

- Fergus, G. 2014. Temperature of Planet Earth. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All\\_palaeotemps.png#Data](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_palaeotemps.png#Data)
- Ferrusquía-Villafranca, I., Arroyo-Cabrales, J., Martínez-Hernández, E., Gama-Castro, J., Ruíz-González, J., Polaco, O.J., Johnson, E. 2010. Pleistocene mammals of Mexico: a critical review of regional chronofaunas, climate change response and biogeographic provinciality. *Quaternary International* 217: 53-104.
- Flores-Rocha, L.A. 2014. Maderas de Leguminosae en el Neógeno de México. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. 95 p.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M.T., Ferrari, L. 2005. Petrogénesis Ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica de México*. 57:227-283.
- Guenther, E.W. y Bunde, H. 1973. Investigaciones geológicas y paleontológicas en México durante los años de 1965 y 1969. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala México*. 7:19-20
- Guzmán, A. F. 2015. El registro fósil de los peces mexicanos de agua dulce. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86: 661-673 pp
- Hansen, J., Sato, M., Russell, G., Kharecha, P. 2013. Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371: 201-2029-.
- Hernández-Damián, A.L. 2010. Diversidad foliar en el Mioceno de San Esteban Tizatlán, Tlaxcala, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 68p.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal). 2010. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/> visitado el 18 de julio de 2020.
- INEGI. 1982. Síntesis geográfica de Tlaxcala. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.



- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2011. Marco geoestadístico nacional: <http://mapserver.inegi.org.mx> recuperado el 18 de julio de 2020.
- INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Tlaxcala 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 577p.
- Lara-Rodríguez, C., Serrano Meneses, M.A., Rodríguez Martínez, L., Vázquez-Pérez, J. 2015. Contribución al conocimiento de la Biodiversidad de Tlaxcala. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Lucas, S.G. 2013. The palaeobiogeography of South American gomphotheres. *Journal of Palaeogeography* 2:19-40.
- Lucas, S.G., Alvarado, G.E. 2010. Fossil Proboscidea from the Upper Cenozoic of Central America: Taxonomy, evolutionary and paleobiogeographic significance. *Revista Geológica de América Central* 42:9-42.
- Lucas, S.G., Morgan, G.S. 2008. Taxonomy of *Rhinchotherium* (Mammalia, Proboscidea) From the Miocece-Pliocene of North America. *Neogene Mammals. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 44:71-88.
- Martínez-Cabrera, H.I., Cevallos-Ferriz, S.R.S. 2008. Palaeoecology of the Miocene El Cien Formation (Mexico) as determined from wood anatomical characters. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 150:154–167.
- Martínez-Cabrera, H.I., Ramírez-Garduño, J.L., Estrada-Ruiz, E. 2014. Plantas fósiles e inferencia paleoclimática: aproximaciones metodológicas y algunos ejemplos para México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66: 41–52.
- Mayor, A. 2005. *Fossil legends of the first Americans*. Princeton University Press, 488p.
- Suárez-Mota, M.E., Téllez-Valdez, O., Lira-Saade, R., y Villaseñor, J.L. 2013. Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences* 91(1):93-105.

- Miranda, J. Oliver, A., Vilaclara, G. Rico-Montiel, R., Macias, V.M. Ruvalcaba, J.L, Zenteno, M.A. 1994. Analysis of diatomite sediments from a paleolake in central Mexico using PIXE, X-ray tomography and X-ray diffraction. *Nuclear instruments and methods in Physics Research B*. 85: 886-889.
- Mooser F. 1990. Estratigrafía y estructura del Valle de México. En: Ovando-Shelly E. and González-Valenes F. Eds, *El subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de Cimentaciones a cinco años del sismo*. Sociedad Mexicana de Suelos, 29-36p.
- Ohngemach, D. 1977. Pollen sequence of the Tlaloqua crater (La Malinche volcano, Tlaxcala, México). *Boletín de La Sociedad Botánica de México*. 36:33-44. <https://doi.org/10.17129/bots-ci.1158>
- Ohngemach, D., y Starka, H. 1978. La historia de la vegetación de la región de Puebla-Tlaxcala durante el Cuaternario Tardío. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala*, 15: 189-205
- Ortega-Guerrero, B., Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E., Soler, A. 2004. Magnetic mineralogy in Barranca Tlalpan exposure paleosols, Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 21(1):120-132.
- Pennington, T.D., Sarukhán, J., 1998. *Árboles tropicales de México*. UNAM y Fondo de Cultura Económica, México.
- Pérez-Lara, D. K., Castañeda-Posadas, C. y Rodríguez-Reyes, O. In prep. Registro micénico de Platanaceae, Panotla, Tlaxcala, México.
- Poole, I. 2000. Fossil angiosperm Wood: its role in y the reconstruction of biodiversity and palaeoenvironment. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 134:361-381.
- POWO. 2019. *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://www.plantsoftheworldonline.org/> Recuperado 12 /7/2020.
- Quintanar-Castillo, A. 2018. Descripción e identificación de

- maderas de angiospermas del mioceno de Chiapas y Tlaxcala, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 158p.
- Ramírez-Cruz, G. A. 2011. Descripción de dos Gliptodontes (Mammalia:Xenarthra) del Pleistoceno Tardío de los estados de Tamaulipas y Tlaxcala, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias; Universidad Autónoma de México.
- Ramírez-Cruz, G. A., Montellano-Ballesteros, M. 2014. Two new glyptodont records (Mammalia: Cingulata) from the late Pleistocene of Tamaulipas and Tlaxcala, Mexico: Implications for the taxonomy of the genus *Glyptotherium*. *The Southwestern Naturalist*. 59(4). 522–530. <https://doi.org/10.1894/JKF-45.1>
- Ramírez-Cruz, G. A., 2014. Revisión morfológica de los osteodermos del género *Glyptotherium* (Mammalia:Cingulata). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Rico, R., Vilaclara, G., Miranda, J., Cañetas, J. 1997. Origin of laminations in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Verhandlungen Des Internationalen Verein Limnologie*, 26(2):838–841. <https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11900835>
- Rico-Montiel Roberto, Gloria Vilaclara, Roger Carrillo & Marco Antonio Zenteno (1993) Methodologic proposal for lacustrine sediment analyses applied to Tlaxcala diatomite, Mexico, *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 25:2, 1072-1074, DOI: 10.1080/03680770.1992.11900325
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 504p.
- Sánchez-Salinas, M., Jiménez-Hidalgo, E., Cruz, J.A., Castañeda-Posadas, C. 2020. Nuevos registros de mamíferos Pleistocénicos de San Mateo Huexoyucán, Tlaxcala, y el segundo registro de juveniles de *Mammuthus* en México. *Boletín de*

- La Sociedad Geológica Mexicana. 72(1): 1–19. <https://doi.org/10.18268/bsgm2020v72n1a240919>
- Sánchez-Salinas, M., Jiménez-Hidalgo, E., Castañeda-Posadas, C. 2016. Mamíferos fósiles del Pleistoceno tardío (Rancholabrea-no) de San Mateo Huexoyucán, Tlaxcala, México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*. 68(3): 497–514. <https://doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a7>
- Santacruz-García, N. Espejel-Rodríguez, A. 2004. Los Encinos (Quercus) de Tlaxcala, México. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala.
- Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E., Terhorst, B., Solé, J., de Lourdes Flores-Delgado, M., Werner, G., Poetsch, T. 2009. The Tlaxcala basin paleosol sequence: A multiscale proxy of middle to late Quaternary environmental change in central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 26(2): 448–465.
- SEGOB. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), Sistema Nacional de Información Municipal. México 2006. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM29tlaxcala/mediofisico.html>
- Silva-Romo, G., Martiny, B., Mendoza-Rosales, C., Nieto-Samaniego, A. Alaniz-Álvarez, S. 2002. La Paleocuenca de Aztlán, antecesora de la cuenca de México. Libro de resúmenes. Reunión Internacional de Ciencias de la Tierra 22, Abstracts, 149-150p.
- Solís-Castillo, B., Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., Salcido-Berkovich, C. 2012. Paleosuelos en secuencias coluvio-aluviales del Pleistoceno - Holoceno en Tlaxcala: Registros paleoambientales del poblamiento temprano en el centro de México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*. 64(1): 91–108. <https://doi.org/10.18268/BSGM2012v64n1a8>
- Straka, H., Ohngemach, D. 1989. Late Quaternary vegetation history of the Mexican highland. *Plant Systematics and Evolution*. 162(1–4): 115–132. <https://doi.org/10.1007/BF00936914>

- Taylor, T., Taylor, E. Krings, M. 2009. *Paleobotany, The biology and evolution of fossil plants*. 2° edition. 1230p.
- Traverse, A. 1999. *Palynology/ecology interfaces*. In: Jones TP, Rowe NP, eds. *Fossil plants and spores: modern techniques*. London: Geological Society, 269–273.
- University of California Museum Paleontology (UCMP). (2016). *The Miocene Epoch*. <http://www.ucmp.berkeley.edu/tertiary/miocene.php>
- Vilaclara, G., Rico, R., Miranda, J. 1997. Effects of perturbations on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Verhandlungen Des Internationalen Verein Limnologie*. 26(2):846–851. <https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11900837>
- Vilaclara, G. & Martinez-Mekler, Gustavo & Cuna, E. & Ugalde, Edgardo. (2010). Diatom-inferred palaeoenvironmental changes of a Pliocene lake disturbed by volcanic activity. *Journal of Paleolimnology*. 44. 203-215. 10.1007/s10933-009-9397-5.
- Wiemann, M.C., Wheeler, E.A., Manchester, S.R., Portier, K.M. 1998. Dicotyledonous wood anatomical characters as predictors of climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 139: 83–100.
- Woodcock, D.W., Ignas, C.M. 1994. Prevalence of wood characters in eastern North America: what characters are most promising for interpreting climates from fossil wood?. *American Journal of Botany*, 81:1243–1251.
- Zayas-Ocelotl, L. 2010. Descripción e identificación de seis plantas fósiles, de la localidad de San Esteban Tizatlán, Tlaxcala (Mioceno), con base en la arquitectura foliar. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. BUAP, 59p.
- Zayas-Ocelotl, L., Castañeda-Posadas, C., Estrada-Ruiz, E. y Andrés-Hernández, A. R. 2014. Hojas De Angiospermas De San Esteban Tizatlán (Mioceno), Tlaxcala, México. *Revista Brasileira de Paleontología*, 17(3):327-342.



## Autores

Dr. Carlos Castañeda Posadas

carlos.castaneda@correo.buap.mx

Actualmente soy profesor-investigador en la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Soy Licenciado en Biología por la UNAM, tengo una maestría en Ciencias Biológicas, en el área de Sistemática, realizada en la UNAM; y tengo un doctorado realizado en el posgrado de Ciencias Biológicas, en la UNAM. La línea de investigación principal es describir los cambios en la paleodiversidad de México como consecuencia de la actividad tectónica del centro-sur del país, con base en el registro fósil. Reflejo de esta investigación se encuentran la publicación de 18 artículos indexados, tres artículos arbitrados, un libro, cuatro capítulos de libro, y he participado en 35 nacionales y seis internacionales. Siguiendo esta línea de investigación, he dirigido 13 tesis de licenciatura y una tesis de maestría en el posgrado de Ciencias Biológicas (PCB- BUAP); además, he sido codirector de tesis de maestría en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y en el Instituto Politécnico Nacional. Entre las distinciones, soy miembro del núcleo básico PCB-BUAP, secretario administrativo de la Facultad de Ciencias Biológicas-BUAP, integrante del padrón de investigadores 2011-2022 en la DES: Ciencias Naturales, VIEP-BUAP; tesorero de la Sociedad Mexicana de Paleontología (2015-2022), responsable del Laboratorio de Paleobiología y curador de la Colección de Paleontología-BUAP. Como docente, he impartido los cursos de Paleontología, Biología Vegetal 1 y 2, Biogeografía y Paleontología de Vertebrados, en el posgrado Tópicos de Paleobiología y Geología Histórica de México.

M. en B. Diana Karen Pérez Lara  
dianakaka22@gmail.com

Egresé de la Licenciatura en Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas-BUAP. Tengo una Maestría en Biociencias, realizada en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, del IPN. Mi investigación se centra en los cambios en la vegetación y clima con base en el registro fósil de madera de Chiapas. Hasta el momento tengo tres artículos indexados donde he publicado nuevos registros de plantas fósiles; mis trabajos son los únicos que se tienen para megaflore del Eoceno temprano en México. También he presentado mi trabajo en diversos congresos e instituciones nacionales e internacionales. En 2017 fui encargada de la sala Pleistoceno, Mamíferos, Evolución y Era del Hielo, del Museo de la Evolución, en Puebla. En 2019 me gradué con mención honorífica de la maestría y recibí el Premio al Mejor Desempeño Académico, otorgado por el IPN. He sido colaboradora en proyectos financiados por la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN y por Conacyt, y actualmente colaboro en un proyecto financiado por NatGeo y STRI para encontrar el origen del bosque tropical más intensivamente estudiado del mundo: la Isla de Barro Colorado, en Panamá.

Dr. José Alberto Cruz Silva  
cruzsilvajac@yahoo.com.mx

Egresé de la Licenciatura en Biología, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN. Tengo una Maestría en Ciencias Biológicas, en el área de Sistemática, realizada en el Instituto de Biología de la UNAM. Mi doctorado en el área de Evolución lo realicé en el Instituto de Biología de la UNAM. Mis líneas de investigación



son paleoherpetología, paleontología de vertebrados, reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas, y paleobiogeografía de los fósiles de México y otros países, aunque también cuento con trabajos realizados con vertebrados actuales, ya que el presente es la clave del pasado. Como productos de la investigación realizada se encuentran la publicación de nueve artículos indexados, cinco artículos arbitrados y dos capítulos de libro, y he participado en 31 nacionales y cuatro internacionales. He dirigido ocho tesis de licenciatura en la UNAM, BUAP y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. He participado en 14 proyectos de investigación. En la Licenciatura de Biología, de la BUAP, impartí los cursos de Paleontología y Evolución; en el Posgrado en Ciencias Biológicas, de la BUAP, impartí Tópicos de Paleobiología y Geología Histórica de México. También impartí los cursos de Paleobiología y Ecología, y Evolución de Anfibios y Reptiles, en la Facultad de Ciencias, de la UNAM. Pertenezco al Sistema Nacional de Investigadores, soy perfil deseable Prodep, fui miembro del Consejo de Paleontología-INAH, y soy parte de la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Paleontología.



El registro paleontológico del estado de Tlaxcala  
de Carlos Castañeda Posadas,

José Alberto Cruz Silva

Diana Karen Pérez Lara

Se publicó en octubre 2022

Por la Dirección General de Publicaciones

Formato: PDF

Peso: 6.90 MB