

PALINOESTRATIGRAFÍA DE LA REGIÓN DE TEPEXI DE RODRÍGUEZ, PUEBLA, MÉXICO—IMPLICACIONES CRONOESTRATIGRÁFICAS

Enrique Martínez-Hernández* y
Elia Ramírez-Arriaga*

RESUMEN

La secuencia sedimentaria indiferenciada del Cenozoico, en la región de Tepexi de Rodríguez, ha producido abundantes conjuntos palinológicos, con alcances estratigráficos que comprenden, desde el Paleoceno hasta el Oligoceno, aunque inicialmente estas rocas terciarias fueron consideradas como pertenecientes al Plioceno-Pleistoceno, con base en las huellas de mamíferos de la localidad de Pie de Vaca. La confusión estratigráfica de la región se incrementa por la presencia de sedimentos cuaternarios que contienen caballos, gliptodontes y mamuts, los cuales yacen discordantemente sobre la Formación Pie de Vaca.

A primera vista, los conjuntos palinológicos indicaban una edad neogénica tardía por la abundancia de pinos y gramíneas, los cuales caracterizan los sedimentos lacustres cuaternarios de la Faja Volcánica Transmexicana, determinación bioestratigráfica que se vio reforzada por la edad pliocénico-pleistocénica, con base en los icnofósiles de la Formación Pie de Vaca. En consecuencia, los primeros hallazgos palinológicos se sesgaron hacia una edad del Plioceno-Pleistoceno, aun cuando la edad neogénica para estas secuencias cenozoicas nunca fue descartada.

Las investigaciones paleobotánicas cuestionaron nuevamente la asignación cronoeestratigráfica de las rocas cenozoicas en Tepexi de Rodríguez, debido al descubrimiento de *Cedrelospermum* y *Eucommia*, taxa que están presentes durante el Terciario temprano de América del Norte. Dicha situación, desencadenó nuevos estudios de la secuencia volcánoclastica, con base en el conteo total de la diversidad polínica y ponderando los taxa índice para el hemisferio norte, lo cual permitió la asignación a estas rocas terciarias de una edad eocénica.

Los conjuntos palinológicos indican que durante el Paleógeno varias comunidades de plantas se desarrollaron regional y localmente, conformando diferentes mosaicos de vegetación, que estaban distribuidos a lo largo de un gradiente climático altitudinal.

Regionalmente, los bosques de coníferas (*Picea* y *Pinus*) ocupaban las cimas de las cadenas montañosas en un clima frío y templado, y un sotobosque representado por abundancia de gramíneas y *Ephedra* spp. En contraste, en las laderas y cañadas más húmedas, el clima variaba de templado a subtropical, y proliferaba una comunidad de bosque mesófilo, caracterizado por la abundancia de *Engelhardtia* (*Momipites* spp.), *Cedrelospermum*, *Eucommia*, *Betula*, *Ulmus*, *Juglans* y *Platanus*.

En las planicies cercanas a la cuenca del paleolago, el régimen climático subtropical se tornaba más seco, con una flora formada por taxa pertenecientes a las familias Caesalpinaceae, Mimosaceae, Bombacaceae, Burseraceae, Ulmaceae y Gramineae, que podrían estar conformando una vegetación sabanoide, de selva baja, o de matorral esclerófilo.

Debe considerarse los tipos de vegetación propuestos previamente como un modelo, porque es obvio que los diferentes tipos se distinguen por sus peculiaridades fisonómicas y no por su composición taxonómica. Para corroborar estos mosaicos de vegetación, está el hecho de que los macrorrestos de coníferas son raros y que las hojas que predominan en la flórmula terciaria de Tepexi de Rodríguez son de tipo micrófilo, indicando que la vegetación que crecía cerca del sitio de depósito estaba sujeta a un clima árido y que las coníferas crecían en áreas más lejanas.

Con base en los alcances estratigráficos de *Pterocarya*, *Erdtmanipollis*, *Aglaoredia*, *Pandanus* y de varias especies de *Momipites*, como *M. coryloides*, *M. triorbicularis* y *M. triradiatus*, la edad de las unidades litológicas estudiadas, incluyendo la Formación Pie de Vaca, debe considerarse como eocénica. Además, la presencia de algas dulceacuícolas confirma un ambiente lacustre, en el cual se depositaron estos estratos.

Palabras clave: palinoestratigrafía, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

ABSTRACT

The undifferentiated Cenozoic beds in this region have yielded valuable palynological assemblages, ranging in age from Paleocene to Oligocene, although initially the Tertiary sequence was considered as Pliocene-Pleistocene, based on the mammal tracks at the Pie de Vaca locality. This confusion increased due to the presence of Quaternary sediments with horses, glyptodonts and mammoths, which overlie unconformably the Pie de Vaca Formation.

Even though at first glance the palynological assemblages indicated abundance of taxa (*Pinus* sp., grasses, etc.) that are present in the Quaternary of central Mexico, plus the overweighted evidence of Pliocene-Pleistocene tracks in the region given by the vertebrate specialists, the initial palynological results were biased to support a Pliocene-Pleistocene age, although the Neogene age for the Cenozoic sequence was never discarded.

*Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 D.F., México

The paleobotanical researches arose again the question of age assignment of the Cenozoic rocks in this region, due to the paleobotanical discovery of *Cedrelospermum* and *Eucommia*, taxa that occurred during the early Tertiary of North America. This issue triggered a new palynological study of the volcanoclastic sequence, based upon the total pollen content and different kinds of biozones, which finally allow the palynostratigraphical assignment of those beds to the Eocene.

The palynological assemblages indicated that during the Paleogene several plant communities were present locally and regionally, forming different mosaics of vegetation, that were distributed along an altitudinal gradient.

Regionally, the forest of conifers (*Picea* and *Pinus*) occupied the mountain ranges, together with abundant grasses and *Ephedra* spp., where the climate was cold-temperate. In contrast, the slopes of hills were more humid with temperate to subtropical climate with a mesophyll community characterized by the abundance of *Engelhardtia* (*Momipites* spp.), *Cedrelospermum*, *Eucommia*, *Betula*, *Ulmus*, *Juglans* and *Platanus*.

Near the deposit basin, the climate regime became subtropical drier, with abundance of legum fruits and abundant pollen of Caesalpinaceae, Mimosaceae, Bombacaceae, Burseraceae, grasses, Ulmaceae, which could indicate savanna to scrubland vegetation.

The above mentioned vegetation types should be considered as a model, since it is clear that the type is distinguished because of its physiognomic peculiarities and not because of its taxonomic composition. Supporting this mosaic of vegetation, it is the fact that in the macrofossils, conifer remains are rare and the leaves that predominate in this florula are rather small, indicating that the vegetation growing near the site of deposition was subject to a dry and subtropical regime.

Based upon the chronostratigraphic relevance of certain taxa, such as *Pterocarya*, *Erdmanipollis*, *Aglaoreidia*, *Pandanus* and several *Momipites* spp., the age of the assemblages can be considered as Eocene. Furthermore, the presence of freshwater algae confirms the lacustrine environment of these beds.

Key words: palynostratigraphy, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La cubierta sedimentaria del Terciario en el sur de México está caracterizada por una serie de unidades litoestratigráficas, cuya génesis se ha considerado gratuitamente de origen lacustre, como son las formaciones Huajuapán, Tehuacán, Cuicatlán y el Grupo Balsas *sensu* Fries (1960). La estratigrafía, el ambiente de depósito y la cronoestratigrafía de estas unidades han sido poco estudiados, y la propuesta geológica más sólida se observa en el estudio de Fries (*op. cit.*), quien describió una serie de rocas cenozoicas continentales como Grupo Balsas y, debido a su complejidad y extensión, recomendó su subdivisión en varias formaciones. Hasta la fecha, no existe estudio detallado alguno del Grupo Balsas, que aflora a todo lo largo y ancho de la provincia fisiográfica de la Cuenca Balsas-Mezcala, abarcando parte de los estados de Michoacán, Guerrero, Puebla y Oaxaca.

En las descripciones de todas estas unidades terciarias, se asume el origen lacustre de algunos miembros de ellas. Además, su asignación cronoestratigráfica ha sido inferida por la posición estratigráfica entre formaciones de edades conocidas. Así, para el Grupo Balsas, Fries (*op. cit.*) infiere una edad premiocénica, porque la Riolita Tilzapotla que yace encima tiene edad de 26 Ma; posteriormente, de Cserna y colaboradores (1980) concluyeron que a la Formación Balsas puede asignarse una edad que va del Paleoceno al Oligoceno temprano.

En la Mixteca poblana de la región de Tepexi de Rodríguez, también existen rocas cenozoicas continentales con abundantes fósiles de plantas, vertebrados y granos de polen. No obstante, debido a la falta de estudios estratigráficos, existe confusión cronoestratigráfica de las diferentes unidades identificadas en la región. A fin de esclarecer la estratigrafía y la bioestratigrafía de estas rocas cenozoicas, se inició el estudio

palinoestratigráfico para contribuir a establecer la cronoestratigrafía de las unidades litoestratigráficas que afloran en dicha área.

Los primeros estudios sobre la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla, son los de Padilla y Sánchez (1973) y Fernández-Becerra (1985), quienes identificaron las rocas cenozoicas que yacen sobre las calizas mesozoicas como pertenecientes a la Formación Balsas, basándose en la similitud litológica de la secuencia de Tepexi de Rodríguez con algunas de las unidades clásticas del Grupo Balsas *sensu* Fries (*op. cit.*), como son los conglomerados, las calizas lacustres, las areniscas y limolitas tobáceas y la presencia de yeso. En fecha posterior a que dichas unidades fuesen asignadas inicialmente al Grupo Balsas, Pantoja y colaboradores (1989) las consideraron como pertenecientes a una formación nueva, que denominaron Pie de Vaca, de edad pliocénica, siguiendo la cronoestratigrafía propuesta para los icnofósiles de las calizas lacustres de la localidad Pie de Vaca, estudiadas por paleontólogos de vertebrados (Applegate, 1987).

Por último, en esta región de Tepexi de Rodríguez, se ha realizado investigaciones palinológicas (Martínez-Hernández *et al.*, 1986; Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1994, 1996) y paleobotánicas (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1993, 1994a, b), en las secuencias de lutitas, limolitas y areniscas tobáceas, que estratigráficamente yacen sobre las calizas lacustres con icnofósiles. Los resultados cronoestratigráficos de estos estudios indican que dichas unidades son de edad oligocénico-eocénica, confirmando la propuesta de Padilla y Sánchez (1973) y Fernández-Becerra (1985), quienes habían postulado la existencia de la Formación Balsas hasta esta parte sudoriental del estado de Puebla.

En esta contribución, se presenta los primeros resultados palinoestratigráficos y sus implicaciones cronoestratigráficas,

que permiten reconocer al Grupo Balsas, en la región de Tepexi de Rodríguez, y establecer las bases para la extensión y aplicación de la palinología hacia los estados de Morelos y Guerrero, donde están los estratotipos del Grupo Balsas.

MARCO GEOLÓGICO, ESTRATIGRÁFICO Y BIOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN PIE DE VACA

El basamento de la región de Tepexi de Rodríguez está constituido por las rocas metamórficas paleozoicas del Complejo Acatlán (Applegate *et al.*, 1984). La secuencia cretácica de la Formación Tlayúa, de 300 m de espesor, yace discordantemente sobre el Complejo Acatlán. Las rocas cenozoicas generalmente están encima de las calizas cretácicas, aunque en ocasiones descansan sobre el Complejo Acatlán. En algunas áreas, la Formación Tlayúa representa la cima de la columna estratigráfica, pero generalmente las calizas mesozoicas están cubiertas por los sedimentos continentales de la Formación Pie de Vaca, y éstos, a su vez, yacen bajo la Formación Agua de Luna (Pantoja-Alor *et al.*, 1989).

En cuanto a la cronoestratigrafía de la secuencia continental cenozoica, cuyos afloramientos existen desde el río Laxmilpa hasta la Formación Tlayúa, se trata de un ejemplo clásico de error debido a la falta de control estratigráfico y asignaciones basadas sólo en la litología y/o en los icnofósiles, asociados a las calizas lacustres de la localidad de Pie de Vaca, que forman la base de la Formación Pie de Vaca. Inicialmente, Padilla y Sánchez (1973), al estudiar la sierra El Tentzo, estableció una columna estratigráfica compuesta, en la cual consideró la existencia de la Formación Balsas. Posteriormente, el mismo autor (Padilla y Sánchez, 1984, p. 64 *in* Applegate *et al.*, 1984), al elaborar el mapa geológico del área de Tepexi de Rodríguez, reconoció al Grupo Balsas indiferenciado en dicha región. Consideró que la base de dicha unidad está constituida por conglomerados y areniscas, sobre la que yacen discordantemente las calizas lacustres con icnofósiles de un flamenco, felinos y camellos, y le asignó una edad del Eoceno al Oligoceno, asumiendo tácitamente que se trataba del Grupo Balsas *sensu* Fries (1960).

Fernández-Becerra (1985), en su informe a Petróleos Mexicanos sobre la estratigrafía de la cantera Tlayúa, en Tepexi de Rodríguez, mencionó también la presencia del Grupo Balsas con brechas y conglomerados (Eoceno superior-Oligoceno), considerando que las calizas lacustres con icnofósiles yacen sobre el Grupo Balsas como una unidad independiente, de edad miocénico-pleiocénica.

Por último, Pantoja-Alor y colaboradores (1989), cuando estudiaron la geología de los alrededores de la Cantera Tlayúa, en Tepexi de Rodríguez, cambiaron el marco estratigráfico de lo que se consideraba Grupo Balsas. Dichos autores consideraron una unidad litoestratigráfica nueva, denominándola Formación Pie de Vaca, que es una secuencia de 53 m de espesor, formada por conglomerados, areniscas, limolitas y calizas lacustres. Asimismo, le fue asignada una edad cronoestratigráfica del Plioceno-

no-Pleistoceno, con base en la edad de la icnofauna de la localidad Pie de Vaca, que está constituida por huellas producidas por grupos de camélidos y felinos que alcanzaron gran talla durante el Plioceno o Pleistoceno (Applegate, 1987). A esta misma conclusión llegó Cabral-Perdomo (1995); no obstante, dicha hipótesis es muy cuestionable y, por ende, la cronoestratigrafía basada en tales huellas es muy endeble.

Las plantas fósiles han sufrido cambios en su geocronología por la influencia de la estratigrafía establecida por Pantoja-Alor (1990) y de los primeros estudios palinoestratigráficos que daban fechas pliocénico-pleistocénicas para la localidad Pie de Vaca (Martínez-Hernández *et al.*, 1986). En consecuencia, en el primer artículo paleobotánico sobre la localidad Ahuehuetes, Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz (1993) la consideraron parte de la Formación Pie de Vaca, asumiendo tácitamente para ella una edad pliocénico-pleistocénica. Posteriormente, Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz (1994a) consideraron que esta formación se podría asignar a un lapso entre el Mioceno y el Pleistoceno temprano. Por último, los mismos autores (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1994b) sugirieron una edad oligocénica para la localidad Ahuehuetes, con base en la palinoestratigrafía establecida en dicha localidad por E. Martínez-Hernández y E. Ramírez-Arriaga en 1993.

Aun cuando los primeros estudios de la localidad Ahuehuetes sugerían una edad del Neógeno para esta localidad cenozoica (Martínez-Hernández *et al.*, 1986; Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1993), la identificación posterior en los conjuntos palinológicos del complejo *Momipites* permitió en ese mismo año, en seminarios internos del Instituto de Geología, llegar a la conclusión definitiva que los depósitos de la localidad Ahuehuetes pertenecen al Paleógeno, lo que se confirmó cuando fueron encontrados otros palinomorfos índices en la región de Chigmecatitlán (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1994). Por último, una parte de los resultados palinoestratigráficos fue expuesta en Oaxtepec, estado de Morelos, durante la revisión general de la palinoestratigrafía del territorio nacional (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1995) y publicada un año después (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1996). En estos resultados destaca la edad eocénica de las unidades litoestratigráficas que yacen sobre las calizas lacustres de la Formación Pie de Vaca.

En resumen, el problema estratigráfico de las rocas terciarias, en la región de Tepexi de Rodríguez, se fue complicando por la falta de estudios litoestratigráficos serios que permitieran una buena cartografía geológica.

En este estudio se demuestra que la Formación Pie de Vaca (Pantoja-Alor *et al.*, 1989) no es pliocénica, y que en realidad su depósito ocurrió durante el Eoceno, por lo que puede considerarse perteneciente al Grupo Balsas *sensu* Fries (1960). En síntesis, esta investigación empezará a llenar el gran hiato que existe en la estratigrafía de un conjunto de formaciones, pertenecientes potencialmente al Grupo Balsas, y cuya edad siempre ha estado sujeta a discusión debido a la falta de bases paleontológicas o geocronométricas.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La región de estudio se encuentra geográficamente en la parte centromeridional del estado de Puebla, aproximadamente a 104 km al sudeste de su capital (Figura 1). La zona pertenece a la provincia fisiográfica del sur de Puebla y corresponde al extremo oriental de la cuenca del río Balsas. Esta depresión está delimitada hacia el norte por la Faja Volcánica Transmexicana, hacia el este por el sistema montañoso del norte de Oaxaca, y hacia el sur por la Sierra Madre del Sur.

Es una región que se caracteriza por lluvias escasas durante el verano, siendo los cuerpos permanentes de agua poco abundantes, como el río Laxamilpa, afluente del río Atoyac; sin embargo, las lluvias torrenciales, sumadas al gran número de fallas, han producido abundantes barrancos, donde afloran las diferentes unidades litológicas.

LOCALIDADES DE LAS SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS ESTUDIADAS

Aunque varias secciones fueron medidas en la región de Tepexi de Rodríguez, únicamente se presentará las localidades de importancia palinológica: Ahuehuetes sobre el río Laxamilpa (Figura 2), Punto Triple sobre Barranca Abuelo (Figura 2) y Chigmecatitlán sobre el río Atoyac (Figura 3), las cuales en algunos niveles presentan abundancia de palinomorfos (polen, esporas, algas, etc.). A continuación se describe la litoestratigrafía de las columnas establecidas en cada una de las localidades estudiadas.

LOCALIDAD AHUEHUETES

Se expone una secuencia volcániclastica de limolitas y areniscas de aproximadamente 15 m de espesor (Figura 4), que en su parte superior se encuentra en contacto discordante con conglomerados y areniscas (Figura 5) con restos de vertebrados pleistocénicos; mientras que la base de la sección está constitui-

da por calizas lacustres con huellas de vertebrados (Figura 6). El buzamiento de las capas volcániclasticas varía alrededor de los 15° y yacen concordantemente sobre las calizas lacustres con huellas de vertebrados con el mismo rumbo y buzamiento de alrededor de 17°. En la base de la sección, los primeros 3 m contienen restos abundantes de plantas y una gran riqueza de polen y esporas; tienen como característica el estar compuestos por lutita y limolita de color gris verdoso, que cambia a verde olivo claro, con laminaciones muy finas que varían desde 2 y 6 mm hasta varios centímetros de espesor. La secuencia continúa hacia la cima con limolitas que cambian a areniscas masivas tobáceas blanquecinas con restos escasos de plantas y sin palinomorfos. De los primeros 3 m, se tomó un total de siete muestras (registradas con las siglas Pb-5188 a la Pb-5194), recolectadas cada 40 cm, a partir de la base (Figura 4). Estas muestras tuvieron palinomorfos abundantes con excepción de las muestras Pb-5191, Pb-5192 y Pb-5193.

Es relevante resaltar que las calizas que forman la base de la localidad Ahuehuetes alcanzan un espesor de cerca de 50 m, cruzando la carretera La Colorada-Ixcaquiltla, y yacen sobre un conglomerado de tipo Balsas.

LOCALIDAD PUNTO TRIPLE

La Barranca Abuelo es un pequeño cañón, que comienza al noreste de la Cantera Tlayúa para terminar en la ribera meridional del río Laxamilpa. En el transecto de dicha barranca, afloran las secuencias de limolita, arenisca y arenisca conglomerática, de color verde olivo, amarillo verdoso a blanquecino, con un espesor de entre 6 y 25 m, las cuales descansan concordantemente sobre las calizas lacustres con huellas de vertebrados de la Formación Pie de Vaca. En varios puntos de esta barranca, las limolitas también contienen diatomeas dulceacuícolas, siendo una prueba del origen lacustre de estos sedimentos, cubiertos hacia la cima por sedimentos fluviales con diastratificación y abundante madera fósil silicificada, asociada a las areniscas conglomeráticas. La parte más importante de este cañón

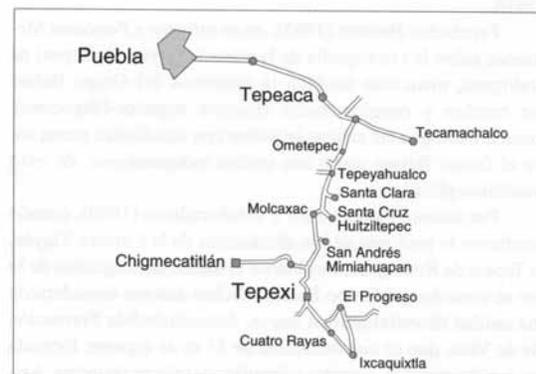
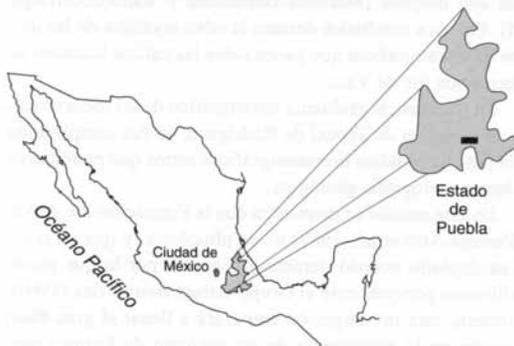


Figura 1. Localización del área de estudio.

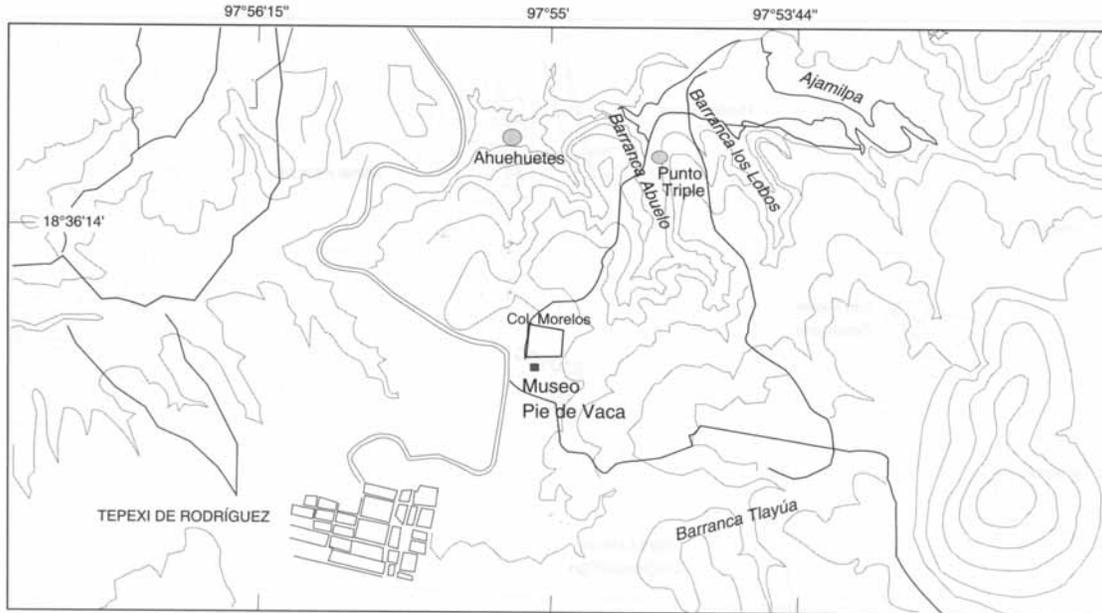


Figura 2. Localidades muestreadas en Ahuehuetes y Barranca Abuelo.

es la zona denominada por los autores Punto Triple, porque es en este punto donde las calizas de la Formación Tlayúa (Miembro inferior) están en discordancia angular con la secuencia eocénica y las capas del Pleistoceno—que yacen discordantemente sobre los sedimentos eocénicos—tienen fallas normalmente sobre las mismas calizas mesozoicas (Figura 7).

En el Punto Triple, la columna estratigráfica del Eoceno tiene un espesor de 20 m (Figura 8), con su base formada por 1 m de calizas lacustres en capas de 20 a 30 cm. A continuación, hay 2 m de lutitas y argilitas muy orgánicas, con laminaciones muy finas—de milímetros—cuyo contenido de materia orgánica va disminuyendo o presenta oxidación hacia la cima; después hay limolitas gris-verdosas y areniscas verdoso-amarillentas alternantes, con un espesor de cerca de 17 m. Hacia la cima, se presenta la discordancia con las capas pleistocénicas, marcada claramente por un conglomerado basal que yace sobre la secuencia eocénica. Solamente en los primeros 2 m que yacen sobre las calizas lacustres de la sección estratigráfica eocénica, se obtuvo una recuperación excelente de polen y esporas. En la Figura 8, se establece la columna estratigráfica con los niveles de donde fueron tomadas las muestras con sus números de catálogo correspondientes, resultando sólo tres muestras positivas: Pb-6819, Pb-3827 y Pb-6820, en la base de la sección, inmediatamente arriba de las calizas lacustres.

Las localidades Punto Triple, en la Barranca Abuelo, y Ahuehuetes, ubicada sobre el río Laxamilpa, quedan incluidas en la Formación Pie de Vaca, como los sedimentos volcánico-clásticos que yacen sobre las calizas lacustres con huellas.

LOCALIDAD CHIGMECATITLÁN

En el cañón del río Atoyac, en las inmediaciones de Chigmeocatitlán, a 18 km al noroeste de Tepexi de Rodríguez, se midió una sección litoestratigráfica con un espesor aproximado de 315 m (Figura 9). En los primeros 114 m, la columna estratigráfica está constituida por areniscas finas con icnofósiles en la base, cambiando a una alternancia de lutitas y argilitas pardo-amarillentas y limolitas gris-verdosas. Después, en el segundo tercio (114—219 m) de la sección, continúan areniscas blanquecinas de grano fino a conglomeráticas y limolitas grises a amarillentas y, finalmente, hacia la cima, los últimos 96 m se caracterizan por tener travertinos masivos porosos amarillentos a gris-rosáceos, en ocasiones con moldes de hojas y raíces. En esta secuencia, se efectuó el muestreo de cada cambio litológico importante, tomándose un total de 14 muestras, de las cuales sólo una resultó positiva (Pb-3713); se trata de una limolita amarilla, situada a unos 50 m de la base, yaciendo sobre las areniscas verdosas con ostrácodos e icnofósiles.

Con base en el contenido de polen, se postula que los primeros 219 m de la sección Chigmeocatitlán correspondan al Grupo Balsas (Martínez-Hernández *et al.*, 1986), por lo que esta parte de la columna es correlacionable con las secciones Ahuehuetes y Punto Triple de la Formación Pie de Vaca. En la Figura 10 se presenta la correlación tentativa de las tres localidades estudiadas. Los 96 m superiores de la columna de Chigmeocatitlán, constituidos por travertino, podrían corresponder a la Formación Agua de Luna de Pantoja y colaboradores (1989).

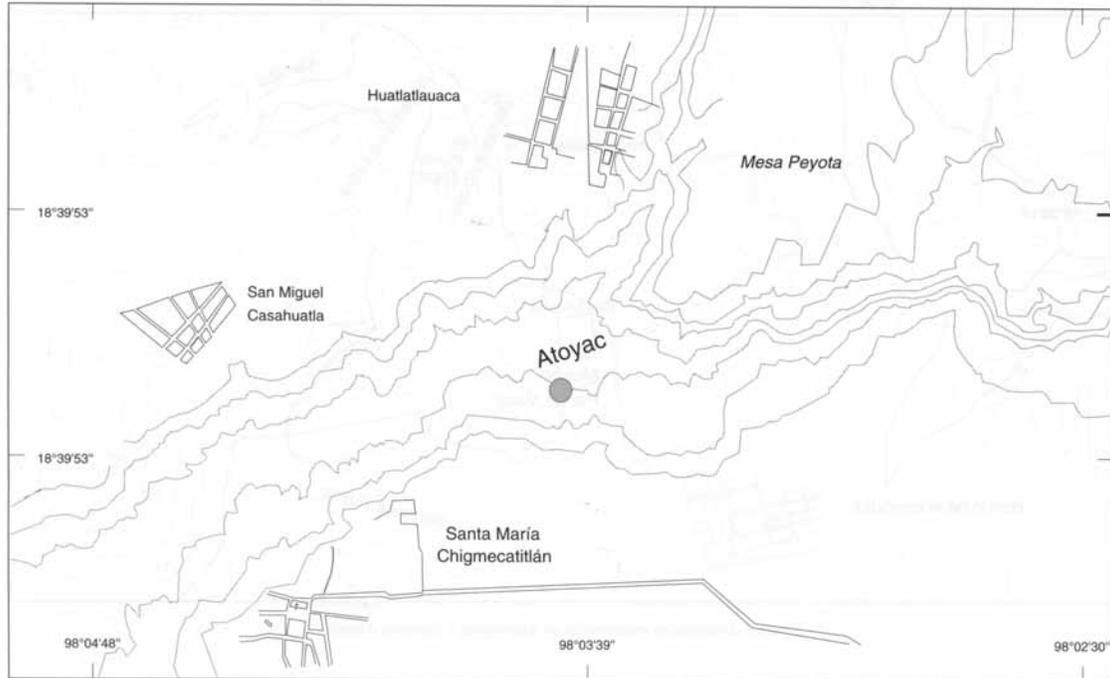


Figura 3. Localidad muestreada en Chigmecatitlán.

METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Las rocas fueron maceradas y tratadas químicamente, siguiendo las técnicas palinológicas estándar. En primer lugar, se trata la roca con HCl para disolver los carbonatos; después, al residuo se agrega HF para disolver los silicatos. Posteriormente, la muestra se trata con KOH y solución Schultz. Finalmente, el kerógeno que contiene los palinomorfos se separa de las sales insolubles por flotación, empleando bromuro de zinc. A continuación, se procede a elaborar las laminillas, para lo cual el residuo palinológico resultante se adhiere a un cubreobjeto con hidroxiacetil-celulosa, y después el cubreobjeto se coloca sobre un portaobjeto con bálsamo de Canadá como medio de montaje. Se deja secar las preparaciones quince días en un horno a 70°C.

Se llevó a cabo la identificación y conteo de 500 palinomorfos por muestra, con ayuda de un fotomicroscopio Zeiss, empleando siempre el objetivo de inmersión, luz normal y contraste de fases. Las fotografías de los granos de polen, en general, están amplificadas x 1,000 y, en los casos que no es así, se aclara en el contenido.

RESULTADOS PALINOLÓGICOS

En la localidad Ahuehuetes, los conjuntos palinológicos muestran una flora dominada por *Pinus* y *Picea*, y, como codo-

minantes, efedras y gramíneas (Figura 11). Otros taxa de importancia estratigráfica son las juglandáceas con *Engelhardtia*, ulmáceas, *Eucommia* y onagráceas. También, es notable la escasez de *Quercus* y asteráceas. Dentro de los helechos, domina la forma género *Laevigatosporites*; otras pteridofitas de importancia son los licopodios, las polipodiáceas y ciatáceas. La vegetación acuática está representada por las ciperáceas, tifáceas y pontedereáceas.

En la localidad Punto Triple, en la Barranca Abuelo (Figura 12), el conjunto palinológico está dominado, como en el caso de la localidad Ahuehuetes, por polen de coníferas (*Pinus*, *Picea*) y, como codominantes, gramíneas, cyperáceas, onagráceas y efedras. También están presentes elementos de bosques templados a subtropicales del Terciario, como *Ulmus* y *Engelhardtia* (complejo *Momipites*) y, en general, se encuentra los mismos taxa de importancia bioestratigráfica que en Ahuehuetes, como *Eucommia* y *Pterocarya*, aunque en diferentes frecuencias. Las pteridofitas están representadas principalmente por *Laevigatosporites*, licopodiáceas y ciatáceas. La vegetación subacuática está representada por abundantes ciperáceas, pontedereáceas, tifáceas, conjuntamente con una mayor diversidad de algas como *Pediastrum*, *Debarya* y *Mougeotia*.

En las dos localidades anteriores, la familia Onagraceae está muy bien representada por el género *Corsinopollenites*, con formas semejantes a *Lopezia* y *Ludwigia*.

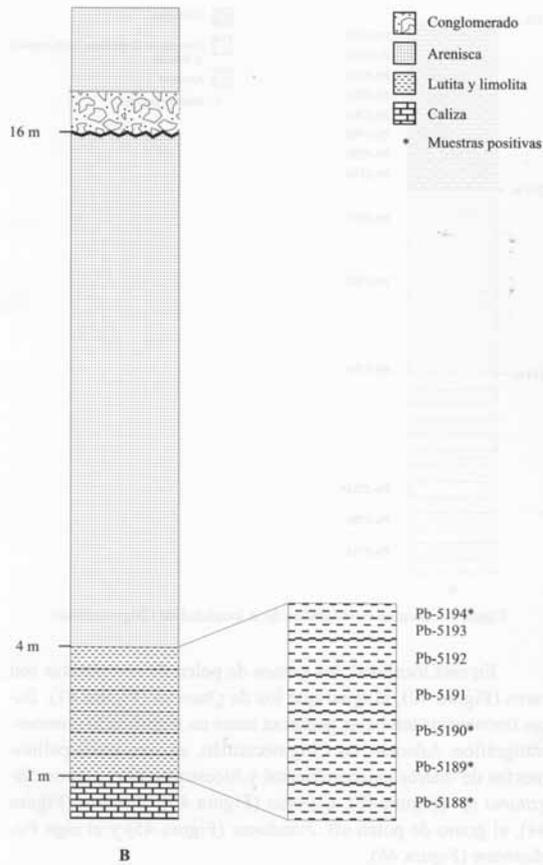


Figura 4. Columna estratigráfica de la localidad de Ahuehuetes.

Aunque existe una mayor diversidad en la localidad Punto Triple, las diferencias cualitativas en los conjuntos palinológicos en ambas localidades son mínimas (Figura 13), probablemente debidas a cambios de facies, por lo que se considera que las dos localidades sean isócronas.

En la localidad Chigmecatitlán, el conjunto palinológico también es diverso (Figura 14), con taxa comunes a los de las localidades Ahuehuetes y Punto Triple de Barranca Abuelo (Figura 13), con los mismos elementos dominantes de *Pinus* y *Picea* (Figura 15), aunque en esta sección el complejo *Momipites* es más diverso y abundante, al igual que las gramíneas con formas que oscilan entre menos de 20 (Figura 16) hasta más de 50 mm de diámetro (Figura 17).

Entre las especies de *Momipites* están *M. coryloides* (Figura 18), *M. microcoryphaeus* (Figura 19) y *M. triorbicularis* (Figura 20). También están presentes *Pterocarya* sp. (Figura 21), *Eucommia* sp. (Figura 22) y *Ulmus* (Figura 23), con bajas frecuencias como en las localidades Ahuehuetes y Punto Triple de Barranca Abuelo.



Figura 5. Discordancia en la localidad Ahuehuetes.

Además, en esta sección de Chigmecatitlán, se encontró otros taxa, fuera de conteo, de relevancia bioestratigráfica, que son granos de polen índices del Terciario de Europa y América del Norte, como *Erdtmanipollis* (Figura 24) y *Aglaoredia* (Figura 25). Otro género de importancia estratigráfica, exclusivo de esta localidad, es *Nuxpollenites* (Figura 26).



Figura 6. Caliza basal de la sección de Ahuehuetes.



Figura 7. Localidad del Punto Triple. Se observa, en primer plano, las calizas del basamento cretácico (Fm. Tlayúa) cubiertas en discordancia paralela por capas calcáreas y limoarcillosas del Terciario (Fm. Pie de Vaca) y, en el extremo superior izquierdo, el contacto por falla con sedimentos cuaternarios.

De consideración, también, son los taxa de las leguminosas, como *Acacia* spp. (Figuras 27 y 28) y *Caesalpinia* sp. (Figura 29); varias onagráceas de la forma género *Corsiniipollenites* (Figuras 30, 31 y 32); y miembros de la familia Bombacaceae, representada por *Bombacacidites* sp. (Figura 33). Es notoria la diversidad de gramíneas y efedras (Figuras 34, 35 y 36) y anacardiáceas cf. *Rhus* (Figura 37).

Como acompañantes de los bosques de coníferas de *Pinus* y *Picea*, pero en muy bajas frecuencias, aparecen fuera del conteo los granos de *Podocarpus* (Figura 38) y la forma género *Rugbivesiculites* (Figura 39).

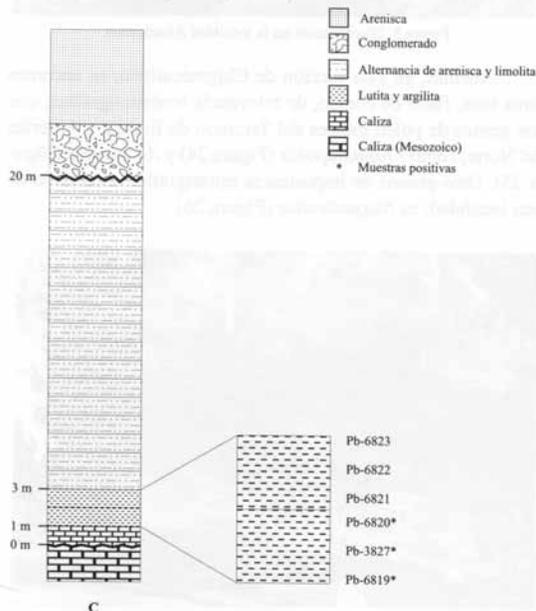


Figura 8. Columna estratigráfica de la localidad de Punto Triple.

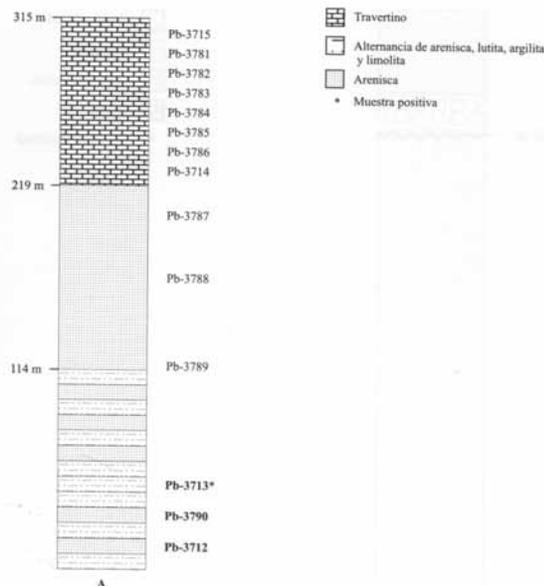


Figura 9. Columna estratigráfica de la localidad de Chigmeccatitlán.

En esta localidad, los granos de polen de compuestas son raros (Figura 40), al igual que los de *Quercus* (Figura 41). Estas frecuencias tan bajas pudieran tener un significado cronoestratigráfico. Además, en Chigmeccatitlán, existen otros palinormorfos de interés paleoambiental y bioestratigráfico, como *Sagittaria* sp. (Figura 42), *Cyperus* (Figura 43), *Armeria* (Figura 44), el grano de polen aff. *Pandanus* (Figura 45) y el alga *Pediastrum* (Figura 46).

En algunas localidades, aparecen taxa de importancia fitogeográfica fuera del conteo, como el género *Rhabdadenia* (Figura 47), en Ahuehuetes; el género *Dorstenia* (Figura 48), en la Barranca Abuelo; y *Catinipollis* aff. *geiseltalensis* (Figura 49), en Chigmeccatitlán.

PALINOESTRATIGRAFÍA Y CRONOESTRATIGRAFÍA

Con el fin de establecer el significado bioestratigráfico de los taxa considerados aquí, y así poder llegar a determinar la cronoestratigrafía de las rocas objeto de este estudio, es necesario ponderar la migración de las floras en respuesta a cambios climáticos, desde sus centros de origen hacia otras regiones. A partir del Cretácico-Terciario, las bandas climáticas latitudinales se van estableciendo, de tal manera que el clima tropical que dominaba Laurasia empieza a deteriorarse, con tendencia a una disminución de la temperatura y de la humedad relativa, debido a lo cual los taxa con requerimientos más tropicales van migrando hacia el sur, iniciándose la formación de bandas latitudinales de vegetación en el Terciario, a partir de las regiones polares hasta el Ecuador.

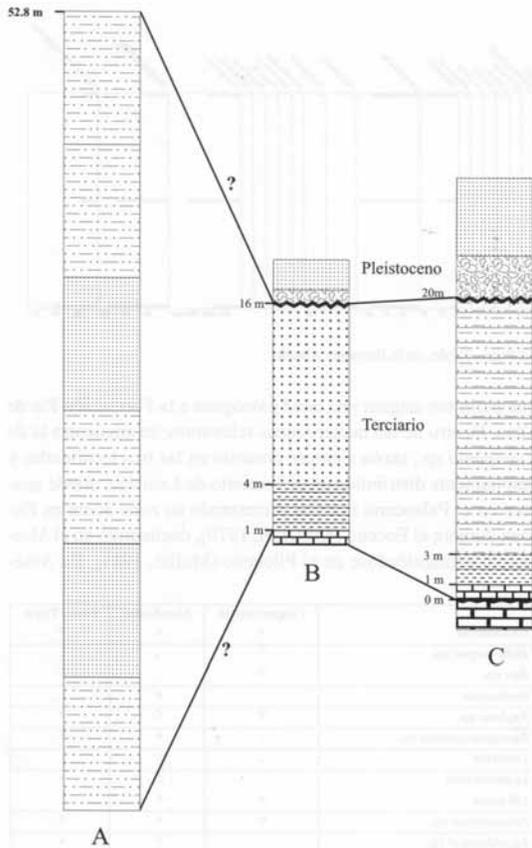


Figura 10. Correlación de las tres localidades muestreadas en: (A) Chigmecatitlán, (B) Ahuehuetes y (C) Punto Triple.

En consecuencia, el significado cronoestratigráfico de ciertos taxa puede variar, dependiendo de su paleocorología, lo que implica que un taxón de importancia bioestratigráfica como *Platycaria*, pueda ser índice del Cretácico Tardío o del Eoceno (Kedves, 1987), dependiendo de cuál fuera su centro de origen y su ruta migratoria (Kruttsch, 1989).

En el caso específico de la flora terciaria de América del Norte, en general sigue el patrón latitudinal de distribución postulado por Axelrod (1968) y Wolfe (1985), pero el problema de estas generalizaciones es considerar a toda la flora terciaria en territorio mexicano como tropical, simplemente por estar situada más cerca del ecuador. En realidad, los datos palinológicos generados hasta ahora al sur del río Bravo, permiten postular que durante el Paleógeno, existían dos grandes provincias florísticas (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1996). Una provincia se extendió por todo el occidente, asociada al vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, constituida por flora de afinidad templada a subtropical y aun pantropical. En contraste, la otra provincia, que ocupaba el oriente del territorio, se caracteriza porque la flora que prevaleció en el Paleoceno-Eoceno consiste, en su mayoría, de taxa de afinidad pantropical a neotropical, y los taxa templados se presentan con frecuencia muy baja en los conjuntos palinológicos (Martínez-Hernández *et al.*, 1982).

La flora terciaria de Tepexi de Rodríguez presenta afinidades con las lluvias de polen de las cuencas intermontanas terciarias de la región de las montañas Rocallosas, como se puede apreciar en los estudios de Leopold y MacGinitie (1972), Barnett (1989), y menor similitud con los conjuntos palinológicos del *Mississippi embayment*, caracterizado por una vegetación semidecídua paratropical a tropical (Frederiksen, 1991). Puede afirmarse, por tanto, que la flora Tepexana terciaria es una extensión meridional de las floras templadas a subtropicales que caracterizan el occidente de América del Norte durante el Terciario. Lo anterior implica que las condiciones climáticas eran

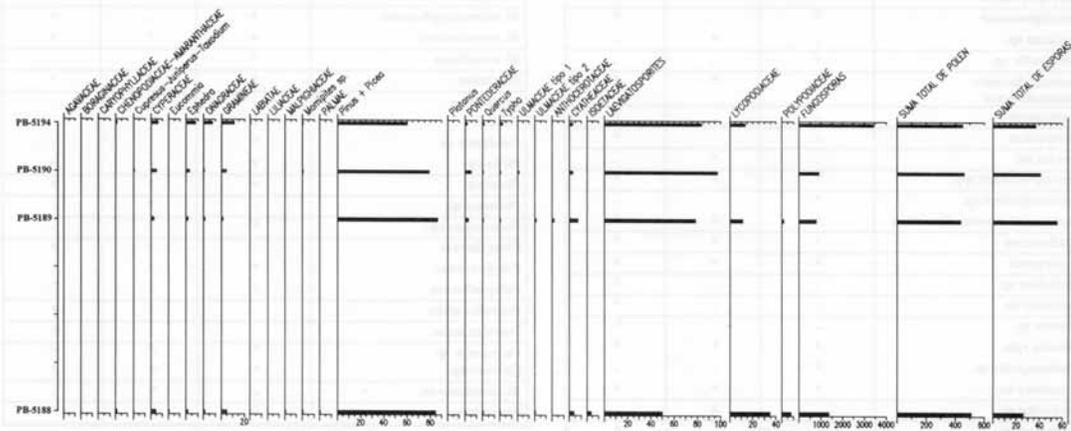


Figura 11. Diagrama polínico de la sección Ahuehuetes.

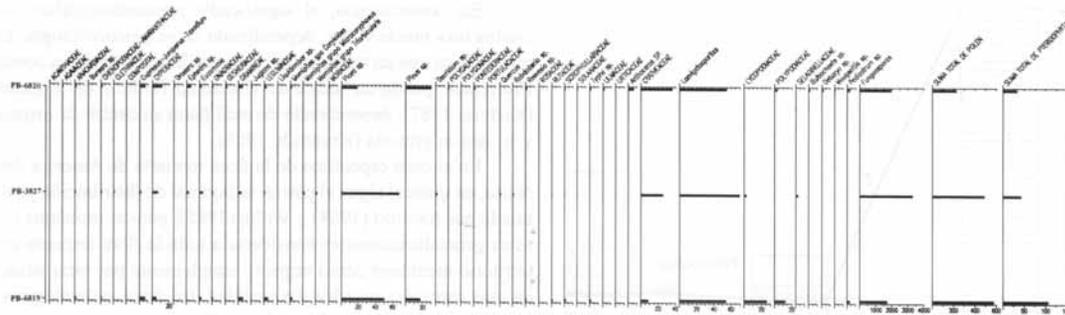


Figura 12. Diagrama polínico de la sección del Punto Triple, en la Barranca Abuelo.

similares en toda esta vasta región del oeste de América del Norte, descartándose la hipótesis alternativa de que la flora de Tepexi de Rodríguez sea el resultado de una migración pancrónica de la flora terciaria de las montañas Rocallosas hacia el sur de México, en respuesta a cambios climáticos.

En la Figura 50, se muestra los palinomorfos bioestratigráficamente más importantes y se aprecia diferentes biozonas

que permiten asignar una edad paleógena a la Formación Pie de Vaca. Dentro de las hemerozonas relevantes, se encuentra la de *Eucommia* sp., taxón siempre presente en las tres localidades y ampliamente distribuido en el Terciario de Laurasia, donde aparece en el Paleoceno inferior, alcanzando su zona acme en Europa durante el Eoceno (Kruttsch, 1970), declinando en el Mioceno y extinguiéndose en el Plioceno (Muller, 1981). En Amé-

	Chigmeatitlán	Ahuehuetes	Punto Triple
<i>Anthoceros</i>	-	*	○
<i>Abies</i> sp.	○	-	-
<i>Acacia</i> spp.	*	-	-
Acanthaceae	-	-	*
Agavaceae	*	*	*
<i>Aglaoredia</i> sp.	-	-	○
Anacardiaceae	*	-	*
<i>Armeria</i> sp.	○	-	-
<i>Betula</i> sp.	○	*	-
Bignoniaceae	-	○	○
<i>Bombacaidites</i> sp.	○	-	-
Boraginaceae	-	*	-
<i>Bursera</i> sp.	*	-	*
<i>Carya</i> sp.	○	-	○
Caryophyllaceae	*	*	-
Caesalpinaceae	○	-	○
<i>Castanea</i> sp.	-	*	-
<i>Cutinipollis</i> sp.	○	-	-
Chenopodiaceae-Amaranthaceae	*	*	*
Clethraceae	-	-	*
Compositae	-	-	*
<i>Corylus</i> sp.	-	*	-
<i>Corsiniipollenites</i> spp.	○	*	*
<i>Cretaceiporites</i> sp.	*	-	-
<i>Cupressus-Juniperus-Taxodium</i>	*	*	*
Cyathaceae	*	*	○
Cyperaceae	*	*	*
<i>Dacridium</i> sp.	-	-	○
<i>Dorstenia</i> sp.	-	-	○
<i>Drosera</i> sp.	-	-	○
<i>Ephedra</i> spp.	*	*	*
<i>Erdmaniipollis</i> sp.	○	-	-
<i>Eucommia</i> sp.	*	*	*
<i>Euphorbia</i> sp.	-	*	-
Gesneriaceae	-	-	*

	Chigmeatitlán	Ahuehuetes	Punto Triple
Gramineae	*	*	*
<i>Helicarpus</i> sp.	○	-	-
<i>Ilex</i> sp.	○	-	○
Isotaceae	-	*	-
<i>Juglans</i> sp.	○	○	*
<i>Laevigatosporites</i> sp.	-	*	○
Labiatae	-	*	-
Leguminosae	-	*	*
Liliaceae	*	*	-
<i>Lycopodium</i> sp.	○	*	○
<i>Liquidambar</i> sp.	-	○	*
Malpighiaceae	-	*	○
Malvacipollis sp.	○	-	-
Meliaceae	-	*	-
<i>Momipites coryloides</i>	*	*	*
<i>M. microcoryphaeous</i>	*	-	*
<i>M. triorbicularis</i>	*	○	*
<i>M. triradiatus</i>	*	-	-
Moraceae	*	○	*
Myrtaceae	-	*	-
Palmae	-	*	-
<i>Pandanus</i> sp.	○	-	-
<i>Picea</i> sp.	*	*	*
<i>Pinus</i> sp.	*	*	*
<i>Platanus</i> sp.	-	*	-
<i>Podocarpus</i> sp.	○	○	-
Polygalaceae	-	*	*
Polygonaceae	*	*	*
Polypodiaceae	*	*	○
Pontederaceae	-	*	*
Portulacaceae	-	-	*
<i>Pterocarya</i> sp.	○	○	○
<i>Quercus</i> sp.	*	*	*
<i>Rhabdadenia</i> sp.	-	○	-
<i>Revesia</i> sp.	○	-	*

Figura 13. Tabla de presencia de polen, esporas y algas en las localidades Chigmeatitlán, Ahuehuetes y Punto Triple.

	Chigmecatitlán	Ahuehuetes	Punto Triple
Rosaceae	-	-	*
<i>Rugubivesiculites</i> sp.	o	-	-
Rutaceae	-	-	*
<i>Sagittaria</i> sp.	o	-	-
Sapotaceae	o	-	-
Sapindaceae	-	-	o
Scrophulariaceae	-	-	*
Selaginellaceae	-	*	o
Solanaceae	-	-	*
<i>Sphagnum</i> sp.	o	-	o
Tiliaceae	-	*	-
<i>Typha</i> sp.	*	*	*
Ulmaceae	*	*	*
Urticaceae	*	*	*
Algas dulceacuícolas			
<i>Debarya</i> sp.	-	-	*
<i>Mougeotia</i> sp.	-	-	*
<i>Pediastrum</i> sp.	*	*	-

Figura 13. Tabla de presencia de polen, esporas y algas en las localidades Chigmecatitlán, Ahuehuetes y Punto Triple—continuación.

rica del Norte, Leopold y MacGinitie (1972) lo consignan desde el Eoceno inferior hasta el Oligoceno en la parte central de Estados Unidos, y Frederiksen (1983) lo cita para el Eoceno medio de California. En cuanto al registro paleobotánico de *Eucommia*, comprende edades que van del Eoceno al Mioceno (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1994a), indicando una amplia distribución laurásica de *Eucommia* a lo largo del Terciario. Actualmente, existe una sola especie relictas en los bosques mesófilos de China, cuya paleocorología es un claro ejemplo de las afinidades fitogeográficas de las floras relictas de América del Norte y los taxa relictos que se encuentran en la parte central de China.

La familia Juglandaceae es la mejor representada en los sedimentos de Tepexi de Rodríguez, con *Momipites* (*Engelhardtia*), *Juglans* y *Pterocarya*, taxa de amplia distribución durante el Terciario en el hemisferio norte, algunos de los cuales aún perduran en Asia, como *Pterocarya* y *Platycarya*, conjuntamente con *Engelhardtia* (*Momipites*) (Stone y Broome, 1975; Manning, 1978). Dentro de esta familia, la forma género *Momipites* constituye los granos de polen más característicos del Terciario de Europa y América del Norte (Nichols, 1973). El caso específico de *Momipites* (*Engelhardtia*) tiene un amplio registro fósil en el Terciario de México, en formaciones del Paleógeno y del Neógeno (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1993). Las especies de *Momipites* de relevancia en Punto Triple y Ahuehuetes son *M. coryloides* y *M. microcoryphaeus*. Aunque en baja proporción, *Pterocarya* es otro taxón que nos permite hacer correlaciones en las tres localidades. En Chigmecatitlán, se encuentra *Momipites coryloides*, *M. microcoryphaeus*, *M. triorbicularis* y *M. triradiatus*.

La evolución del grupo *Momipites* sigue conservando su valor cronoestratigráfico en América del Norte (Nichols, 1973), a pesar de que en Europa se ha demostrado que las características que delimitan algunas especies del género *Momipites* se traslapan (Manning, 1978). En América del Norte, los alcances estratigráficos de algunas de estas especies son muy amplios, con hemerzonas que van desde el Paleoceno hasta el Mioceno, como *M. coryloides*; en contraste, *M. triorbicularis* y *M. triradiatus* son índices para el Paleógeno, y *M. microcoryphaeus* caracteriza estratos eocénicos (Figura 50).

En la familia Ulmaceae, los granos de polen de *Ulmus* sp. son semejantes a los ilustrados por Manchester (1989a) en las estructuras reproductoras de *Cedrelospermum nervosum*, carac-

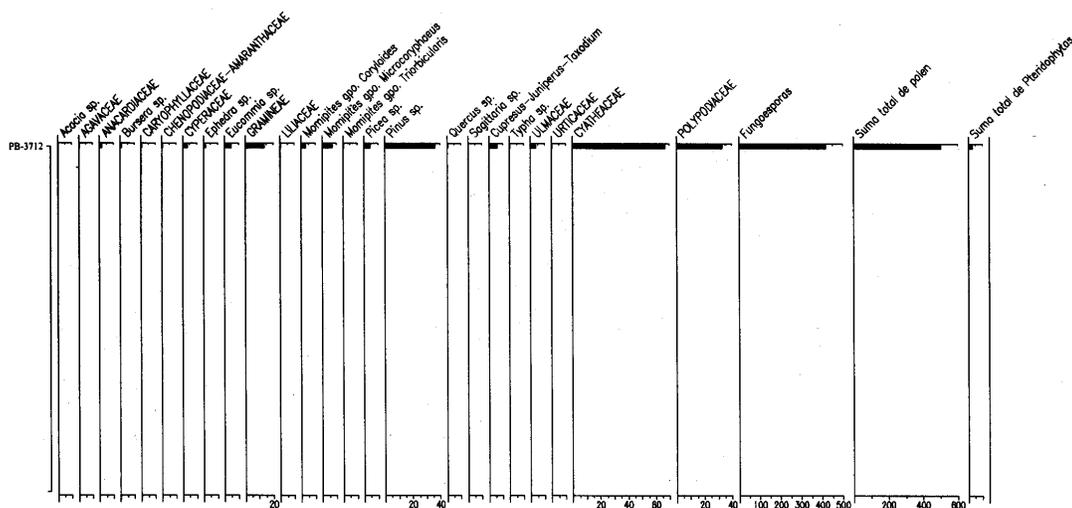
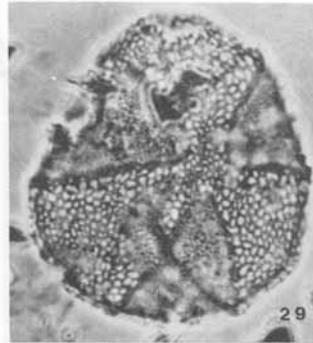
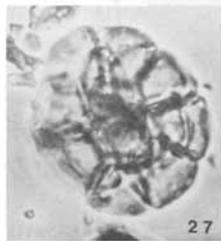
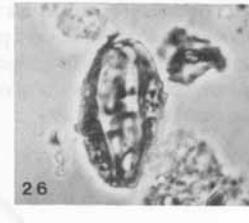
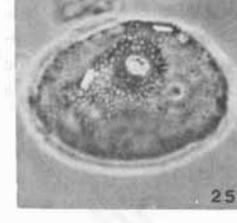
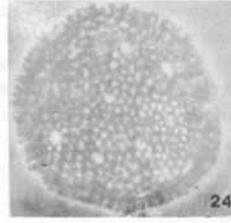
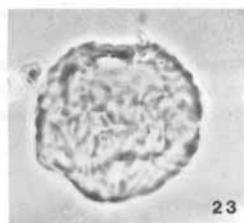
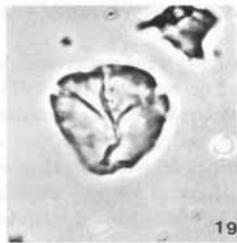
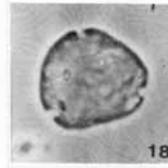
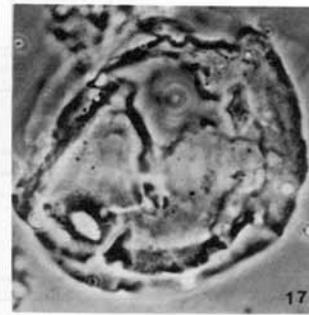
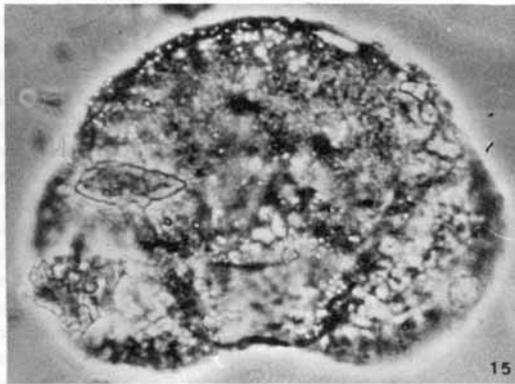


Figura 14. Diagrama polínico de la sección de Chigmecatitlán.



terizados por tener microverrugos sobre la superficie finamente rugosa y de cuatro a cinco poros. Además, en los sedimentos existen otros granos de *Ulmus* sin microverrugos. La historia fósil de esta familia en América del Norte se extiende hasta el Cretácico Tardío, pero su diversificación se da desde el Terciario temprano hasta el Terciario medio (Manchester, 1989b).

La familia Onagraceae está muy bien representada en todas las localidades por el género *Corsinopollenites*, con formas semejantes a *Lopezia* y *Ludwigia*, ampliamente distribuidas en localidades eocénicas y oligocénicas de América del Norte (Frederiksen, 1983).

Existen taxa de importancia cronoestratigráfica que sólo se presentan en la localidad de Chigmecatitlán, como *Aglaoredia*, *Erdtmanipollis*, *Pandanus*, *Nuxpollenites* y *Bombacacidites*, cuyos alcances estratigráficos en América del Norte confirman la antigüedad de los sedimentos de la región de Tepexi de Rodríguez (Figura 50).

Inicialmente, *Aglaoredia* fue descrito en el Eoceno tardío del sur de Inglaterra por Erdtman (1960), como órgano género de afinidad incierta que algunos autores relacionan con la familia Restionaceae. Posteriormente, se consigna en el Oligoceno de la Isla de Wight y en el límite Eoceno-Oligoceno de Inglaterra (Fowler, 1971); en el noroeste de Europa, su alcance estratigráfico va del Eoceno tardío al Oligoceno medio (Krutzschn, 1963). En América del Norte, sólo se cita en rocas eocénicas del sureste de Estados Unidos (Muller, 1981). Los granos de polen de *Aglaoredia* de Tepexi de Rodríguez son semejantes a los de la especie *A. pristina*, por su tamaño total y diámetro del poro (Fowler, 1971); en contraste, difiere de la misma, por el tamaño de las lúminas del retículo, que son de menos de 2 mm de diámetro. Por la bioestratigrafía conocida para *Aglaoredia*, se puede concluir que esta restionácea podría ser considerada un fósil índice del Eoceno tardío en la región de Tepexi de Rodríguez.

La forma género *Erdtmanipollis*, que pertenece a la familia Buxaceae, palinológicamente comprende dos géneros modernos, que son *Pachysandra* (se encuentra como relicto en el sureste de E.U.A.), y *Sarcococca* (presente en México y Guatemala), con una amplia distribución tropical a subtropical en China y en la región de India-Malaya (Gray y Sohma, 1964). *Erdtmanipollis* es de amplia distribución en Laurasia en Europa y América durante el Cretácico Tardío y Terciario. En América del Norte, es importante durante el Cretácico Tardío en Canadá y Estados Unidos. Durante el Eoceno, *Erdtmanipollis* ya no se presenta en latitudes altas, y sólo en la región de las montañas Rocallosas y California hasta el Mioceno; mientras que en el sureste de Estados Unidos, *Pachysandra* tiene un registro cenozoico continuo hasta el presente (Krutzschn, 1989).

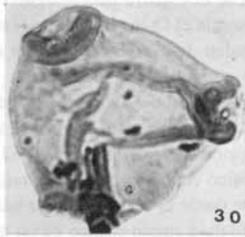
La familia Pandanaceae tiene el registro más antiguo en el oeste de América del Norte, durante el Cretácico Tardío (Jarzen, 1978). Posteriormente, el polen de *Pandanus*, durante el Terciario temprano, se distribuye ampliamente en Eurasia y África, mientras que en América del Norte expande su alcance geográfico, tanto a la región de las montañas Rocallosas como a la parte suroriental del *Mississippi embayment* (Jarzen, 1983). Por lo tanto, el alcance estratigráfico conocido para *Pandanus*, en América del Norte, se extiende desde el Maastrichtiano hasta el Eoceno tardío, constituyendo un ejemplo clásico de un taxón boreotropical, que emigró tanto en longitud hacia el este, como en latitud hacia el sur. Por lo anterior, la presencia de este taxón en la región de Tepexi de Rodríguez indicaría una edad eocénica para las unidades en estudio.

El género *Nuxpollenites*, descrito por Elsik (1974) para unidades del Eoceno medio en el Grupo Wilcox, caracteriza unidades terciarias del *Mississippi embayment* y a otras formaciones del este de América del Norte (Frederiksen, 1983). Este género no se presenta en las formaciones terciarias de las montañas Rocallosas, lo que hace que la flora eocénica de Tepexi de Rodríguez sea única, esté dominada por los taxa del oeste de América del Norte, aun cuando tenga algunos elementos comunes con la flora Terciaria del este.

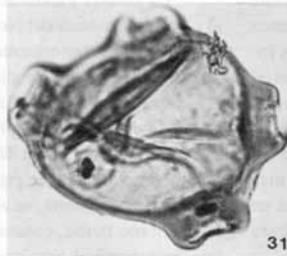
La importancia bioestratigráfica de *Bombacacidites* comienza en el Cretácico Tardío de América del Norte, pero es durante el Terciario temprano cuando se distribuye ampliamente en Europa, América del Sur y África (Krutzschn, 1989). En América del Norte, alcanza su distribución más amplia durante el Paleoceno-Eoceno, como parte de la flora tropical que proliferó al norte del Tethys. En México, se presenta en el Paleoceno de Baja California y en la cuenca de Burgos en Tamaulipas (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1993). Con base en su aparición temprana y diversificación de *Bombacacidites* en América del Norte, y su presencia en otras formaciones terciarias, este taxón refuerza la edad eocénica de los sedimentos en estudio.

Catinipollis aff. *geiseltalensis* constituye otro grano de polen índice para el Terciario de Tepexi de Rodríguez, tectado y periporado. Fue descrito originalmente en el Eoceno medio de Alemania por Krutzschn (1966), posteriormente consignado en California, Estados Unidos, por Drugg (1967), para el límite Cretácico-Terciario, y por Frederiksen (1983) para el Eoceno medio. Son inciertas las afinidades biológicas de este taxón, pero su ornamentación urceolada es semejante a la de los granos de polen de *Pinanga aristata* y *Pinanga pilosa*. Aun cuando estos granos de polen de areáceas son intectados y sulcados, existen especies dentro del género que son tectadas y semitectadas (Ferguson *et al.*, 1983).

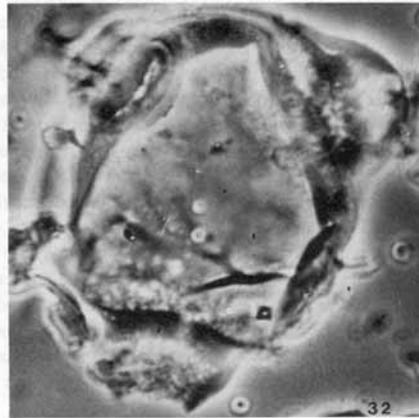
Figuras 15–29. Figura 15, *Picea*, X40, 78 x 54 µm, Pb-3713 (4), coordenadas (105.6 x 16.9). Figura 16, Gramínea <20 µm, Pb-5189 (8), coordenadas (104.8 x 13.2). Figura 17, Gramínea >50 µm, Pb-3713 (4), coordenadas (105.1 x 10.6). Figura 18, *Momipites coryloides*, Pb-3713 (2), coordenadas (101.1 x 9.3). Figura 19, *Momipites microcoryphaeus*, Pb-3713 (2), coordenadas (101.6 x 6.2). Figura 20, *Momipites triorbicularis*, Pb-3713 (4), coordenadas (106.1 x 3.9). Figura 21, *Pterocarya*, Pb-5188 (2), coordenadas (113.9 x 18). Figura 22, *Eucommia* sp., Pb-3713 (2), coordenadas (113.9 x 18). Figura 23, *Ulmus*, Pb-3713 (2), coordenadas (113.8 x 116.9). Figura 24, *Erdtmanipollis*, Pb-3713 (4), coordenadas (106.6 x 6.4). Figura 25, *Aglaoredia*, Pb-3713 (2), coordenadas (105.5 x 17.7). Figura 26, *Nuxpollenites*, Pb-3713 (4), coordenadas (99.1 x 17.2). Figura 27, *Acacia*, 33 µm, Pb-3713 (2), coordenadas (103.9 x 20). Figura 28, *Acacia*, 82 µm, Pb-3713 (6), coordenadas (104.2 x 12). Figura 29, *Caesalpinia*, Pb-3713 (2), coordenadas (102.1 x 4.8).



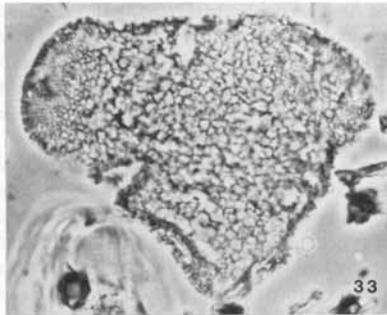
30



31



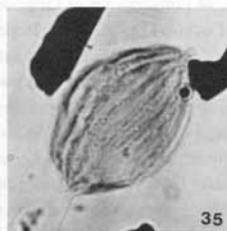
32



33



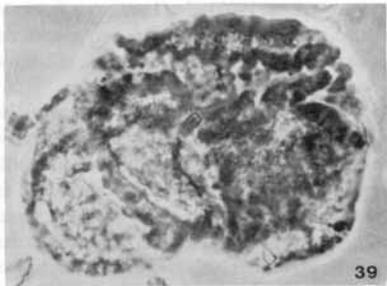
34



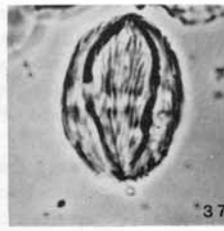
35



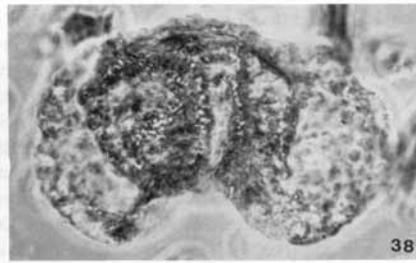
36



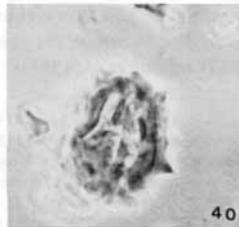
39



37



38



40



41

Por otro lado, en los conjuntos palinológicos de la región, existen taxa con porcentajes muy bajos, como *Quercus* spp., y representantes de la familia Compositae, los cuales aparecieron fuera del conteo. La escasez de compuestas podría indicar una antigüedad paleógena temprana para las unidades en estudio en Tepexi de Rodríguez, las cuales empiezan a ser importantes en los conjuntos palinológicos en América del Norte hasta el Mioceno (Leopold y MacGinitie, 1972). El mismo tratamiento bioestratigráfico se aplica al género *Quercus*, abundante a partir del Oligoceno-Mioceno. En consecuencia, las frecuencias bajas de los granos de polen de compuestas y de encinos, coloraría los sedimentos en estudio de Tepexi de Rodríguez como eocénico-oligocénicas. Esta edad estaría en desacuerdo con la abundancia de gramíneas, o podría ser resultado de una diversificación temprana de gramíneas en el Eoceno de Tepexi de Rodríguez, como en el caso de las gramíneas en el Oligoceno de la Formación San Gregorio de Baja California Sur (Martínez-Hernández y Ramírez-Arriaga, 1993).

PALEOAMBIENTES DE DEPÓSITO

Desde el punto de vista paleoecológico, la presencia y predominio de masas de algas de agua dulce, como *Pediastrum* y *Debaria*, sugieren un ambiente lacustre para el depósito de los sedimentos de Punto Triple en Barranca Abuelo, así como los de la localidad Ahuehuetes, que yacen sobre las calizas lacustres de la Formación Pie de Vaca. En estas dos localidades, además de *Picea* y *Pinus*, son muy abundantes las esporas de helechos y briofitas, lo que indica un clima húmedo, asociado a gradientes altitudinales de temperatura. Por otra parte, la presencia de los granos de polen de plantas subacuáticas—ponte-deráceas, cyperáceas y tifáceas—con las algas, indica que son depósitos lacustres.

La muestra positiva de Chigmecatitlán se caracteriza por la gran diversidad de polen alóctono con abundantes coníferas, gramíneas, ulmáceas y varias especies de *Momipites*, representantes de los diferentes tipos de vegetación que proliferaban a lo largo de un gradiente altitudinal en la cercanía de la cuenca de depósito. Entre los granos de polen de importancia en la determinación de ambientes sedimentarios, está *Aglaoredia*, monocotiledónea pionera de ambientes dulceacuícolas a salobres parálidos durante el Terciario en Europa (Fowler, 1971). Lo anterior implica la existencia de un ambiente estuarino a parálido en la región de Chigmecatitlán, con implicaciones paleogeográficas relevantes, ya que extiende el Terciario de ambientes costeros transicionales hasta esta región del territorio nacional. Dicha hipótesis podría reforzarse por la presencia de *Armeria* sp. (Figura 44), que incluye especies que pueden vivir tanto en las cos-

tas rocosas, como en los páramos de las zonas montañosas de Europa y América del Sur (Willis, 1973). Estas condiciones ambientales, que son contrastantes desde el punto de vista de la altitud, podrían reforzar el ambiente palustre con base en *Aglaoredia*.

En Chigmecatitlán, están presentes palinomorfos de interés paleoambiental, como *Sagittaria* sp., *Cyperus*, *Pandanus* y el alga *Pediastrum*. Estos taxa indican la presencia de una vegetación subacuática asociada a cuerpos de agua dulce o salobre.

El hábitat del género *Pandanus* es relevante, ya que éste actualmente tiene 600 especies que forman parte importante de la vegetación tropical que crece en las regiones costeras, formando parte de los manglares en el sureste asiático, Indonesia, Filipinas, sur de la India, norte de Australia, islas en el océano Índico, llegando hasta el oeste de África (Stone, 1976). En consecuencia, la presencia de *Pandanus* en la localidad de Chigmecatitlán indicaría una zona litoral, i.e., un ambiente estuarino conectado a los lagos interiores de la localidad Ahuehuetes.

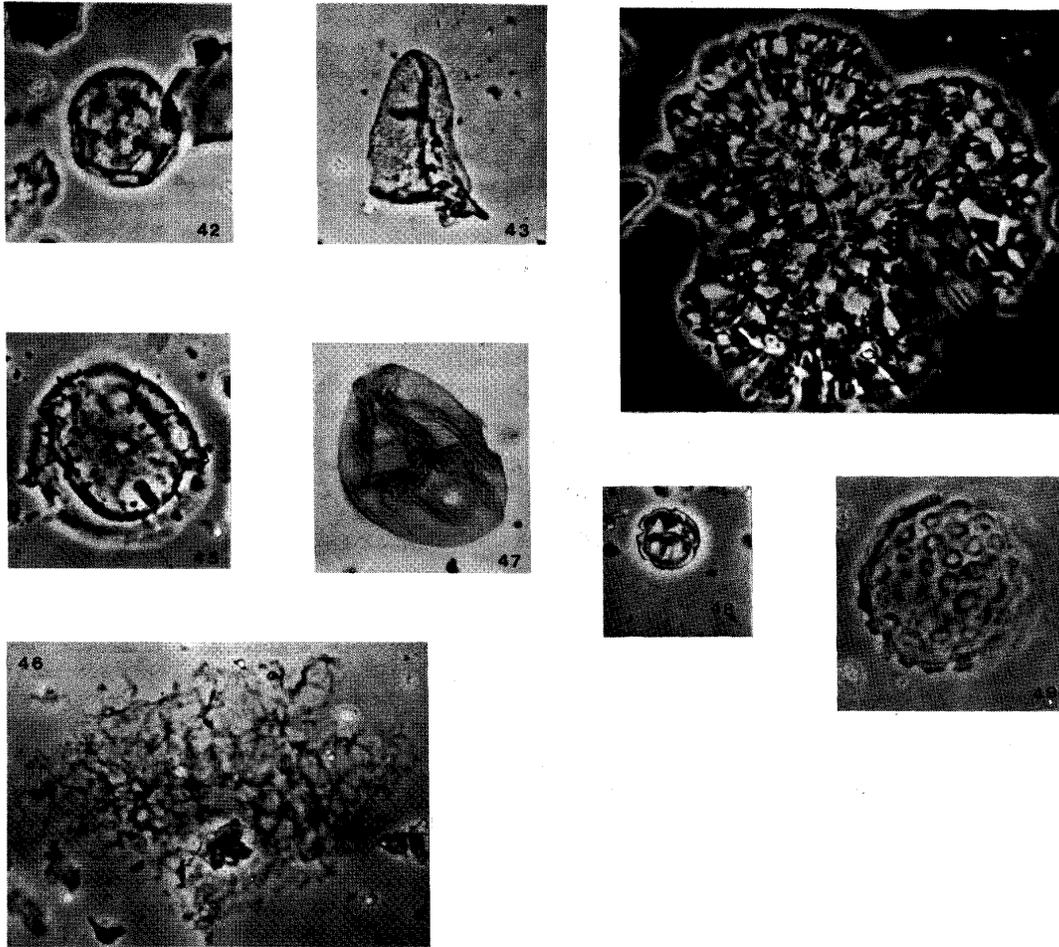
CONSIDERACIONES CLIMÁTICAS

En los sedimentos terciarios de la región de Tepexi de Rodríguez, la mayoría de las especies de granos de polen, que constituyen los conjuntos palinológicos, es alóctona, porque son el resultado del transporte, ya sea por viento o corrientes de agua a la cuenca de depósito. En consecuencia, los conjuntos palinológicos depositados en determinado ambiente sedimentario, representan mezclas de varios tipos de floras que constituirían las comunidades riparias, las locales y las regionales, que circunscribían la cuenca de depósito. Debido al abundante vulcanismo y tectonismo terciario, la paleotopografía del territorio fue muy variada, por lo que se interpreta las floras presentes en los conjuntos palinológicos, con base en una zonación de la vegetación que obedece a gradientes altitudinales, con los correspondientes cambios de humedad y temperatura. En el caso de los sedimentos del Paleógeno, no se puede aplicar directamente el principio del actualismo, ya que los mosaicos de vegetación fueron diferentes a los actuales; no obstante, se puede postular, con base en algunos elementos florísticos subacuáticos (autóctonos), locales y regionales, las condiciones climáticas que prevalecieron durante el tiempo de depósito.

FLORA REGIONAL

Las localidades Ahuehuetes y Punto Triple están caracterizadas por la presencia de bosques de coníferas, con abundan-

Figuras 30–41. Figura 30, *Corsinipollenites*, 40 µm, Pb-5188 (2), coordenadas (109.2 x 11). Figura 31, *Corsinipollenites*, 48 µm, Pb-3713 (4), coordenadas (106.2 x 11.2). Figura 32, *Corsinipollenites*, 70 x 60 µm, Pb-3713 (3), coordenadas (199 x 13). Figura 33, *Bombacacidites*, Pb-3713 (2), coordenadas (101.2 x 114.3). Figura 34, *Ephedra*, Pb-3713 (2), coordenadas (108 x 10.8). Figura 35, *Ephedra*, Pb-3713 (1), coordenadas (100 x 14.9). Figura 36, *Ephedra*, Pb-3713 (2), coordenadas (110 x 15.5). Figura 37, *Anacardiaceae* cf. *Rhus*, Pb-3713 (2), coordenadas (101.8 x 16.5). Figura 38, *Podocarpus*, Pb-3713 (4), coordenadas (100.6 x 12). Figura 39, *Rugubivesiculites*, Pb-3713 (4), coordenadas (100.6 x 12.8). Figura 40, *Compositae*, Pb-3713 (6), coordenadas (114.5 x 10). Figura 41, *Quercus*, Pb-3713 (6), coordenadas (108.2 x 9.1).



Figuras 42–49. Figura 42, *Sagittaria*, Pb-3713 (2), coordenadas (103.7 x 12.2). Figura 43, *Cyperus*, Pb-3713 (3), coordenadas (106 x 6.7). Figura 44, *Armeria*, Pb-3713 (3), coordenadas (10.8 x 12). Figura 45, *Pandanus*, Pb-3713 (6), coordenadas (108.5 x 16). Figura 46, *Pediastrum*, Pb-3713 (2). Coordenadas (100 x 10.9). Figura 47, *Rhabdadenia*, Pb-5188 (1), coordenadas (99.8 x 14). Figura 48, *Dorstenia*, Pb-5188 (2), coordenadas (91.3 x 9.1). Figura 49, *Catinipollis* aff. *geessel-talensis*, Pb-3713 (2), coordenadas (105.6 x 12.6).

cia de *Pinus* y *Picea*, creciendo en las serranías, seguidas por un ecotono con diversidad de gramíneas, *Ephedra* spp. y helechos. Lo anterior indica un clima templado-frío en las cimas y subtropical-seco en las llanuras, aunque otras especies indican también la existencia de un clima más húmedo en las laderas inferiores al bosque de coníferas o en las cañadas, como son los árboles de *Engelhardtia* (*Momipites* spp.), *Platanus* y *Ulmus* (Figura 51).

En la región de Chigmecatitlán, la flora regional también está representada por bosques de coníferas (*Pinus* y *Picea*), que ocupaban las montañas cercanas, con un régimen templado a frío, como lo podría indicar también la presencia de *Armeria* sp.

En las laderas húmedas templadas a subtropicales, existía un bosque mesófilo con dominio de especies de *Engelhardtia* (*Momipites* spp.), betuláceas y juglandáceas. Esta forma género *Momipites* se presenta desde el Cretácico, y está ampliamente distribuido en el Terciario de América del Norte, asociado a varios tipos de vegetación, por lo que se puede considerar como taxa pantropicales, que fueron restringiendo su distribución hasta quedar confinados en la actualidad a algunas regiones del territorio nacional, formando parte importante de la vegetación conocida como bosque mesófilo de montaña (*cloud forest*), donde proliferaba *Eucommia* y *Pachysandra* (*Erdtmanipollis* sp.) (Figura 51).

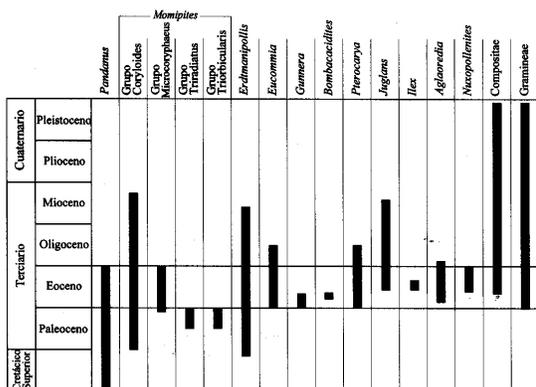


Figura 50. Alcances estratigráficos de granos de polen índices en América del Norte presentes en Tepexi de Rodríguez.

Erdtmanipollis es un taxón pantropical que muestra patrones de migraciones y extinciones a partir del Cretácico Tardío, proliferando en climas tropicales húmedos en la parte septentrional de Laurasia, de donde se distribuyó a latitudes más bajas en respuesta a cambios climáticos. Aunque en América del Norte Gray y Sohna (1964) consideran a *Erdtmanipollis* componente de la flora Arcto-Terciaria, debido a que no se conocían los registros del Cretácico, cuando este taxón formaba parte de la flora boreal-tropical *sensu* Wolfe (1975, 1977), la cual durante el Eoceno tuvo una distribución amplia en el corredor del Tethys (Tiffney, 1985).

Debido a que *Pachysandra* comparte su historia terciaria en el oeste de América del Norte con otros géneros del bosque mesófilo decídulo, que ahora crecen en la parte central de China, Japón y en los estados atlánticos del sureste de Estados Unidos, donde se mezcla con *Pinus* y *Quercus*, se considera que la presencia de *Pachysandra* con otras evidencias palinológicas, indica la extensión más meridional de las floras terciarias que prevalecieron en latitudes medias en el Eoceno en América del Norte. Actualmente, en territorio mexicano existe el bosque mesófilo de montaña, vegetación que representa un refugio ecológico donde están presentes muchos taxa relictos del Terciario de América del Norte.

En cuanto a la abundancia de gramíneas y ulmáceas, las primeras podrían estar formando parte de los bosques de coníferas o de la selva baja, mientras que las segundas, de la vegetación mesófila o de la selva baja que crecía en las planicies.

FLORA LOCAL

La Formación Pie de Vaca en Punto Triple y Ahuehuetes, se caracteriza por el dominio de efedras, quenopodiáceas, helechos y gramíneas, que formaban parte del sotobosque de una selva baja, con algunos árboles y arbustos, pertenecientes a las familias Leguminosae, Malpighiaceae, Liliaceae, Agavaceae y Arecaceae. Las condiciones climáticas, aunque con una marca-

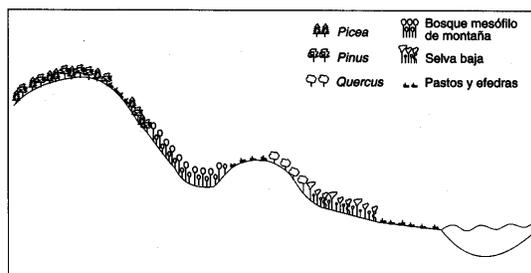


Figura 51. Modelo del perfil de vegetación propuesto para la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla, durante el Eoceno.

da estación de sequía, pudieron haberse caracterizado por temperaturas altas con abundante precipitación durante la mayor parte del año.

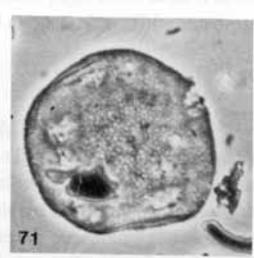
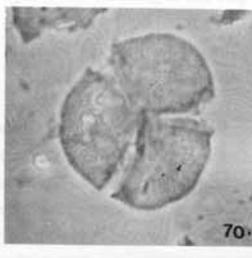
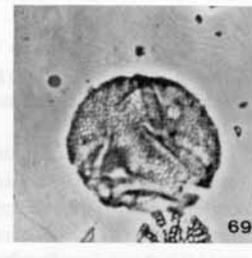
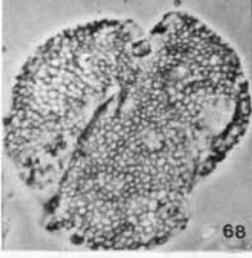
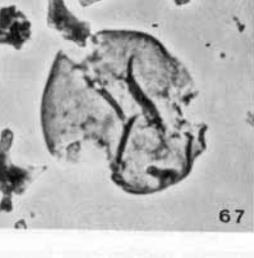
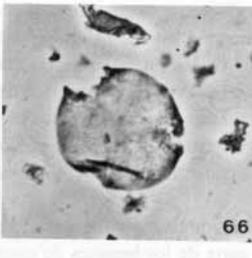
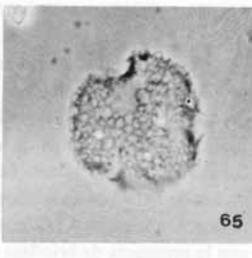
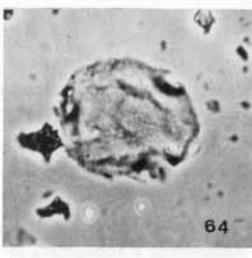
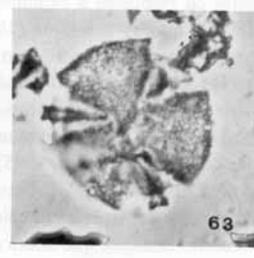
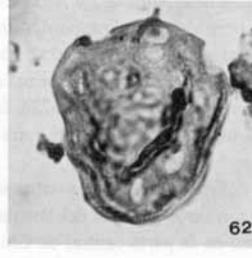
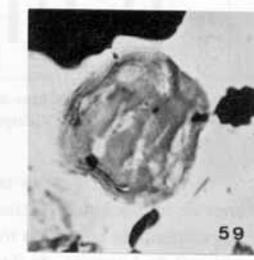
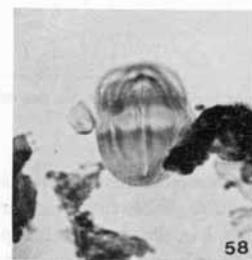
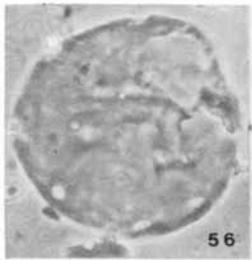
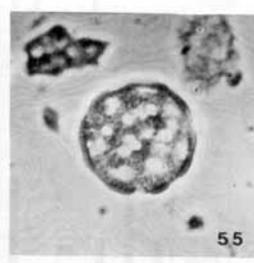
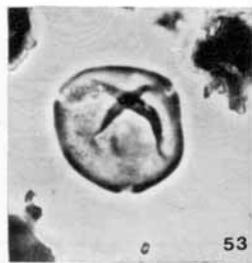
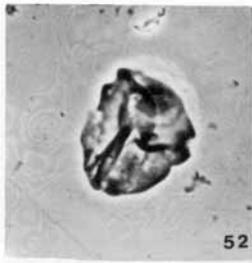
En el caso de Chigmeacatlán, localmente la selva baja tiene como representantes a las burseráceas, anacardiáceas, bombacáceas, sapotáceas y leguminosas (*Caesalpinia* y *Acacia*). Las diferencias en la flora local, entre las regiones de Tepexi de Rodríguez y Chigmeacatlán, pudieran deberse a una temporalidad diferente de las floras, o a las diferencias en altitud con menos elevación, por lo que las condiciones climáticas en la última zona son más tropicales que en la región de Tepexi de Rodríguez, debido a una diferencia de altitud. La presencia de *Pandanus* corrobora esta hipótesis, por tratarse de una monocotiledónea tropical de ambientes costeros y del género *Armeria*, que incluye especies que viven en terrenos rocosos al nivel del mar. En cuanto a las ulmáceas, gramíneas y efedráceas, éstas podrían formar parte de las diferentes asociaciones vegetales previamente mencionadas para las localidades Ahuehuetes y Punto Triple.

FLORA AUTÓCTONA SUBACUÁTICA

En la región Barranca Abuelo y localidad Ahuehuetes, proliferó una vegetación con ciperáceas, pontederáceas, además de otras hierbas representadas por onagráceas y cariofiláceas. En cuanto a las esporas de la Formación Pie de Vaca, la abundancia de la forma género *Laevigatosporites* indica una proliferación de helechos asociados a la humedad que prevalecía en la región. Otras esporas pertenecientes a *Lycopodium*, *Selaginella*, con la presencia de briofitas como *Anthoceros* y *Sphagnum*, señalan condiciones de humedad a lo largo de los gradientes altitudinales de la región.

En la flora autóctona de la localidad de Chigmeacatlán, abundan ciperáceas y polygonáceas. Las esporas no son tan abundantes y están representadas sólo por *Polypodium* y *Cyathea*.

En consecuencia, podría asumirse que los tipos de clima variaban, desde un Cw en las partes más altas, donde la flora de coníferas Arcto-Terciaria proliferaba, hasta la base de las serranías, en cuyas laderas el clima se convertía en más cálido y húmedo (Cxc) con *Engelhardtia*, *Ilex*, *Betula*, *Eucommia*. Por otro



lado, en las partes más bajas prevalecía el clima con menos precipitación, correspondiendo al más húmedo de los Bs, donde el sotobosque de la selva baja podría estar ocupado por diversas especies de *Ephedra* spp., helechos y gramíneas. Las especies actuales de efedras en América del Norte se presentan en los márgenes de los desiertos subtropicales o formando parte de selva baja. En los climas más cálidos y húmedos de esta región, formando los diversos mosaicos de vegetación, encontraron refugio los taxa pantropicales, como formas pertenecientes a las bombacáceas, leguminosas, buxáceas, juglandáceas, malpighiáceas, etc., que se originaron en el Cretácico Tardío de América del Norte y fueron migrando hacia el sur como estrategia de sobrevivencia a los cambios climáticos. De acuerdo con las consideraciones anteriores, en la Figura 51 se presenta el modelo de la vegetación propuesto, con base en la analogía de la vegetación que crece actualmente en el estado de Nayarit (MacGinitie, 1974).

CONCLUSIONES

La palinoestratigrafía de las rocas asociadas a la Formación Pie de Vaca señala una edad eocénica, con base en las hemerzonas de los géneros de importancia en el Terciario de América del Norte, como *Pterocarya* y *Platycarya* y las varias especies de *Momipites* (Nichols, 1973). Todos estos géneros pertenecen a la familia Juglandaceae, con una amplia distribución en el Terciario de América del Norte, Europa y Asia (Manchester, 1989b), y cuyos granos de polen presentan tendencias evolutivas especializadas que permiten su identificación y registro continuo a partir del Paleoceno, y facilitan la determinación de su afinidad con los géneros actuales (Stone y Broome, 1975; Manning, 1978).

En relación con las zonas de apogeo de la región de Tepexi de Rodríguez, los conjuntos palinológicos presentan similitud con las zonas de abundancia del Terciario continental de la parte central de Estados Unidos (Leopold y MacGinitie, 1972), con la diferencia de que en las cuencas terciarias de las montañas Rocallosas se presentan *Platycarya* y *Pistillipollenites*,

mientras que en Tepexi de Rodríguez existe una mayor abundancia y diversidad de *Momipites* (*Engelhardtia*), efedráceas y gramíneas. La presencia de gramíneas, ulmáceas, *Pachysandra*, onagráceas y coníferas abundantes y angiospermas de afinidades tropicales, es semejante a los conjuntos palinológicos que Gray (1964) describió para el Oligoceno de Oregon, E.U.A., y presentan taxa comunes con el estudio de Barnett (1989), para la Formación Weaverville del noroeste de California, donde la flora es más diversa y con abundancia de granos de polen de compuestas, por lo que el autor la considera del Mioceno temprano a medio, a pesar de la presencia de géneros típicos del Eoceno de América del Norte.

La flora representada en el Terciario de Tepexi de Rodríguez, se puede considerar como la extensión más meridional de las floras mesófilas subtropicales mezcladas con floras tropicales: Bombacaceae, Bahunia, Reevesia, moráceas y apocináceas que caracterizaron el Terciario de la parte occidental de América del Norte; así como un corredor para la flora Arcto-Terciaria y flora neotropical. A pesar de que en los conjuntos palinológicos no existe una clara línea divisoria entre los taxa pantropicales, neotropicales y arcto-terciarios, es evidente que esta región es un centro de evolución y origen de nuevas taxa, dada la confluencia de tipos de vegetación tan diversos. Con base en los análisis palinoestratigráficos, la edad de la Formación Pie de Vaca puede considerarse como perteneciente al Paleógeno tardío (Eoceno-Oligoceno).

Entre las evidencias que apuntalan la antigüedad de los sedimentos asociados con las calizas lacustres de Pie de Vaca, se encuentra el tipo de permineralización que presentan los troncos fosilizados, que son abundantes en las areniscas que yacen concordantemente sobre las calizas, los cuales están impregnados por sílice en un grado variable, aun cuando generalmente la silicificación es total, de tal manera que en un corte petrográfico, en la mayoría de los casos, no se observa algún tipo de tejido (Cevallos-Ferriz, comunicación personal). Esta preservación pseudomórfica implica varias etapas de permineralización con la pérdida total de materia orgánica (Schopf, 1975). Generalmente, en areniscas fluviales cuaternarias, la silicifica-

Figuras 52–71. Las figuras de la 52 a la 71 ilustran diferentes granos de polen que muestran la variabilidad y diversidad de los conjuntos palinológicos de las secciones estudiadas en la región de Tepexi de Rodríguez. Figura 52, *Momipites*, del grupo *Microcorypheus*, en el que la exina se pliega en forma aleatoria, en ocasiones semejando *Platycarya*, Pb-5188 (2), coordenadas (93.8 x 17). Figura 53, *Momipites*, del grupo *Microcorypheus*, en el que la exina se pliega en forma de cruz, Pb-5190 (5), coordenadas (97 x 16). Figura 54, *Graminae* mostrando dos poros, Pb-3713 (3), coordenadas (107.3 x 18.5). Figura 55, Grano de polen de *Che-nopodiaceae-Amarantaceae*, Pb-5188 (2), coordenadas (101.1 x 17.9). Figura 56, *Juglans* sp., Pb-3713 (2), coordenadas (106.6 x 3.6). Figura 57, *Ulmus* sp. mostrando cinco poros y rugulas muy cortas, Pb-5194 (3), coordenadas (92.1 x 8.5). Figura 58, *Polygalaceae*, grano de polen con seis aberturas estefanocolporado y con una endoabertura continua que constituye un *costae ecuatoriales*, eje polar 20 µm y eje ecuatorial 14 µm, Pb-5190 (7), coordenadas (95 x 16). Figura 59, *Polygalaceae*, grano de polen con ocho aberturas estefanocolporado, endoporos, lolongados y exoaberturas con membrana psilada; escultura verrugada; eje polar, 25 µm; eje ecuatorial, 22 µm; Pb-3713 (3), coordenadas (113.7 x 19.6). Figura 60, *Malvacipollis* aff. *spinulosa*, espécimen de 23 µm que lo hace diferente de *M. spinulosa* que es de mayor tamaño, Pb-3713 (3), coordenadas (116.6 x 18.1). Figura 61, *Malvacipollis spinulosa*, espécimen de 30 µm, se observan tres aberturas alineadas en el ecuador, Pb-3713 (6), coordenadas (108.2 x 16.5). Figura 62, *Liquidambar* sp., Pb-5189 (2), coordenadas (92.8 x 20). Figura 63, cf. *Alchornia* sp., se observa la membrana colpal y una exina subtectada, microrreticulada; Pb-3713 (3), coordenadas (96.5 x 11.4). Figura 64, *Bursera* sp., exina subtectada, reticulada-estriada, Pb-3713 (2), coordenadas (116.6 x 21.1). Figura 65, *Fremontodendrom* sp., Pb-3713 (2), coordenadas (118.3 x 17.8). Figura 66, Polen tricolpado no identificado; grano en vista polar, tectado con patrón reticulado; Pb-5188(2), coordenadas (102.5 x 11.6). Figura 67, Polen tricolpado no identificado, vista polar exina subtectada microrreticulada; Pb-5190 (7), coordenadas de (94.2 x 15). Figura 68, *Platanus* sp., Pb-3713 (2), coordenadas (117.5 x 17.8). Figura 69, Polen tricolpado no identificado, vista meridional con exina microrreticulada, aberturas con membrana colpal psilada; Pb-3713 (2), coordenadas (101.5 x 21.5). Figura 70, cf. *Gunnera*, vista polar, grano tricolpado, tectado, microrreticulado, 28 µm, Pb-3713 (3), coordenadas (101.8 x 8.2). Figura 71, Polen periporado no identificado, poros de 4 µm, ulcerados con membrana verrugada; exina subtectada, reticulada; Pb-3713 (3), coordenadas 100.7 x 7.5).

ción de las maderas es gradual, de tal manera que si estos troncos fueran pliocénico-pleistocénicos, una parte de los tejidos debería haberse conservado (St. John, 1927), lo que no es el caso de las maderas fósiles que yacen sobre la Formación Pie de Vaca.

La deformación estructural de toda la unidad corrobora la edad eocénica establecida en este estudio para la Formación Pie de Vaca, con capas cuyo rumbo es muy variable y con un buzamiento que oscila entre 10 y 20°. Esta inclinación contrasta con la horizontalidad de los estratos pleistocénicos que yacen sobre ella y que contienen restos de caballos, glyptodontes y mastodontes. Esta unidad pleistocénica generalmente no presenta deformación, con excepción de algunas fallas, donde las unidades del Pleistoceno, del Terciario y las calizas de la Formación Tlayúa están en contacto, como es el caso de la localidad Punto Triple, en la Barranca Abuelo, que se presenta en este estudio. En la mayoría de los casos que pueden ser observados, la unidad pleistocénica—hasta la fecha no nombrada formalmente—descansa discordantemente sobre la Formación Pie de Vaca, a lo largo de las barrancas que se encuentran al norte y noreste de la Formación Tlayúa, y en la ribera meridional del río Laxamilpa, como en el caso de la localidad Ahuehuetes.

Confirmar la edad eocénica de las unidades asignadas al Grupo Balsas requiere de trabajos interdisciplinarios y de una cobertura palinoestratigráfica mayor de otras unidades litoestratigráficas de la Mixteca poblana en la región de Tepexi de Rodríguez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Applegate, S.P., 1987, A preliminary study of the Tlayúa Quarry near Tepexi de Rodríguez, Puebla: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, v. 1, núm. 1, p. 40–54.
- Applegate, S.P.; Espinosa-Arrubarrera, Luis; y López-Neri, Pompeyo, 1984, Las calizas litográficas de la cantera Tlayúa en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México: *Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional*, 7, México, D.F., Libro guía de la excursión, 83 p.
- Axelrod, D.I., 1968, Tertiary floras and topographic history of the Snake River Basin, Idaho: *Geological Society of America Bulletin*, v. 79, p. 713–734.
- Barnett, Jeanie, 1989, Palynology and paleoecology of the Tertiary Weaverville formation, northwestern California, U.S.A.: *Palynology*, v. 13, p. 195–246.
- Cserna, Zoltan de; Ortega-Gutiérrez, Fernando; y Palacios-Nieto, Miguel, 1980, Reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto río Balsas, estados de Guerrero y Puebla, in *Excursión geológica a la parte central de la cuenca del alto río Balsas, estados de Guerrero y Puebla*: *Sociedad Geológica Mexicana, Libro guía de la excursión*, p. 1–33.
- Drugg, W.S., 1967, Palynology of the Upper Moreno Formation (Late Cretaceous-Paleocene), Escarpado Canyon, California: *Palaeontographica*, pte. B, v. 120, p. 1–17.
- Elsik, W.C., 1974, Characteristic Eocene palynomorphs in the Gulf Coast, U.S.A.: *Palaeontographica*, B. 149, p. 90–111.
- Erdtman, Gunnar, 1960, On three new genera from the Lower Headon Beds, Hampshire: *Botaniska Notiser*, v. 113, p. 46–48.
- Ferguson, Y.K.; Dransfield, J.; Page, F.C.; y Thanikaimoni, G., 1983, Notes on the pollen morphology of *Pinanga* with special reference to *P. aristata* and *P. pilosa* (Palmae: Arecoideae): *Grana*, p. 65–72.
- Fernández-Becerra, Salvador, 1985, Medidas preliminares de columnas estratigráficas en la Cantera Tlayúa, Tepexi de Rodríguez, Puebla: *Petróleos Mexicanos, Superintendencia General de Distritos de Exploración Petrolera, Zona Centro, Poza Rica, Distrito Vertiente del Pacífico, Informe Proyecto IGPR-247-A*, 30 p., 6 anexos.
- Fowler, K., 1971, A new species of *Aglaoredia* Erdtm. from the Eocene of southern England: *Pollen et Spores*, v. 13, p. 135–147.
- Frederiksen, N.O., 1983, Angiosperm pollen and miscellanea, in *Frederiksen, N.O.; Lowe, R.D.; y Wosika, E.P., eds., Middle Eocene palynomorphs from San Diego, California*: *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series*, núm. 12, p. 32–109.
- , 1991, Pulses of middle Eocene to earliest Oligocene climate deterioration in southern California and the Gulf Coast: *Palaios*, v. 6, p. 564–571.
- Fries, Carl, Jr., 1960, Geología del estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín* 60, 236 p.
- Gray, Jane, 1964, Northwest American Tertiary palynology—the emerging picture, in *Crawell, L.M., ed., Ancient Pacific Floras, The Pollen Story*: Honolulu, Hawaii, University of Hawaii Press, p. 21–30.
- Gray, Jane, y Kankichi, Sohma, 1964, Fossil *Pachysandra* from western America with a comparative study of pollen in *Pachysandra* and *Sarcococca*: *American Journal of Science*, v. 262, p. 1159–1197.
- Jarzen, D.M., 1978, Some Maestrichtian palynomorphs and their phytogeographical and palaeoecological implications: *Palynology*, v. 2, p. 29–38.
- , 1983, The fossil record of the Pandanaceae: *Garden Bulletin Sing.*, v. 36, p. 163–175.
- Kédves, Miklós, 1987, Paleophytogeography of the Angiosperm pollen grains during the Upper Cretaceous and the Tertiary: *Acta Biologica Szeged*, v. 33, p. 35–47.
- Krutzsch, Wilfried, 1963, Zur regionalen und stratigraphischen Verbreitung von *Aglaoredia cyclops* Erdtman 1960: *Grana Palynologica*, v. 4, p. 121–129.
- , 1966, Zur kenntnis der praequartaeren periporaten Pollenformen: *Geologie Beihefte*, v. 15, p. 16–71.
- , 1970, Zur kenntnis fossiler disperser tetradenpollen: *Palaentol. Abh. B*, v. 3, p. 399–433.
- , 1989, Paleogeography and historical phytogeography (paleoecology) in the Neophyticum: *Plant Systematic Evolution*, v. 162, p. 5–61.
- Leopold, E.B., y MacGinitie, H.D., 1972, Development and affinities of Tertiary floras in the Rocky Mountains, in *Graham, A., ed., Floristics and paleofloristics of Asia and eastern North America*: Elsevier, p. 147–200.
- MacGinitie, H.D., 1974, An early middle Eocene flora from the Yellowstone-Absaroka volcanic province, northwestern wind river basin, Wyoming: *University of California Publications in Geological Sciences*, v. 108, p. 1–103.
- Magallón-Puebla, S.A., y Cevallos-Ferriz, S.R.S., 1993, A fossil earthstar (Geasteraceae; Gasteromycetes) from the late Cenozoic of Puebla, Mexico: *American Journal of Botany*, v. 80, p. 1162–1167.
- , 1994a, *Eucommia constans* n. sp. fruits from upper Cenozoic strata of Puebla, Mexico—morphological and anatomical comparison with *Eucommia ulmoides* Oliver: *International Journal Plant Sciences*, v. 155, p. 80–95.
- , 1994b, Fossil legume fruits from Tertiary strata of Puebla, Mexico: *Canadian Journal of Botany*, v. 72, p. 1027–1038.
- Manchester, S.R., 1989a, Attached reproductive and vegetative remains of the extinct American-European genus *Cedrelospermum* (Ulmaceae) from the early Tertiary of Utah and Colorado: *American Journal of Botany*, v. 76, p. 256–276.
- , 1989b, Systematics and fossil history of the Ulmaceae, in *Crane, P.R., y Blackmore, S., eds., Evolution, Systematics, and Fossil History of the Hamamelidae; volume 2, Higher Hamamelidae: Systematics Association Special Volume*, v. 2, núm. 49B, p. 221–251.
- Manning, E.W., 1978, The classification within the Juglandaceae: *Missouri Botanical Garden Annals*, v. 65, p. 1058–1087.
- Martínez-Hernández, Enrique; Hernández-Campos, Héctor; y Sánchez-López, Magnolia, 1982, Palinología del Eoceno en el noroeste de México: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, v. 4, p. 155–156.

- Martínez-Hernández, Enrique; Applegate, S.P., y Quezada-Flores, Armando, 1986, Estudio palino-estratigráfico de rocas sedimentarias del Neógeno, en el área de Chigmeacatlán, municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Coloquio de Paleobotánica y Palinología, 6, Memorias, p. 27 (resumen).
- Martínez-Hernández, Enrique, y Ramírez-Arriaga, Elia, 1993, Vegetation mosaics during the Neogene at Tepexi de Rodríguez, Puebla: Taxco, Guerrero, International Conference on Climate Change in Mexico, 1^a, Programa y Resúmenes, p. 72 (resumen).
- 1994, Presencia de *Erdtmanipollis* Krutsh 1962, *Aglaoredia* Erdtman 1969 y *Apectodinium* (Costa Downie, 1976) Lentin y Williams 1977, en el Terciario de Tepexi de Rodríguez, Puebla y sus implicaciones cronoestratigráficas, fitogeográficas y paleogeográficas: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, Coloquio Internacional de Paleobotánica y Palinología, 8, Programa y Resúmenes, p. 8 (resumen).
- 1995, Palaecorología de angiospermas de la flora mexicana durante el Mesozoico y Terciario—evidencias palinológicas: Morelos, Congreso Mexicano de Botánica, 13, La vegetación de México—una visión histórica.
- 1996, Palaecorología de angiospermas de la flora mexicana durante el Mesozoico y Terciario—algunas evidencias palinológicas: Boletín de la Sociedad Mexicana de Botánica de México, v. 58, p. 87-97.
- Muller, Jan, 1981, Fossil pollen records of extant angiosperm: The Botanical Review, v. 47, núm. 1, p. 1-142.
- Nichols, D.J., 1973, North American and European species of *Momipites* ("Engelhardtia") and related genera: Geoscience and Man, v. 7, p. 103-117.
- Padilla y Sánchez, R.J., 1973, Estudio geológico general de la Sierra del Tentzo, estado de Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 66 p. (inédita).
- Pantoja-Alor, Jerjes, 1990, Geología y paleoambiente de la cantera Tlayúa, Tepexi de Rodríguez, estado de Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 9, núm. 2, p. 156-169.
- Pantoja-Alor, Jerjes; Malpica-Cruz, V.M.; y Galguera-Rosas, Gerardo, 1989, Geología de los alrededores de la cantera Tlayúa, Tepexi de Rodríguez, Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Simposio sobre Geología Regional de México, 3, México, D.F., Memoria, p. 61-69.
- Schopf, J.M., 1975, Modes of fossil preservation: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 20, núm. 1-2, p. 27-53.
- St. John, R.N., 1927, Replacement vs. impregnation in petrified wood: Economic Geology, v. 22, p. 729-739.
- Stone, B.C., 1976, On the biogeography of *Pandanus* (Pandanaeae): C.R. Soc. Biogeog., v. 458, p. 69-90.
- Stone, D.E., y Broome, C.R., 1975, Juglandaceae A. Rich. ex Kunth.: World Pollen and Spore Flora, v. 4, 35 p.
- Tiffney, B.H., 1985, The Eocene North Atlantic land bridge—its importance in Tertiary and modern phytogeography of the northern hemisphere: Journal of the Arnold Arboretum, v. 66, p. 243-273.
- Willis, J.C., 1973, A dictionary of the flowering plants and ferns. Press, 8^a ed. (revisada por H.K. Airy Shaw): Cambridge, Mass., Cambridge University Press, 1245 p.
- Wolfe, J.A., 1975, Some aspects of plant geography of the northern hemisphere during the Late Cretaceous and Tertiary: Missouri Botanical Garden Annals, v. 62, p. 264-279.
- 1977, Paleogene floras from the Gulf of Alaska region: U.S. Geological Survey Professional Paper, v. 997, p. 1-108.
- 1985, Distribution of major vegetational types during the Tertiary, in Sundquist, E.T., y Broecker, W.S., eds., The carbon cycle and atmospheric CO₂—natural variations Archaean to Present: American Geophysical Union Monograph, v. 32, p. 357-375.

Manuscrito enviado: 16 de diciembre de 1998

Manuscrito aceptado: 21 de septiembre de 1999

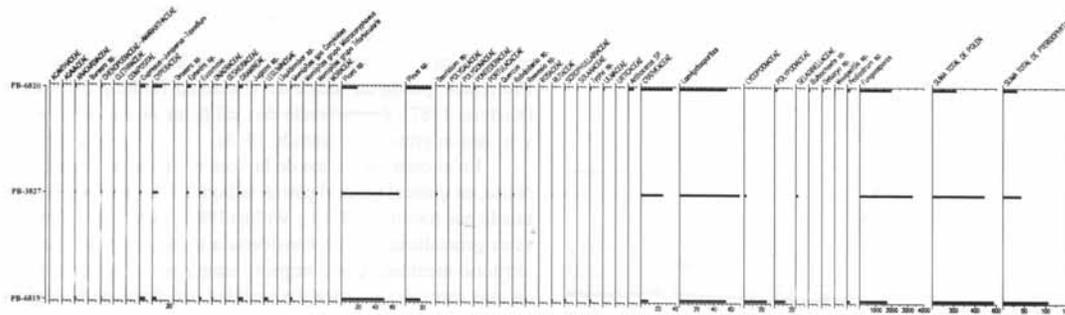


Figura 12. Diagrama polínico de la sección del Punto Triple, en la Barranca Abuelo.

similares en toda esta vasta región del oeste de América del Norte, descartándose la hipótesis alternativa de que la flora de Tepexi de Rodríguez sea el resultado de una migración pancrónica de la flora terciaria de las montañas Rocallosas hacia el sur de México, en respuesta a cambios climático⁶

En la Figura 50, se muestra los palinomorfos bioestratigráficamente más importantes y se aprecia diferentes biozonas

que permiten asignar una edad paleógena a la Formación Pie de Vaca. Dentro de las hemerozonas relevantes, se encuentra la de *Eucommia* sp., taxón siempre presente en las tres localidades y ampliamente distribuido en el Terciario de Laurasia, donde aparece en el Paleoceno inferior, alcanzando su zona acme en Europa durante el Eoceno (Kruttsch, 1970), declinando en el Mioceno y extinguiéndose en el Plioceno (Muller, 1981). En Amé-

	Chigmeatitlán	Ahuehuetes	Punto Triple
<i>Anthoceros</i>	-	*	○
<i>Abies</i> sp.	○	-	-
<i>Acacia</i> spp.	*	-	-
Acanthaceae	-	-	*
Agavaceae	*	*	*
<i>Aglaoredia</i> sp.	-	-	○
Anacardiaceae	*	-	*
<i>Armeria</i> sp.	○	-	-
<i>Betula</i> sp.	○	*	-
Bignoniaceae	-	○	○
<i>Bombacaidites</i> sp.	○	-	-
Boraginaceae	-	*	-
<i>Bursera</i> sp.	*	-	*
<i>Carya</i> sp.	○	-	○
Caryophyllaceae	*	*	-
Caesalpinaceae	○	-	○
<i>Castanea</i> sp.	-	*	-
<i>Cutinipollis</i> sp.	○	-	-
Chenopodiaceae-Amaranthaceae	*	*	*
Clethraceae	-	-	*
Compositae	-	-	*
<i>Corylus</i> sp.	-	*	-
<i>Corsiniipollenites</i> spp.	○	*	*
<i>Cretaceiporites</i> sp.	*	-	-
<i>Cupressus-Juniperus-Taxodium</i>	*	*	*
Cyathaceae	*	*	○
Cyperaceae	*	*	*
<i>Dacridium</i> sp.	-	-	○
<i>Dorstenia</i> sp.	-	-	○
<i>Drosera</i> sp.	-	-	○
<i>Ephedra</i> spp.	*	*	*
<i>Erdmaniipollis</i> sp.	○	-	-
<i>Eucommia</i> sp.	*	*	*
<i>Euphorbia</i> sp.	-	*	-
Gesneriaceae	-	-	*

	Chigmeatitlán	Ahuehuetes	Punto Triple
Gramineae	*	*	*
<i>Helicarpus</i> sp.	○	-	-
<i>Ilex</i> sp.	○	-	○
Isoetaceae	-	*	-
<i>Juglans</i> sp.	○	○	*
<i>Laevigatosporites</i> sp.	-	*	○
Labiatae	-	*	-
Leguminosae	-	*	*
Liliaceae	*	*	-
<i>Lycopodium</i> sp.	○	*	○
<i>Liquidambar</i> sp.	-	○	*
Malpighiaceae	-	*	○
<i>Malvacipollis</i> sp.	○	-	-
Meliaceae	-	*	-
<i>Momipites coryloides</i>	*	*	*
<i>M. microcoryphaceus</i>	*	-	*
<i>M. triorbicularis</i>	*	○	*
<i>M. triradiatus</i>	*	-	-
Moraceae	*	○	*
Myrtaceae	-	*	-
Palmae	-	*	-
<i>Pandanus</i> sp.	○	-	-
<i>Picea</i> sp.	*	*	*
<i>Pinus</i> sp.	*	*	*
<i>Platanus</i> sp.	-	*	-
<i>Podocarpus</i> sp.	○	○	-
Polygalaceae	-	*	*
Polygonaceae	*	*	*
Polypodiaceae	*	*	○
Pontederaceae	-	*	*
Portulacaceae	-	-	*
<i>Pterocarya</i> sp.	○	○	○
<i>Quercus</i> sp.	*	*	*
<i>Rhabdadenia</i> sp.	-	○	-
<i>Reevesia</i> sp.	○	-	*

Figura 13. Tabla de presencia de polen, esporas y algas en las localidades Chigmeatitlán, Ahuehuetes y Punto Triple.