



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

CARRERA DE BIOLOGÍA

**El género *Populus* para el Plioceno de Hidalgo, México.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**BIÓLOGO**

PRESENTA:

**HERNÁNDEZ GUZMÁN OSCAR**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ERIKA LOURDES ORTIZ MARTÍNEZ

ASESORA INTERNA: DRA. MARÍA PATRICIA VELASCO DE LEÓN

CIUDAD DE MÉXICO 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
P R E S E N T E.**

Comunico a usted que el alumno **HERNÁNDEZ GUZMÁN OSCAR**, con número de cuenta **404013620**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **04 de septiembre de 2018** a las **11:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

**PRESIDENTE** Dr. MANUEL FERIA ORTIZ

**VOCAL** Dra. ERIKA LOURDES ORTIZ MARTÍNEZ

**SECRETARIO** Dra. MARÍA PATRICIA VELASCO DE LEÓN

**SUPLENTE** Biól. RIGOBERTO RODRÍGUEZ BECERRA

**SUPLENTE** M. en C. PEDRO CHRISTIAN MARTÍNEZ MARTÍNEZ

*[Handwritten signatures on lines]*

El título de la tesis que presenta es: **El género *Populus* para el Plioceno de Hidalgo, México.**

Opción de titulación: Tesis

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

**ATENTAMENTE**  
**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**  
Ciudad de México, a 26 de junio de 2018

*[Handwritten signature]*  
**DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ**  
**DIRECTOR**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
  
ZARAGOZA DIRECCION

RECIBÍ  
OFICINA DE EXÁMENES  
PROFESIONALES Y DE GRADO

*[Handwritten signature]*  
VO. BO.  
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL  
JEFE DE CARRERA

**DEDICATORIA A MI FAMILIA Y SERES QUERIDOS**

*“Chaque difficulté rencontrée, doit être  
l'occasion d'un nouveau progrès”.*

Pierre, barón de Coubertin.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México adscripta a la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por brindarme una formación académica.

Sin olvidar a la Dra. María Patricia Velasco de León por el apoyo brindado y por el material proporcionado de la Colección de Paleontología para retomar la tesis.

Mi gratitud a la Dra. Erika Lourdes Ortiz Martínez por el asesoramiento y la ayuda brindada.

A los compañeros de la colección por compartir el espacio de trabajo.

A mi familia por todo el apoyo brindado y que siempre han estado conmigo en los momentos más difíciles.

A ti que me has brindado tu apoyo incondicionalmente, que decir de todos mis amigos que me he encontrado en el camino del conocimiento.

A todos y cada uno de ustedes muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
-Antecedentes	5
-Descripción del género <i>Populus</i>	8
-Características diagnosticas en las hojas, distribución y hábitat	9
-Métodos de análisis multivariados	15
-VARIABLES compuestas	15
-Análisis de Agrupamiento	17
-Análisis de Ordenamiento (Componentes Principales)	17
<b>3. OBJETIVO GENERAL</b> .....	19
-Objetivos particulares	19
<b>4. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	20
-Formación Atotonilco El Grande	21
-Clima y vegetación	22
<b>5. MÉTODO</b> .....	25
-Fase de gabinete	25
-Análisis Multivariados	26
-Análisis de Agrupamiento	29
-Análisis de Componentes Principales	29
<b>6. RESULTADOS</b> .....	31

<b>7. SISTEMÁTICA.....</b>	<b>39</b>
<b>8. DISCUSIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....</b>	<b>56</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Secciones, subsecciones, especies, subespecies y sinonimias del género <i>Populus</i> en México.....	9
Tabla 2.	Especies del género <i>Populus</i> en México.....	26
Tabla 3.	Codificación de los caracteres y estados de carácter utilizados en los análisis multivariados.....	27
Tabla 4.	Variación acumulada en el tercer componente (Análisis de Componentes Principales).....	36
Tabla 5.	Peso de cada carácter en cada uno de los componentes (Análisis de Componentes Principales).....	38



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Especies del género <i>Populus</i> cultivado en México.....	10
Figura 2.	Arquitectura foliar en la especie <i>Populus deltoides</i> .....	12
Figura 3.	Ubicación de la zona de estudios, municipio de Atotonilco el Grande, Hidalgo, México.....	20
Figura 4.	Formaciones geológicas reportadas para la zona de estudio....	22
Figura 5.	Columnas estratigráficas medidas en la secuencia lacustre de la Formación Atotonilco El Grande.....	24
Figura 6.	Abundancia del género <i>Populus</i> recolectados en la localidad de Sanctorum.....	31
Figura 7.	Análisis de agrupamiento de las hojas asignadas al género <i>Populus</i> .....	33
Figura 8.	Figura 7. Ejemplar CFZ-ST-104, se aprecian algunos caracteres de la arquitectura foliar.....	34
Figura 9.	Ejemplar CFZ-ST-325, se distinguen algunos caracteres de su fisonomía foliar.....	35
Figura 10.	Análisis de Componentes Principales que muestra el acomodo de las OTU's incluidos en el análisis.....	37
Figura 11.	Fosilitaxón I, asignado al género <i>Populus</i> , (se observa la morfología, así como un acercamiento de la base).....	40

Figura 12.	Fosilitaxón II, asignado al género <i>Populus</i> , donde se observa la morfología de la hoja, se realiza un acercamiento de segmento de la hoja (Ápice).....	42
Figura 13.	Fosilitaxón III, asignado al género <i>Populus</i> , se observa la morfología.....	44
Figura 14.	Fosilitaxón IV, asignado al género <i>Populus</i> , se observa la morfología, se realiza un acercamiento de segmento de la hoja (venas terciarias).....	46
Figura 15.	Fosilitaxón V, asignado al género <i>Populus</i> , donde se observa la morfología de la hoja.....	48
Figura 16.	Fosilitaxón VI, asignado al género <i>Populus</i> , se observa la morfología de la hoja y el arreglo de las venas.....	50
Figura 17.	Fosilitaxón VII, asignado al género <i>Populus</i> , donde se observa claramente partes de sus estructuras.....	52

## RESUMEN

Estudios paleontológicos realizados en la localidad de Sanctorum, en el estado de Hidalgo desde el año 2000 indican que en la región de Santa María Amajac, hace 2.5 millones de años, se estableció un lago, habitado por; peces del género *Gyrardinichthyni*, ostrácodos, gasterópodos, salamandras y ranas. La evidencia paleontológica señala también la existencia de un bosque de *Quercus* que se estableció en las cercanías del cuerpo de agua, y cuyos componentes secundarios estuvieron representados por miembros de los géneros *Abies*, *Bahuinia*, *Cercocarpus*, *Juniperus* y *Pinus*. Sin embargo, todavía hay un número considerable de morfotipos de hojas fósiles que no han sido descritos adecuadamente. Por lo que el objetivo de este trabajo es confirmar el estatus nomenclatural de hojas con afinidad al género *Populus* y con ello aportar información útil que ayude a reforzar la propuesta paleoambiental de la región y a entender los cambios de vegetación en el centro de México durante el Plioceno, hecho importante en la conformación de la flora actual. El trabajo se llevó a cabo con material recolectado en la región de Santa María Amajac durante los años 2000-2008 y que fue depositado para su resguardo en la Colección Paleontológica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Para su identificación taxonómica se comparó la arquitectura foliar de 18 ejemplares completos de la localidad de Sanctorum, con la morfología de 12 especies actuales reportadas en México y tres especies fósiles para el Oligoceno de Puebla. Con los datos obtenidos se construyó una matriz básica de datos que incluyó 25 caracteres cuantitativos y cualitativos multiestado. El análisis de agrupamiento se realizó con

el programa NTSYS ver. 2.11, para ello se utilizó el coeficiente de disimilitud Euclidiano y de agrupamiento el UPGMA (siglas en inglés “Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages”). El fenograma obtenido indica la presencia de siete nuevas especies del género *Populus* en los sedimentos de la Formación Atotonilco el Grande. Los caracteres responsables de este acomodo son: El largo y ancho de la hoja, presencia y ausencia de las venas marginales, disminución del ángulo de inserción de las venas secundarias hacia el ápice, incremento del espaciamiento de las venas secundarias hacia la base y el número de dientes a cada lado del margen. El coeficiente cofenético obtenido es de 8.3, valor que señala patrones bien definidos de variación, responsables del acomodo de las OTU's.

## INTRODUCCIÓN

La Paleobotánica se define como la rama de la Biología que se encarga del estudio de las plantas que vivieron en el pasado. Es una ciencia interdisciplinaria, que puede abordarse desde una perspectiva biológica y geológica. Las plantas preservadas en los sedimentos aparecen de manera fragmentaria, es decir, que se encuentran desarticuladas: tallo, hoja, y estructuras reproductivas, rara vez aparecen en conexión orgánica completa. De modo que uno de los objetivos principales de esta disciplina es reconstruir la hipotética planta original (Vallati, 2011). Además de integrar aspectos morfológicos, anatómicos, sistemáticos, taxonómicos, filogenéticos, ecológicos y evolutivos de las plantas para reconstruir la historia de este grupo en la Tierra (Rubilar, 2007).

Las plantas en el registro fósil están representadas por hojas, frutos, semillas, madera, fitolitos, polen y flores. De estos órganos, las hojas representan por su abundancia, parte que más emplean los paleobotánicos, para la identificación y descripción de la flora fósil.

El primer resto de angiospermas que se conoce es el de *Populus primaeva* del Cretácico, encontrado en Groenlandia. Por mucho tiempo se le consideró la planta eudicotiledonea más antigua, por lo que su estructura se tomó como un ejemplo de los caracteres primitivos que exhibían las angiospermas (Fisher, 1928). Al igual que los sauces, aunque se descubrió más tarde que dichos fósiles pertenecían a otros taxones (Brown, 1939). No obstante, *Populus* se sigue considerando uno de

los géneros más primitivos de angiospermas (Emberger, 1968). Fósiles de este género se conocen también para el Paleoceno Tardío-Eoceno Inferior (Eckenwalder, 1977). Además, material vegetativo y reproductivo se reportó del Eoceno Medio (Manchester *et. al.*, 1978 en Smith, 1988). Rzedowski (1985) hace referencia al hecho de que diversos fósiles de *Populus* muestran mucha semejanza en caracteres foliares con algunas especies mexicanas actuales. Es por esto que el estudio de la anatomía foliar es extremadamente importante para la Paleobotánica.

En décadas pasadas el uso de las características foliares fue superficial en sus identificaciones, esto dio como resultado un porcentaje excesivamente alto de asignaciones genéricas incorrectas, especialmente en hojas más antiguas que el Oligoceno (Wolfe, 1967,1968, 1969; Dilcher y Dolph 1970). Lo que provocó una inferencia errónea del número de géneros.

Dilcher (1974) utilizó caracteres de la arquitectura foliar (término utilizado para designar la ubicación y la forma de aquellos elementos que constituyen la expresión externa de la estructura foliar, incluyendo tipo de venación, configuración marginal, forma de la hoja, posición de las glándulas etc.), en la flora del Eoceno de Tennessee y encontró que el 60% de las especies se encuentran mal identificadas, lo que quiere decir que los caracteres de la arquitectura foliar, permiten identificar de mejor manera los fósiles de hojas, ya que los diversos taxa de angiospermas tienen hojas que poseen modelos de organización arquitectónica consistentes y reconocibles. Pero cuando las hojas poseen diferencias

morfológicas tales que no permiten designarlas a un grupo taxonómico definido se utiliza el término fosilitaxón, para resolver su estatus nomenclatural.

## **Antecedentes**

Las angiospermas constituyen el grupo dominante dentro de las plantas vasculares. Aparecieron en la Tierra durante el Cretácico Temprano, hace aproximadamente 125 millones de años y en el Cretácico Medio habían alcanzado un alto grado de especialización (Heywood, 1985). Los representantes de este grupo están adaptados al hábitat terrestre, acuático y epífita y su distribución alcanza todas las regiones del planeta, constituyéndose como organismos cosmopolitas (Lindorf, et al., 1991).

Weber y Cevallos-Ferriz (1995), mencionan que México tiene un enorme potencial en el aporte de información Paleobotánica, debido a que los estudios de flora fósil en nuestro país han empezado a tener gran auge en los últimos años. Ejemplo de ello son los trabajos realizados al final del siglo XIX y mediados del siglo XX por Aguilera (1896); Félix (1899); Wieland (1909); Díaz-Lozano (1916); Maldonado-Koerdell (1950); Silva (1963); Delevoryas (1963); Weber (1972); Zambrano-García (1985); Magallón (1991) y Cevallos-Ferriz (2000).

Los primeros son los realizados en la localidad de Tepexí de Rodríguez, Puebla por Ramírez Garduño (1998) quien identificó hojas de la familia Salicaceae y Anacardiaceae en los sedimentos de la Formación Pie de Vaca; más tarde, Velasco de León (1999) reportó la presencia de las familias Rhamnaceae y

Rosaceae en la localidad, además de proponer el paleoclima de la zona. Mientras que Calvillo-Canadell (2002) utilizó la arquitectura foliar para la descripción de una nueva especie (*Bauhcis moranii*) de la misma formación. Sin embargo, aunque en México van en aumento los trabajos taxonómicos utilizando hojas fósiles, todavía son pocos, debido principalmente a que los yacimientos de angiospermas son poco conocidos en nuestro país y en la mayoría de ellos, las hojas no están bien preservadas ni son abundantes.

En la región de Santa María Amajac donde se localiza la zona de estudio, se han realizado diferentes trabajos paleontológicos: Villarello y Bosë (1902) en su reporte de los criaderos de hierro localizados en la hacienda de Vaquerías en el estado de Hidalgo, mencionan el rescate de fragmentos de molares y material postcraneal de miembros de la familia Gomphotheriidae. Freudenberg (1992) describe; *Mastodon oligobunis varantiquissima*. Beltrán-Romero y Luna Gómez (1994), durante el estudio geológico de la región SMA, reportan la colecta de hojas de angiospermas en capas de toba pumicítica al sureste del poblado El Paso de Amajac. Castillo-Cerón (1994), al estudiar la bioestratigrafía de los sedimentos continentales de Zacualtipán en el estado de Hidalgo, señala para el área de SMA cinco localidades con restos de vertebrados fósiles. Para la localidad de Santa Cruz de Amajac se han realizado fechamientos radiométricos con cristales de Circón y Sanidino embebidos en el material fósil, otros fechamientos realizados por la técnica de *fisión track*, dan una edad de  $4.2 \pm 0.3$  millones de años y de  $4.57 \pm 0.002$  millones de años con isótopos de argón [ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ] (Kowallis *et al.*, 1998).



Ortiz Martínez y Velasco de León (2000) Indican el establecimiento de un Bosque de *Quercus*, Velasco de León y Aguilar-Arellano (2002), realizan la identificación taxonómica a nivel de familia de algunas hojas fósiles de la comunidad. En ese mismo año proponen también el paleoclima de la zona usando impresiones de angiospermas abundantes en la región. Otros estudios realizados son los de: Velasco de León y Romero Rangel (2001) quienes estudiaron fósiles del género *Quercus* (Fagaceae). En el 2001 Salvador-Flores explica el origen y estratigrafía del paleolago de Amajac. Fuentes y Velasco de León (2002) registran la presencia de anuros. Reyes *et al.* (2002) hacen la determinación taxonómica y geoquímica de la concha de ostrácodos. Un año después Zaragoza-Caballero y Velasco de León (2003) reportan la presencia del género *Epicauta* (Coleóptera: Meloidae), en los sedimentos de la región. El trabajo tafonómico de Arellano-Gil *et al.* (2005) quienes mencionan que la Formación Atotonilco El Grande se acumuló en un ambiente lacustre, denominado Paleolago de Amajac, el cual se originó por el cierre temporal del Río Amajac, ocasionado por una avalancha de escombros en un profundo cañón labrado en la Formación El abra, en donde la sedimentación lacustre termino cuando los escombros de la avalancha fueron erosionados al subir el nivel del agua por una mayor precipitación pluvial y posteriormente siguió una fase de intensa erosión. En el 2006 Galdámez-Escutia realiza el análisis de las hojas de angiospermas que presentan señales de Herbivoría, mientras que Ortiz Martínez (2007) se centra en el estudio Taxonómico-Ecológico de tres géneros de angiospermas fósiles de la región de Santa María Amajac. En el 2007 Solórzano Aguilera reporta la presencia del género *Ambystoma* en la localidad de

Sanctorum, mientras que Flores Camargo hace lo propio con los moluscos de agua dulce, Martínez Martínez (2008) y Estrada Millán (2010) continúan con la descripción de la flora fósil de la región, por último, Cruz Hernández (2012) realiza el análisis palinológico de la región.

A pesar de que se ha realizado un exhaustivo trabajo paleontológico, existe todavía un grupo de hojas que no han sido identificadas, dentro de ellas destacan algunas con parecido al género *Populus*, la asignación taxonómica de estas hojas contribuirá al conocimiento de la composición florística de la región SMA durante el Plioceno y aportará datos que permitirán afinar la propuesta paleoambiental hecha para la región de SMA además de completar los listados paleoflorísticos.

### **Descripción del género *Populus*.**

Conocidos coloquialmente como álamos, son árboles que se caracterizan por presentar hojas alternas, con estípulas membranáceas fugaces, a menudo polimorfas, las hojas turionales (macroblastos) distintas de las de los braquiblastos; pecíolo largo, generalmente comprimido lateralmente, con frecuencia glanduloso. Yemas invernantes con varios catafilos imbricados. Amentos laterales, sin hojas en la base, cilíndricos, sésiles o pedunculados, de raquis flexible, por lo que suelen ser colgantes; brácteas florales dentadas o laciniadas, caducas. Flores con disco nectarífero a veces truncado oblicuamente; las masculinas, presentan de seis a 32 estambres, de filamentos filiformes, libres;

las femeninas, de ovario sésil o subsésil, envuelto en la base por el disco nectarífero. Cápsula glabra.

### Características diagnosticas en las hojas, distribución y hábitat.

El género *Populus* se distribuye en el Hemisferio Norte, Asia, Europa, África y América. El límite sur de la distribución geográfica en América llega hasta el sureste de México, representado por la especie *Populus mexicana*, Wesmael. Se conocen en nuestro país nueve especies con seis subespecies incluidas en las secciones *Tacamahaca*, *Populus*, *Abaso* y *Aigeiros* (Eckenwalder, 1997) Tabla 1.

Tabla 1. Secciones, subsecciones, especies, subespecies y sinonimias del género *Populus* en México.

<b>SECCIÓN ABASO</b>	<p><b><i>Populus mexicana</i></b> Wesmael ssp. <b><i>mexicana</i></b>            = <i>P. arizonica</i> auct. nom. Sargent  <b><i>P. mexicana</i></b> ssp. <b><i>dimorpha</i></b> (Brandeggee) Eckenwalder</p>
<b>SECCIÓN AIGEIROS</b>	<p><b><i>Populus deltoides</i></b> Bartram ex Marshall ssp. <b><i>deltoides</i></b>  <b><i>P. deltoides</i></b> ssp. <b><i>wislizenii</i></b> (Watson) Eckenwalder</p> <p><b><i>Populus fremontii</i></b> Watson ssp. <b><i>fremontii</i></b>            = <i>P. arizonica</i> var. <i>jonesii</i> Sargent  <b><i>P. fremontii</i></b> ssp. <b><i>mesetae</i></b> Eckenwalder            = <i>P. mexicana</i> auct. nom. Wesmael            = <i>P. arizonica</i> auct. nom. Sargent</p>
<b>SECCIÓN POPULUS</b>	<p>SUBSECCION TOMENTOSAE  <b><i>Populus simaroa</i></b> Rzedowski  <b><i>Populus monticola</i></b> Brandeggee            = <i>P. brandeggee</i> Shneider            = <i>P. brandeggee</i> var. <i>glabra</i> Wiggins  <b><i>Populus guzmanantlensis</i></b> Vázquez &amp; Cuevas</p> <p>SUBSECCION TREPIDAE  <b><i>Populus tremuloides</i></b> Michaux            = <i>P. tremula</i> subsp. <i>tremuloides</i> (Michaux) Love and Love            = <i>P. aurea</i> Tidestrom            = <i>P. tremuloides</i> var. <i>aurea</i> (Tidestrom) Daniels</p>
<b>SECCIÓN TACAMAHACA</b>	<p><b><i>Populus angustifolia</i></b> James  <b><i>Populus trichocarpa</i></b> Torrey &amp; Gray in Hooker</p>

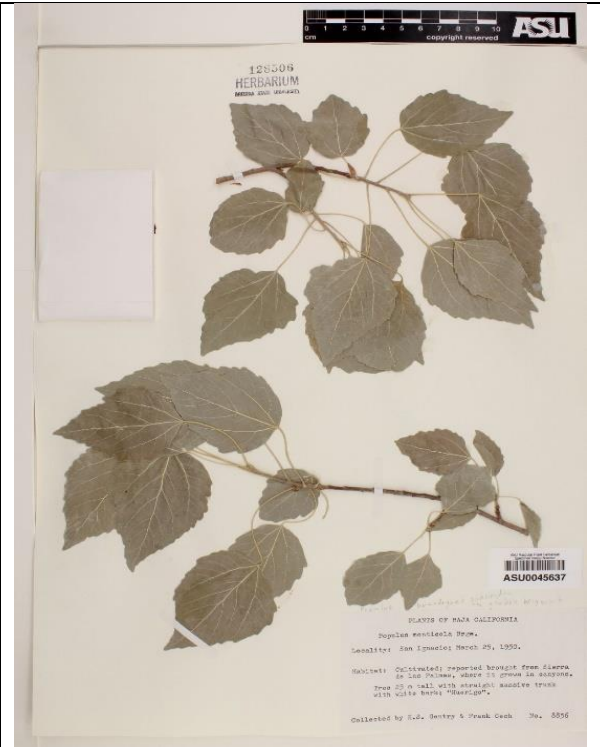
Los árboles del género *Populus* constituyen un grupo de gran importancia económica forestal, así como en la horticultura. Los usos han sido muy variados, entre ellos se menciona obtención de pulpa para papel, cortinas rompe vientos, reforestación de zonas urbanas, así como diversos artículos artesanales. Por su rápido crecimiento, dentro de las especies más comunes que se cultivan en México se mencionan *P. deltoides* Brandege, *P. fremontii* Eckenwalder, *P. mexicana* Wessm., *P. monticola* Brandege, *P. simaroa* Rzedowski y *P. tremuloides* Michaux (Martínez González y González Villarreal, 2002) Fig. 1.

Figura 1. Especies del género *Populus* cultivado en México.





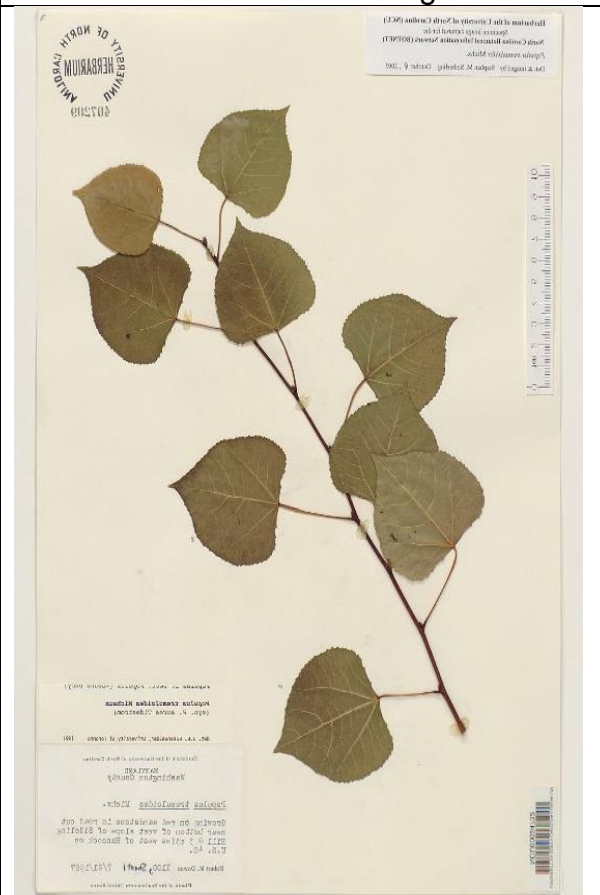
*P. mexicana* Wessm.



*P. monticola* Brandegee



*P. simaroa* Rzedowski



*P. tremuloides* Michaux

El género *Populus* incluye únicamente árboles, por lo general de talla mediana, pero, algunos llegan a medir hasta 45 m de alto y el tronco dos metros de diámetro, a *P. trichocarpa* se le consideró como el árbol más alto de las eudicotiledoneas del Pacífico Norte. Otras especies que alcanzan gran tamaño son *P. simaroa*, *P. guzmanantlensis* y *P. deltoides* (Fig. 2).

Muchos de los álamos presentan la copa de forma cónica, con un tronco principal erecto y puntiagudo, en donde las ramillas laterales son cortas y delgadas. Los integrantes de cada sección se pueden reconocer en parte por su hábito de desarrollo.

### ***G. Populus deltoides***

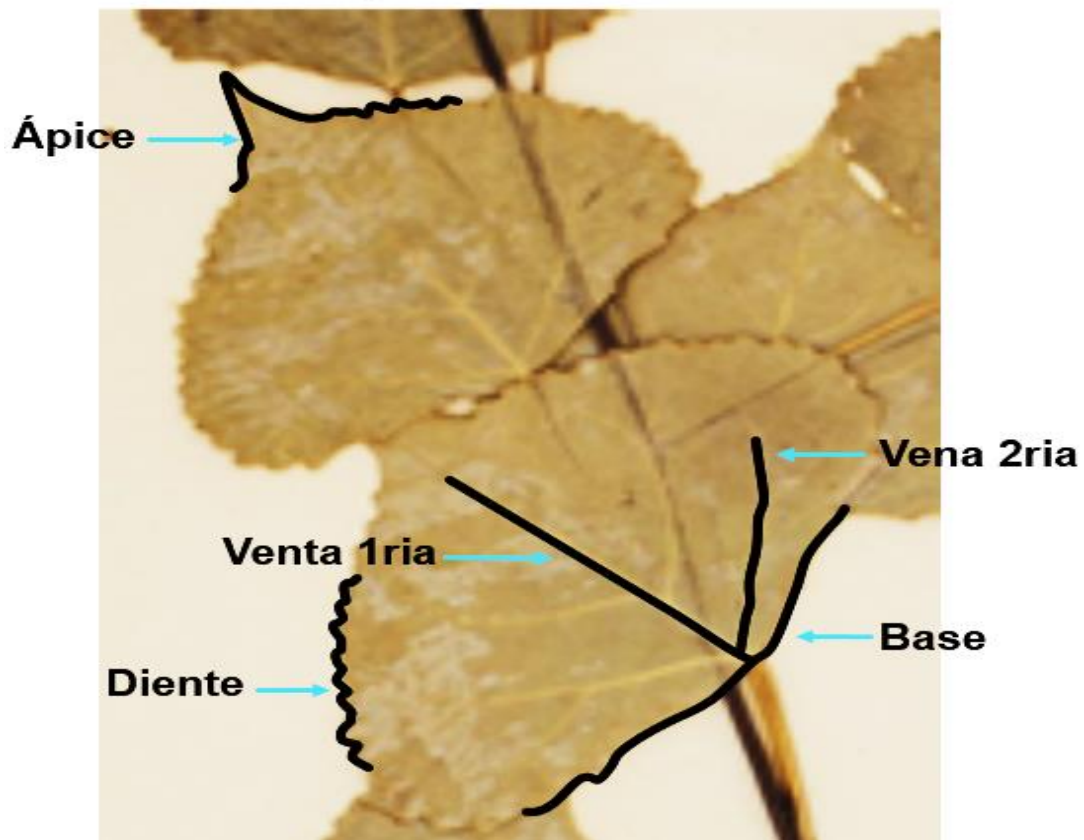


Figura 2. Arquitectura foliar en la especie *Populus deltoides*.

Los factores ambientales pueden impedir el crecimiento y desarrollo de los individuos, por lo que a veces semejan arbustos. También, en algunas ocasiones los álamos pueden proliferar tanto que forman bosquecillos, debido principalmente a dos factores: el alto índice de agua causado por inundaciones frecuentes o incluso a consecuencia de incendios (Smith, 1988).

La corteza varía de acuerdo a la especie, pueden presentar marcas rómbicas, el color por lo general grisáceo, verde grisáceo o pardo. En cuanto a la longevidad, Eckenwalder (1977) cita que algunas especies como *P. deltoides* pueden llegar a una edad de 150 años. Los miembros de la subsección *Tomentosae* alcanzan de 200 a 300 años.

Descripción realizada por Martínez González (2002): Los integrantes del género *Populus* presentan un alto polimorfismo foliar. Las hojas de *Populus* son papiráceas, a veces translúcidas y de formas muy diversas, lo que a veces depende de la edad del individuo. Pueden ser lanceoladas, ovadas, obovadas, deltoides, cordiformes, suborbiculares o romboides. La forma es una característica útil para separar las secciones. La sección *Abaso* presenta por lo general hojas lanceoladas a ovadas, en cambio en la sección *Populus* se puede retornar en dos, de ordinario ovadas a lobadas. Dentro de la sección *Tacamahaca* las hojas son lanceoladas a ovadas y en la sección *Aigeiros* deltoides a ovadas. El tamaño de las hojas también es muy variable, desde 1.5 cm de largo en *P. angustifolia* y *P. monticola* y hasta de 23 cm de largo en *P. guzmanantlensis* y *P. simaroa*. En cambio, *Populus deltoides* y *P. fremontii* presentan hojas tan largas como anchas. El color varía de verde opaco, verde brillante o verde amarillento.

La forma del ápice, que también es muy variable, sirve para separar las secciones. Puede ser agudo, acuminado o largo acuminado, cuspidado, obtuso, redondeado y triangular acuminado. En la sección *Tacamahaca* por lo general el ápice es agudo y apiculado, característico de *P. tremuloides*, aunque no en muchos de los miembros de la sección *Populus*. El ápice se presenta acuminado en la sección *Aigeiros* y largamente acuminado en la sección *Abaso* como es el caso de *P. mexicana* subsp. *Dimorpha* que presenta un acumen de hasta 3.5 cm de largo.

La forma de la base de la hoja varía considerablemente en las especies y en los individuos mismos. La base puede ser redondeada, obtusa, truncada, cuneada, subcordada o cordada. En las secciones *Abaso*, *Populus* y *Tacamahaca* por lo general es redondeada, aunque también puede ser cordada. En la sección *Aigeiros*, por lo regular es truncada a cordada, como en *P. fremontii*.

El margen puede ser aserrado, sinuado, crenado y por lo regular dentado, es útil en la separación de las secciones, en *Abaso* es por lo general entero a finamente crenado-serrado, en *Populus* entero a finamente serrado o lobulado, en *Tacamahaca* entero a finamente crenado-serrado y en *Aigeiros* liso y resulta finamente áspero crenado-serrado. El número de dientes varia, pueden presentarse tres, por ejemplo, en *P. monticola*, o hasta 47 en *P. guzmanantlensis* y *P. angustifolia*.

El haz de la hoja puede ser glabra o glabrescente y verde oscuro, como en *P. monticola*, o verde brillante, en *P. simaroa*, por su cutícula cerosa. En la unión con el peciolo es común observar unas glándulas por el haz.



El envés de las hojas jóvenes por lo general es tomentoso a densamente tomentoso, aunque al madurar cambia a glabrescente o glabro. El color varía de verde pálido, blanquecino a pardo rojizo. Solo *Populus fremontii* presenta el envés completamente glabro, resinoso y lustroso (Martínez González, 2002).

### **Métodos de análisis multivariados**

El análisis multivariante (AM) es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. Las variables observables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística en AM es de carácter multidimensional, por lo tanto, juegan un papel fundamental la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes.

La información multivariante es una matriz de datos, pero a menudo, en AM la información de entrada consiste en matrices de distancias o similitudes, que miden el grado de discrepancia entre los individuos.

### **Variables compuestas**

Algunos métodos de AM consisten en obtener e interpretar combinaciones lineales adecuadas de las variables observables. Una variable compuesta “Y” es una combinación lineal de las variables observables con coeficientes  $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_p)^1$

$$Y = (a_1X_1 + \dots + a_pX_p)$$

Si  $X = [X_1, \dots, X_p]$  es la matriz de datos, también podemos escribir

$$Y = Xa.$$

Ciertas variables compuestas reciben diferentes nombres según la técnica multivariante: Componentes Principales, variables canónicas, funciones discriminantes, etc. Uno de los objetivos del Análisis Multivariante es encontrar variables compuestas adecuadas que expliquen aspectos relevantes de los datos (Cuadras, 2014).

**Simplificación:** Los métodos multivariados son un conjunto de técnicas que permiten al investigador interpretar y visualizar conjuntos grandes de datos (tanto en individuos como en variables).

**Relación:** Encontrar relaciones entre variables, entre individuos y entre ambos.

- Relación entre variables: Existe relación entre variables cuando las variables miden una característica común.
- Relación entre individuos: Existe relación entre individuos si algunos de ellos son semejantes entre sí.

Los métodos multivariados son realmente un conjunto de técnicas que en su gran mayoría tiene un carácter exploratorio y no tanto inferencial (Nieto, 2000). Ejemplo de este tipo de análisis son el de agrupamiento (Cluster) y Componentes Principales.

## **Análisis de Agrupamiento**

El análisis de agrupamiento es uno de los métodos multivariados usados en taxonomía numérica. Es un método que despliega la similitud/disimilitud entre pares de objetos en un conjunto ordenado de datos y consiste en cinco pasos:

1. Los datos definidos y sus atributos, se ordenan en una matriz de datos.
2. Se puede trabajar con la matriz básica de datos o estandarizar los datos formando la matriz estandarizada de datos.
3. Se elige el coeficiente de similitud y se computa este valor en cada par de objetos, usando una u otra matriz (Básica de datos o estandarizada).
4. Se determina el método de agrupamiento.
5. Se transforma la matriz de similitud en un fenograma, donde es más fácil distinguir la similitud/disimilitud entre objetos.

## **Análisis de Ordenamiento (Componentes Principales)**

El análisis de ordenamiento propuesto por Pearson (1901) y mejorado por Hottelling (1933), es un método que transforma las variables originales en variables no correlacionadas. Las nuevas variables se denominan Componentes Principales o coordenadas principales. Cada uno de ellos, es una combinación lineal de las variables originales; dicho de otro modo, es un método que comprime la información contenida en una matriz de datos, ya que se estudian las interdependencias entre todas las variables con el objeto de reducir al mínimo el

número de variables necesarias para describir la información relevante contenida en la matriz de datos originales, identificando un número reducido de factores que representan las variables originales. En consecuencia, se espera que los primeros dos o tres componentes o coordenadas principales puedan explicar un porcentaje alto de la variación de las medidas originales (Ortiz Martínez, 2007).

## **OBJETIVO GENERAL**

-Confirmar el estatus taxonómico de hojas fósiles con parecido al género *Populus*, recolectadas en la Formación Atotonilco El Grande de la localidad Sanctorum, Hidalgo.

## **OBJETIVOS PARTICULARES:**

-Describir los fósilitaxones seleccionados con base en la arquitectura foliar.

-Comparar los fósiles con las especies actuales de *Populus* presentes en el estado de Hidalgo.

-Determinar si alguna de las especies actuales del género *Populus* está presente en los sedimentos de la Formación Atotonilco El Grande y establecer si han existido cambios en la distribución del género del Plioceno a la actualidad.

-Establecer si las condiciones ambientales en la zona de estudio han sufrido cambios (Plioceno-reciente).

## ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en el estado de Hidalgo a 37 km. de la capital, en el municipio de Atotonilco el Grande cuyas coordenadas geográficas son 20° 17' 28" latitud norte y 98° 40' 14" longitud oeste. El municipio colinda al norte con los Municipios de Metztitlán y Metzquititlán; al oeste con Huasca de Ocampo; al sur con Mineral del Monte y Mineral del Chico; y al oeste con Actopan.

En Atotonilco el Grande, Hidalgo se localiza la región de Santa María Amajac (SMA), en donde afloran tres localidades de la Formación Atotonilco El Grande: Los Baños, Matador, Sanctórum (Fig. 3).



Figura 3. Ubicación de la zona de estudios, municipio de Atotonilco el grande, Hidalgo, México. (Tomado de: [http://www.hidalgo.gob.mx/page/municipio/atotonilco\\_el\\_grande](http://www.hidalgo.gob.mx/page/municipio/atotonilco_el_grande) (06/05/17)).

## **Formación Atotonilco El Grande**

En la región la cobertura cenozoica comprende rocas volcánicas y volcano-sedimentarias del Neógeno, así como depósitos cuaternarios que incluyen arcillas y limos pobremente consolidados de origen fluviolacustre que forman el fondo de los valles. La secuencia del Neógeno ocupa la mayor parte del sector meridional e incluye basaltos, andesitas y brechas volcánicas; asimismo, exposiciones de areniscas de grano grueso, fuertemente alteradas con intercalaciones irregulares de clastos volcánicos de composición variable de las formaciones Zumate, Tarango y Atotonilco El Grande (Fries, 1962; Consejo de Recursos Minerales, 1992; INEGI, 1983), esta última unidad estratigráfica con una abundante y bien preservada flora y fauna fósil.

La Formación Atotonilco El Grande tiene un espesor de 165 m, calculados por la composición de las columnas El Paso de Amajac y Santa María Amajac. Se caracteriza por poseer una composición litológica muy variada compuesta por rocas clásticas (conglomerado, arenisca, limonita y lutita), con intercalaciones de cenizas volcánicas in situ y piroclastos retrabajados. Cubre mediante una discordancia angular a las formaciones El Abra, Soyatal, Conglomerado Amajac (Fig. 4) y a la secuencia volcánica del Grupo Pachuca. Está coronada por derrames basálticos y cenizas volcánicas. (Arellano Gil, et al., 2005).

De las cuatro columnas medidas de la Formación Atotonilco El Grande, la columna estratigráfica El Paso de Amajac (Fig. 5) con un espesor de 151.4 m, es la más representativa de las nueve unidades litológicas son fácilmente correlacionables con las otras tres columnas (Arellano Gil, et al., 2005).

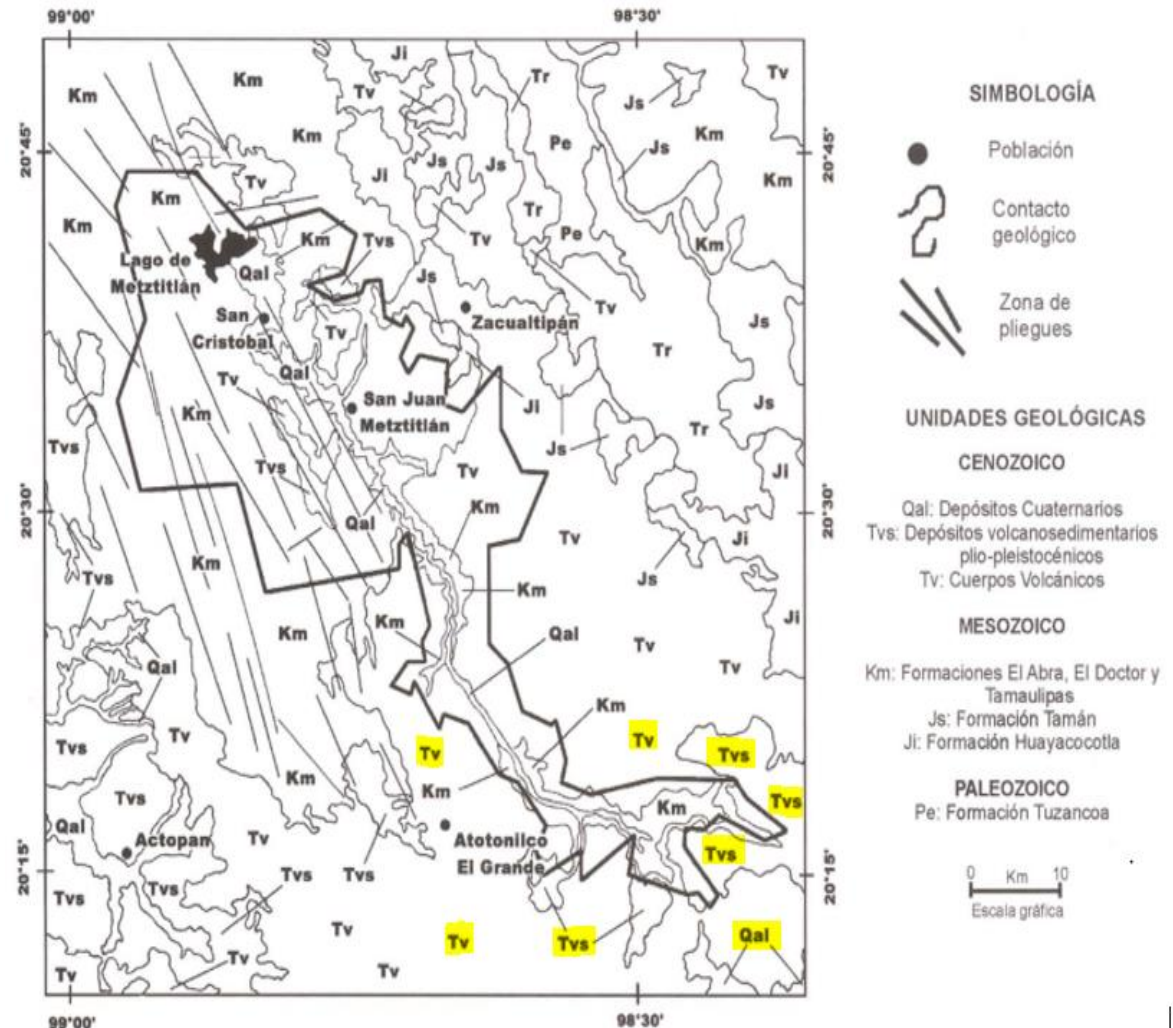


Figura 4. Formaciones geológicas reportadas para la zona de estudio.

## CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima es de BS<sub>1</sub> k w (i') g w" Clima seco semiárido con verano fresco largo y lluvias en verano, con poca oscilación térmica y marcha anual de la temperatura tipo Ganges y canícula (clima determinado mediante un análisis de datos proporcionados por la Comisión Nacional del agua de la estación meteorológica de Santa María Amajac durante los últimos 23 años). La temperatura media anual, es de 17.2 °C, mientras que la del mes más cálido es de 20.1°C (mayo), en contraste



con el mes más frío (enero) que es de 13.5 °C, Además, la precipitación anual es de 617.3 mm, septiembre es el mes más húmedo, con 124.3 mm de precipitación, mientras que el mes más seco es diciembre con 9.1 mm de precipitación. La vegetación actual del área Santa María Amajac está compuesta por matorral xerófilo (Hernández, 2006).

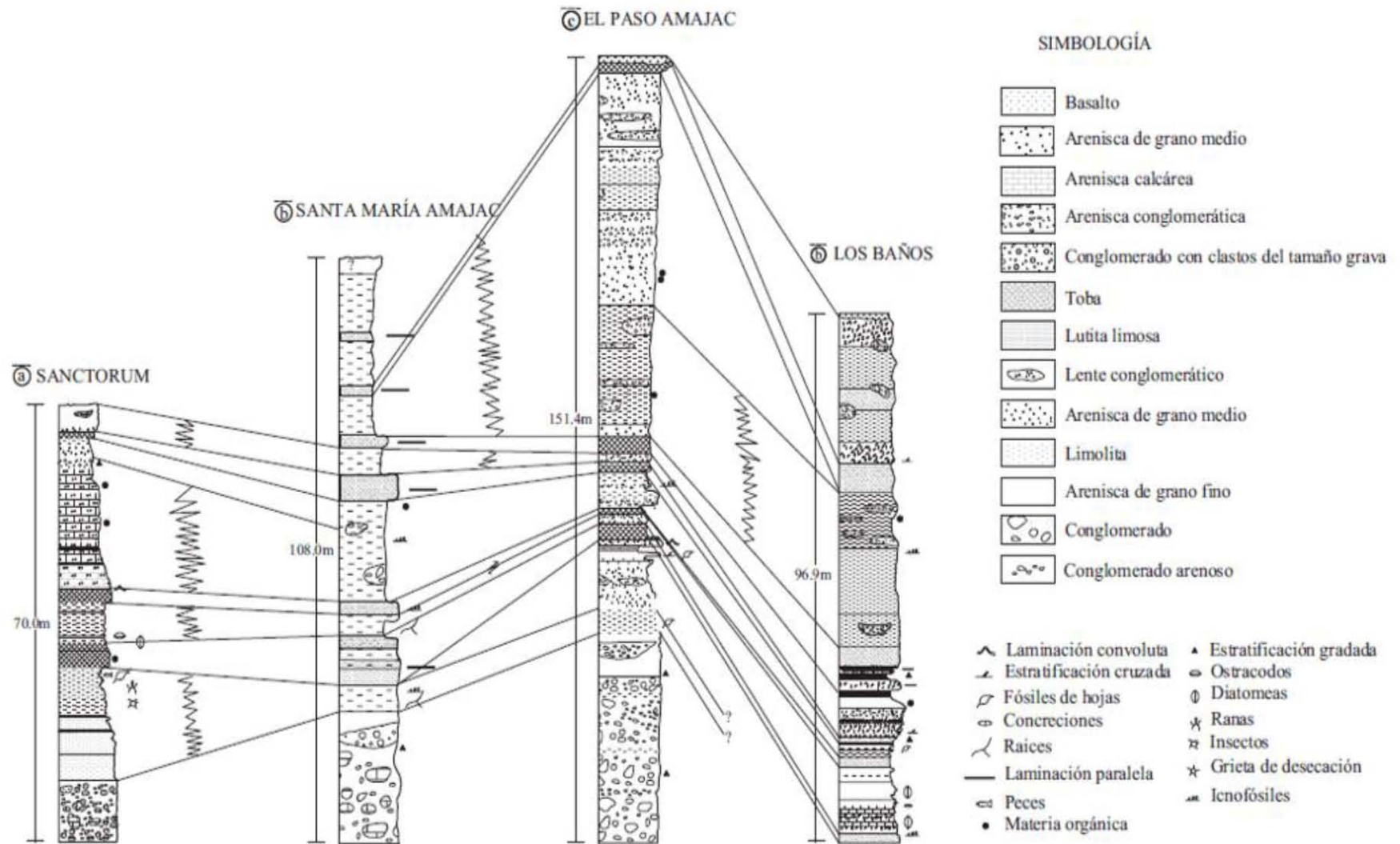


Figura 5. Columnas estratigráficas medidas en la secuencia lacustre de la Formación Atotonilco El Grande, Tomado de Arellano-Gil, et al. (2005).

## **MÉTODO:**

### **FASE DE GABINETE:**

El presente trabajo se llevó a cabo con material colectado en la región de SMA durante varios años (2000-2008) y que fue depositado para su resguardo en la Colección de Paleontológica de la FES Zaragoza, donde fue limpiado y posteriormente etiquetado con el acrónimo CFZ, ST y un número progresivo (Colección FES Zaragoza, Sanctorum y N° ejemplar), para posteriormente incluirlo en la base de datos de la colección.

A los 127 ejemplares seleccionados en el laboratorio con parecido al género *Populus*, se le realizó la limpieza correspondiente con agujas de disección, aplicando técnicas de consolidación o endurecimiento, necesarias para la conservación y manipulación de los ejemplares. La observación y revisión detallada de cada ejemplar se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscopio Olympus SMZ800.

La descripción de todos los ejemplares empleados en este estudio se realizó con ayuda de bibliografía especializada y mediante la observación de ejemplares de herbario. Una vez efectuada la descripción de las hojas fósiles del género, se procedió a describir la arquitectura foliar de las especies actuales de álamos que se distribuyen en el estado de Hidalgo y el resto del País (Tabla 2), ya que por tratarse de una paleoflora relativamente joven se cree que los ejemplares colectados en la zona de estudio pueden estar más cercanamente relacionados

con estas especies del género *Populus* y las especies fósiles reportadas para el Oligoceno de Puebla. La terminología empleada en la descripción de los fósiles y plantas actuales es la de Hickey (1973; Hickey y Wolfe 1975 y Ash et al. 1999) (Anexos 2-8).

Tabla 2. Especies del género *Populus* en México.

GÉNERO <i>Populus</i>	ESTADOS
<i>P. mexicana mexicana</i>	CHIAPAS, NUEVO LEON
<i>P. mexicana dimorpha</i>	ESTADO DE MEXICO, MICHOACAN, SINALOA, SONORA
<i>P. simaroa</i>	ESTADO DE MEXICO, GUERRERO, GUERRERO, MICHOACAN
<i>P. monticola</i>	BAJA CALIFORNIA, CHIHUAHUA
<i>P. guzmanantlensis</i>	JALISCO
<i>P. tremuloides</i>	BAJA CALIFORNIA, CHIAPAS, COAHUILA, GUANAJUATO, HIDALGO, JALISCO, MICHOACAN, NUEVO LEON, OAXACA, PUEBLA, QUERÉTARO
<i>P. angustifolia</i>	CHIHUAHUA, COAHUILA
<i>P. trichocarpa</i>	BAJA CALIFORNIA
<i>P. deltoides deltoides</i>	CIUDAD DE MEXICO, ESTADO DE MEXICO
<i>P. deltoides wislizenii</i>	CHIHUAHUA
<i>P. fremontii</i>	CHIHUAHUA
<i>P. fremontii mesetae</i>	BAJA CALIFORNIA, CHIHUAHUA, CIUDAD DE MEXICO, ESTADO DE MEXICO, JALISCO, QUERÉTARO

### Análisis Multivariados

Con el objetivo de determinar el parecido entre las especies del género *Populus* que han habitado la región de SMA durante los últimos 5.33 millones de años y reconocer los caracteres importantes en la delimitación de las mismas, se utilizó la descripción de cada ejemplar fósil y de las 12 especies actuales distribuidas en el estado. Además de los datos de las seis especies fósiles descritas para el

Oligoceno de Puebla (en el análisis llamadas Unidades taxónomicas operacionales OTU's). En el caso de las especies fósiles de la colección del Instituto de Geología de la UNAM, solo se tomaron tres, porque son las que están mejor preservadas, ayudando a cubrir el objetivo. Para realizar los análisis multivariados de Agrupamiento y de Componentes Principales, se construyó una matriz básica de datos que incluyo 33 OTU's y 25 caracteres, de los cuales cuatro son binarios, 15 cualitativos multiestado y seis cuantitativos (Tabla 3).

Tabla 3. Codificación de los caracteres y estados de carácter utilizados en los análisis multivariados.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA HOJA</b>		
<b>CARACTERES</b>	<b>ESTADOS DE CARÁCTER</b>	<b>CODIFICACIÓN</b>
Simetría de la lámina foliar	Simétrica	1
	Asimétrica	2
Forma de la hoja	Elíptica	1
	Ovada	2
Tipo de base	Obtusa	1
	Redonda	2
	Truncada	3
	Cóncava	4
	Cóncava-convexo	5
	Cordada	6
Tipo de ápice	Corto acuminado	1
	Largamente acuminado	2
	Obtuso	3
Promedio largo de la Hoja		
Promedio ancho de la Hoja		
Tipo de venación	semicraspedodroma	1
	craspedodroma	2
	broquidodroma	3
	acrodroma	4
	eucamptodroma	5
<b>CARACTERÍSTICAS DEL DIENTE EN LA HOJA</b>		
Tipo de dentición	Dentado s/glándula	1

	Dentado c/glándula	2
	Serrado	3
	Crenado	4
Espaciamiento de los dientes	Regular	1
	Irregular	2
Distribución de los dientes en el margen	Todo el margen	1
	Sin dientes en la base	2
Numero de dientes a cada lado del margen		
Forma del diente	Agudo	1
	Redondo	2
	Agudo/redondo	3
<b>CARACTERISTICAS DE LAS VENAS EN LA HOJA</b>		
Recorrido de la vena primaria	Recta	1
	Curva	2
	Recta/curva	3
Características de la vena media	Masiva	1
	Fuerte	2
	Moderada	3
	Moderada/débil	4
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media		
Espaciamiento de la vena secundaria	Incrementa hacia la base	1
	Decrece	2
Angulo de las venas secundarias ápice		
Angulo de las venas secundarias base		
Posición de las venas secundarias	Alternas	1
	Opuestas/alternas	2
Recorrido de las venas secundarias	Curvas	1
	Rectas	2
	Curvas/rectas	3
Espaciamiento de las venas secundarias	Uniforme	1
	Decrece en la base	2
	Aumenta en la base	3
Recorrido de las venas secundarias al diente	No aplica	0
	Exmedial	1
	Central	2

Venas intersecundarias	Ausencia	0
	Presencia	1
Curso de las venas terciarias	Recto	1
	Convexo	2
	Sinuoso	3
Venas marginales	Al margen	1
	No al margen	2

La base de datos se organizó con los caracteres recabados de los fósilitaxones, tomando en cuenta los reportados en la colección del Instituto de Geología de la UNAM, así como las especies del género *Populus* actuales reportadas para México (Anexo 1).

### **Análisis de Agrupamiento**

Para el análisis de agrupamiento se estandarizó la matriz básica de datos, para evitar sesgos en la información y posteriormente determinar la similitud de las OTU's, utilizando el coeficiente de Similitud "Euclidiano", el agrupamiento se desarrolló mediante el uso del método UPGMA (siglas en inglés "Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages"). Por último y con el objetivo de determinar la robustez del método empleado y la utilidad de los caracteres para identificar patrones definidos de variación se calculó la R o coeficiente cofenético.

### **Análisis de Componentes Principales.**

Para determinar el peso de cada uno de los caracteres incluidos en el análisis y por tratarse de datos cuantitativos y cualitativos multiestado, se realizó un análisis

de Componentes Principales, para ello fue necesario obtener una matriz de correlación de varianzas-covarianzas, por lo que se estandarizó la matriz básica de datos en ambos sentidos (por hileras y por columnas). Para posteriormente calcular la matriz de correlación entre los caracteres, al ser este un análisis de similitud su cálculo se hizo a partir de la matriz básica de datos estandarizada, operando por filas y por columnas en función de la estructura que se dio a la matriz básica de datos. Para calcular una matriz de correlación se empleó el módulo "Dis/sililarity" utilizando el siguiente enlace [Dis/similarity/interval data](#) y el coeficiente de correlación "CORR" Producto de Pearson. Para finalizar se realizó el análisis de ordenación, que para ser válido debe de reflejar una variación acumulada en el tercer componente mayor o igual al 60%.

Para ayudar a afinar las inferencias paleoecológicas realizadas en la región se revisó bibliografía especializada que permitiera establecer las condiciones ambientales en las que se desarrollan los miembros de este género y extrapolar esta información al Plioceno.



## RESULTADOS

Se revisaron los 2001 ejemplares colectados en la zona de estudio y depositados en la colección de Paleontología de la FES Zaragoza, de ellos se separaron 127 ejemplares con parecido al género *Populus*, la revisión detallada de estas hojas permitió identificar a las mejor preservadas que fueron incluidas en el análisis estadístico (Fig. 6).

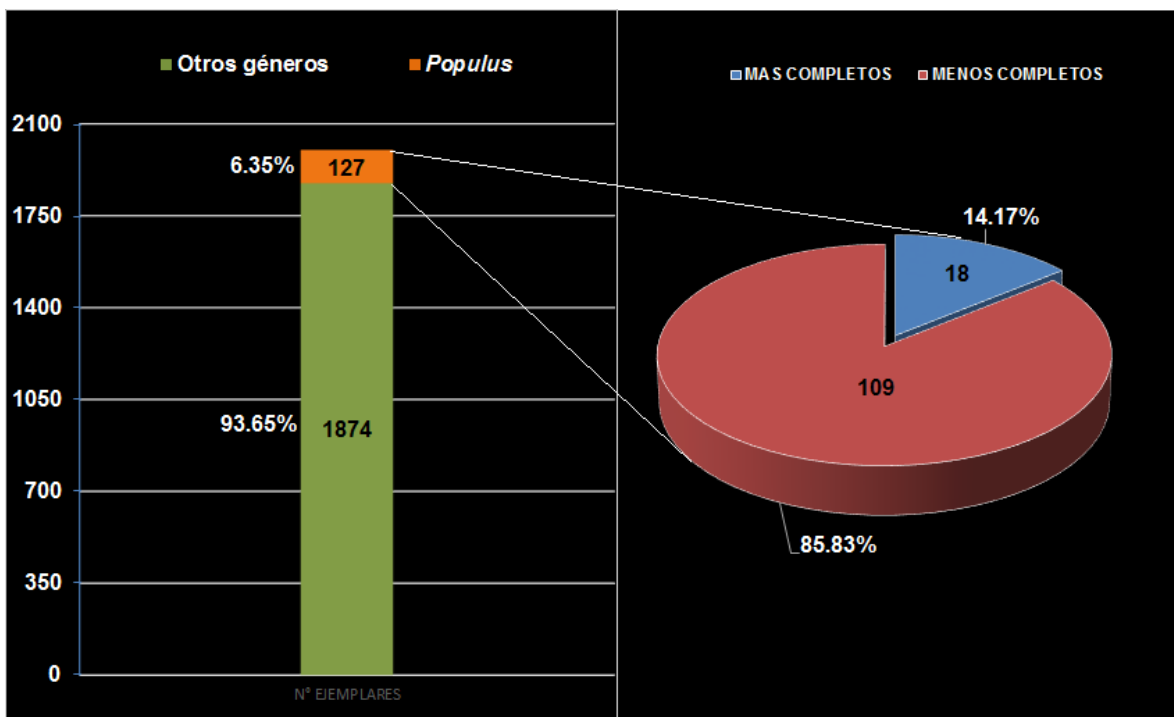


Figura 6. Abundancia del género *Populus* recolectados en la localidad de Sanctorum.

El análisis de agrupamiento permitió obtener un fenograma (Fig. 7) que refleja el acomodo de 33 OTU's, agrupadas en dos grandes grupos (A y B) unidos por un coeficiente de disimilitud de 7.50, el grupo A se divide en dos subgrupos A1 y A2, que incluyen cinco de las especies actuales del género *Populus*, especies que se caracterizan por tener hojas simétricas, de forma ovada, margen dentado con dientes que se distribuyen a todo lo largo del margen, con vena media recta y de

venación secundaria de tipo eucamptodroma. Las venas secundarias son alternas y curvas, se insertan a la vena media con ángulos que se incrementan hacia la base y que varían de 68 a 78° y con venas terciarias rectas. El subgrupo A1 está conformado por las especies *P. fremontii mesetae* y *P. fremontii*, que se diferencian del resto de las OTU's debido a la presencia de dentición sin glándulas, vena media masiva y por presentar 18 pares de venas secundarias con espaciamiento moderado. El subgrupo A2 está representado por las especies, *P. deltoides deltoides*, *P. guzmanantlensis* y *P. monticola*, El grupo B por otro lado incluye a las 28 OTU's restantes y al igual que el grupo A se divide también en dos subgrupos B1 y B2 con una disimilitud que los une de 6.28. El subgrupo B1 incluye a las especies actuales *P. angustifolia*, *P. trichocarpa* y *P. tremuloides*, que se distribuyen actualmente en la región de Santa María Amajac, el subgrupo B2 se divide a su vez en dos subgrupos más, denominados B2.1 y B2.2. El subgrupo B2.1 une a la especie actual *P. mexicana mexicana* con el ejemplar fósil de IGM-PB 1105 (*Populus silvae*), aunque el coeficiente de disimilitud entre ellas es bajo (6.3). Las 23 OTU's restantes se agrupan en el subgrupo B2.2, este subgrupo se divide de nueva cuenta en B2.2.1 y B2.2.2. B2.2.1 incluye a los ejemplares fósiles IMG-PB 1106 (*Populus silvae*) y 1312 (disimilitud de 5.5) por tener caracteres poco parecidos que los unen, por lo que se separa el primer grupo I, las características que comparte este grupo son: base redonda; con un ápice corto acuminado; margen dentado, con dientes de forma redonda sin glándulas, con un espaciamiento regular.

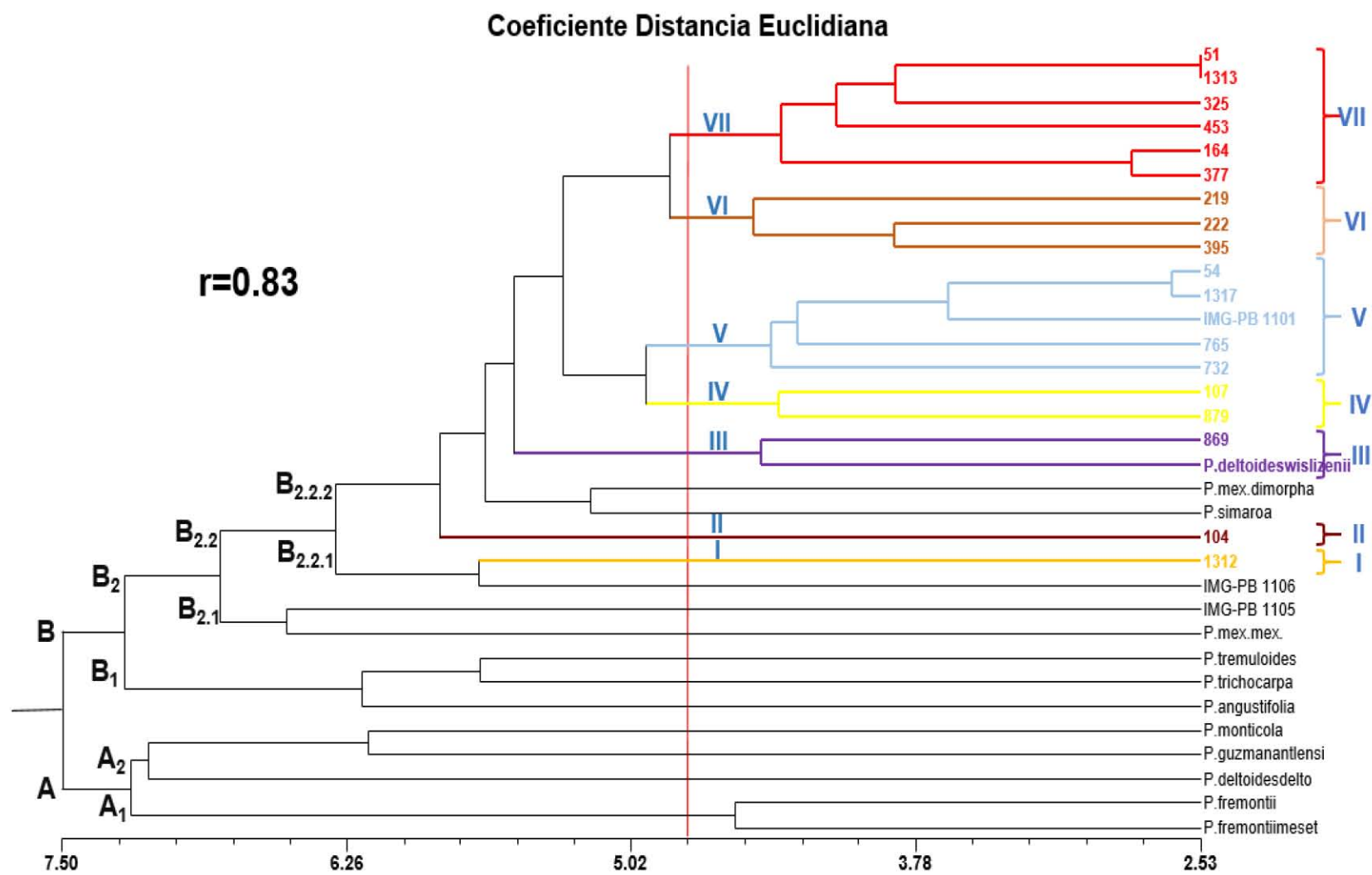


Figura 7. Análisis de agrupamiento de las hojas asignadas al género *Populus*.

El grupo B2.2.2 incluye a tres especies actuales del género *Populus* y a la mayoría de los ejemplares fósiles de SMA. Se divide en agrupamientos más pequeños bien delimitados y que se etiquetaron de la siguiente manera: II, III, IV, V, VI y VII, con una disimilitud de 4.77. Cada uno de ellos con características muy diferentes, que permiten inferir la presencia de nuevas especies del género en la región de SMA. El agrupamiento II incluye solo al ejemplar 104 que se caracteriza por presentar hoja asimétrica; de forma ovada; base cóncava; ápice agudo; vena media fuerte la cual presenta un curso recto/curvo; dientes de tipo crenado a lo largo del margen, la dentición crenada se caracteriza por dientes redondos (Fig. 8).

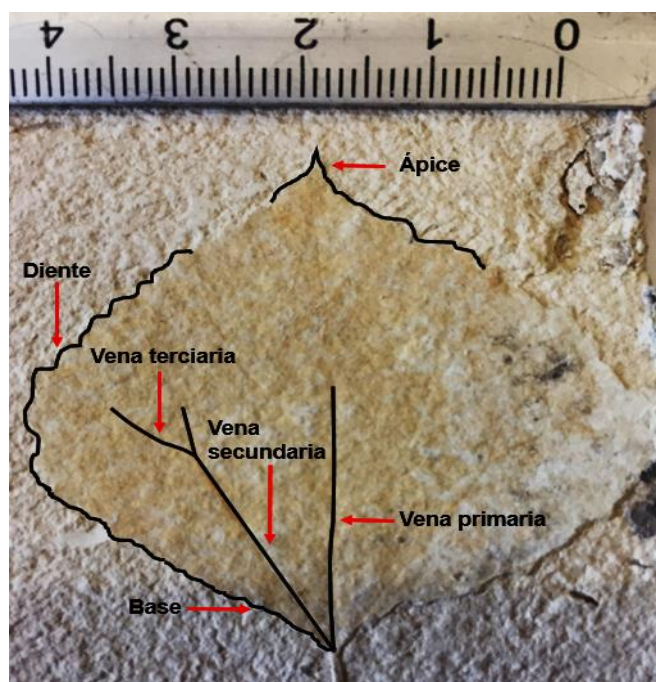


Figura 8. Ejemplar CFZ-ST-104, se aprecian algunos caracteres de la arquitectura foliar.

El grupo III incluye a la especie actual *P. deltoides wislizenii* y al ejemplar de SMA 869 con una disimilitud de 4.47 que comparten los siguientes caracteres: hoja ovada; base obtusa; ápice corto acuminado; dentición crenada; con espaciamiento

irregular sin dientes en la base del margen. El grupo IV está formado por los ejemplares 879 y 107 que comparten características como la forma de la hoja ovada; base redonda; ápice largamente acuminado y vena media de moderada a masiva. El grupo V está formado por los ejemplares 732, 765, 1317 y 54 y un ejemplar del Instituto de Geología IGM-PB 1101 (*Populus dentiacuminata*), unidos por las siguientes características; forma de la hoja ovada; base redonda ocasionalmente obtusa; ápice de tipo corto acuminado u obtuso; vena media de fuerte a moderada. El grupo VI (395, 222 y 219) incluye hojas simétricas de forma ovada; ápice agudo; base cóncava-convexa y margen con dientes a todo lo largo. El último grupo está representado por los ejemplares 377, 164, 453, 325, 1313 y 51 caracterizados por tener hojas de forma ovada; ápice corto acuminado; base redonda ocasionalmente truncada (Fig. 9).

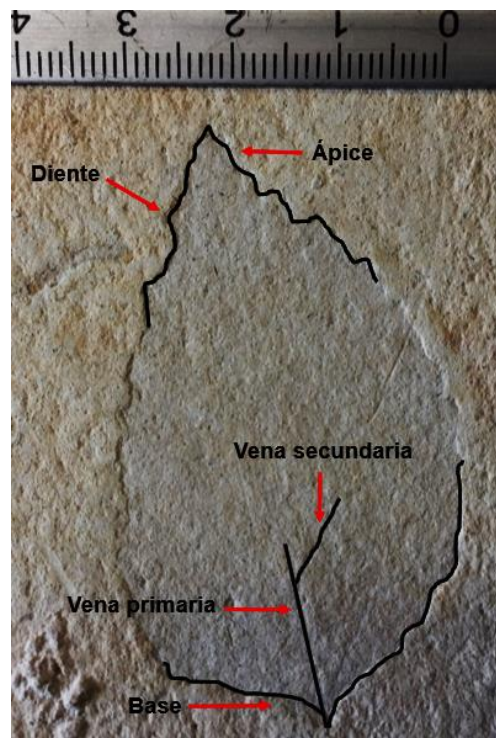


Figura 9. Ejemplar CFZ-ST-325, se distinguen algunos caracteres de su fisonomía foliar.

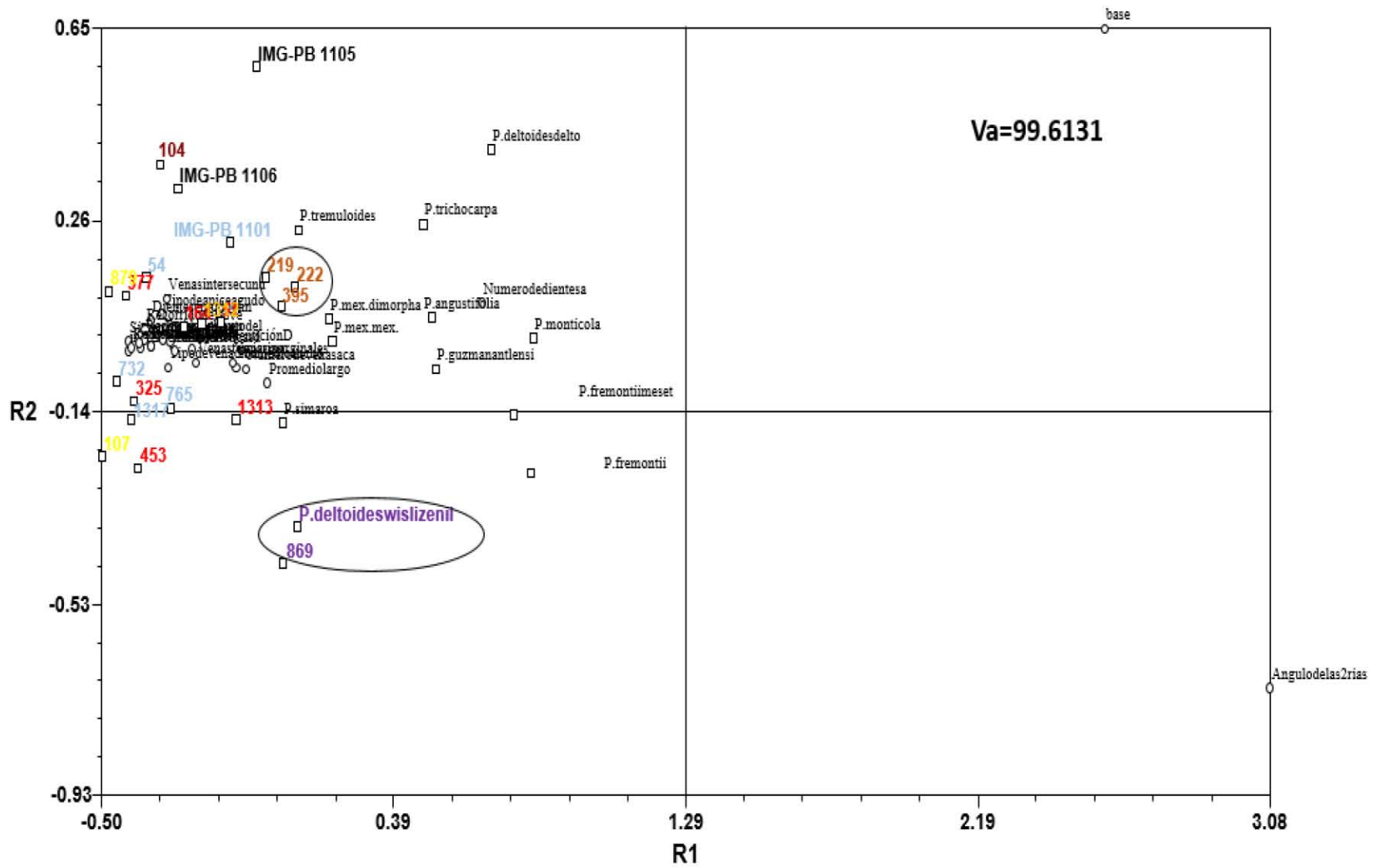
Por otro lado, el Coeficiente cofenético (R) obtenido para este análisis es de 0.83, valor que indica la robustez de los datos, además de definir patrones de variación que determinan el acomodo de las OTU's.

### **Análisis de Componentes Principales**

Los resultados obtenidos en el análisis de agrupamiento se corroboran con el análisis de Componentes Principales (Fig. 10), ya que se obtuvo un acomodo parecido con el fenograma, observándose claramente pequeños grupos. La variación acumulada en el tercer componente fue de 99.6131% (Tabla 4), valor superior al 60% requerido para este análisis.

Tabla 4. Variación acumulada en el tercer componente (Análisis de Componentes Principales).

i	Eigenvalue	Percent	Cumulative
1	31.4511843	95.3066	95.3066
2	1.04309884	3.1609	98.4675
3	<b>0.3780328</b>	<b>1.1456</b>	<b>99.6131</b>
4	0.1975604	0.5987	> 100%
5	0.15427704	0.4675	> 100%



El peso de los estados de carácter se ve reflejado en el primer componente por el promedio de la hoja a lo largo, sigue venas marginales en el segundo componente y por último el espaciamiento de la vena secundaria en el tercer componente, los cuales son los responsables de este acomodo (Tabla 5).

Tabla 5. Peso de cada carácter en cada uno de los componentes (Análisis de Componentes Principales).

PESO DE LOS CARACTERES			
CARACTERES	C1	C2	C3
Simetría de la lámina foliar	0.2201	0.1261	0.0607
Forma de la hoja	-0.0199	-0.3642	-0.4881
Tipo de base	0.2088	0.1739	-0.2254
Tipo de ápice	0.3418	0.2559	-0.3502
Tipo de dentición	0.135	-0.2576	0.0052
Espaciamiento de los dientes	0.1185	-0.4821	-0.4308
Distribución de los dientes en el margen	-0.437	-0.3516	0.0691
Numero de dientes a cada lado del margen	0.1492	0.3186	0.5903
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media	0.4814	-0.132	-0.0442
Promedio largo de la Hoja	<b>0.8055</b>	0.1705	-0.0775
Promedio ancho de la Hoja	0.6773	0.1454	-0.2179
Tipo de venación	0.5994	-0.3871	0.2893
Espaciamiento de la vena secundaria	0.2209	0.1658	<b>0.7132</b>
Angulo de las venas secundarias ápice	0.5659	-0.5372	0.2432
Angulo de las venas secundarias base	-0.5492	-0.4789	0.4788
Venas intersecundarias	-0.3218	0.4968	0.0873
Curso de las venas terciarias	0.2242	0.0748	-0.1912
Venas marginales	0.1126	<b>-0.9918</b>	0.4134
Forma del diente	-0.1359	-0.3901	-0.3237
Recorrido de la vena primaria	-0.4165	0.0589	-0.4328
Posición de las venas secundarias	-0.6611	-0.0567	0.1475
Recorrido de las venas secundarias curvas	-0.6046	0.2553	0.1775
Características de la vena media	0.2109	-0.4173	-0.0782
Espaciamiento de las venas secundarias	-0.2618	-0.2572	-0.2533
Recorrido de las venas secundarias	-0.4098	-0.3905	-0.2853

Dando la siguiente separación de seis nuevos fósilitaxones, que a continuación se describen.



## **Sistemática**

**Reino:** Vegetal

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Subclase:** Dillennidae

**Orden:** Salicales

**Familia:** Salicaceae

**Género:** *Populus* **Cronquist (1981)**

## **Fosilitaxón I**

### **Diagnosis:**

Hoja completa asimétrica, de forma ovada, base redonda, con ápice corto acuminado, margen dentado, con un espaciamiento regular, sin dientes en la base, forma de diente redonda sin glándulas, vena primaria moderada/débil con un recorrido recto/curvo, venas secundarias de tipo craspedodroma, opuestas raramente alternas, con un recorrido curvo a recto y finalizan en el diente de tipo exmedial, el espaciamiento de las venas secundarias se incrementa hacia la base, venas terciarias con un curso convexo, con venas marginales que llegan al margen.

### **Descripción:**

El promedio del largo 7.5 cm y promedio del ancho 7.2 cm, número de dientes a cada lado del margen 16, número de venas secundarias 7, ángulo de las venas secundarias en el ápice 70° y ángulo en la base de 60°.

Número de ejemplares: CFZ-ST-1312.

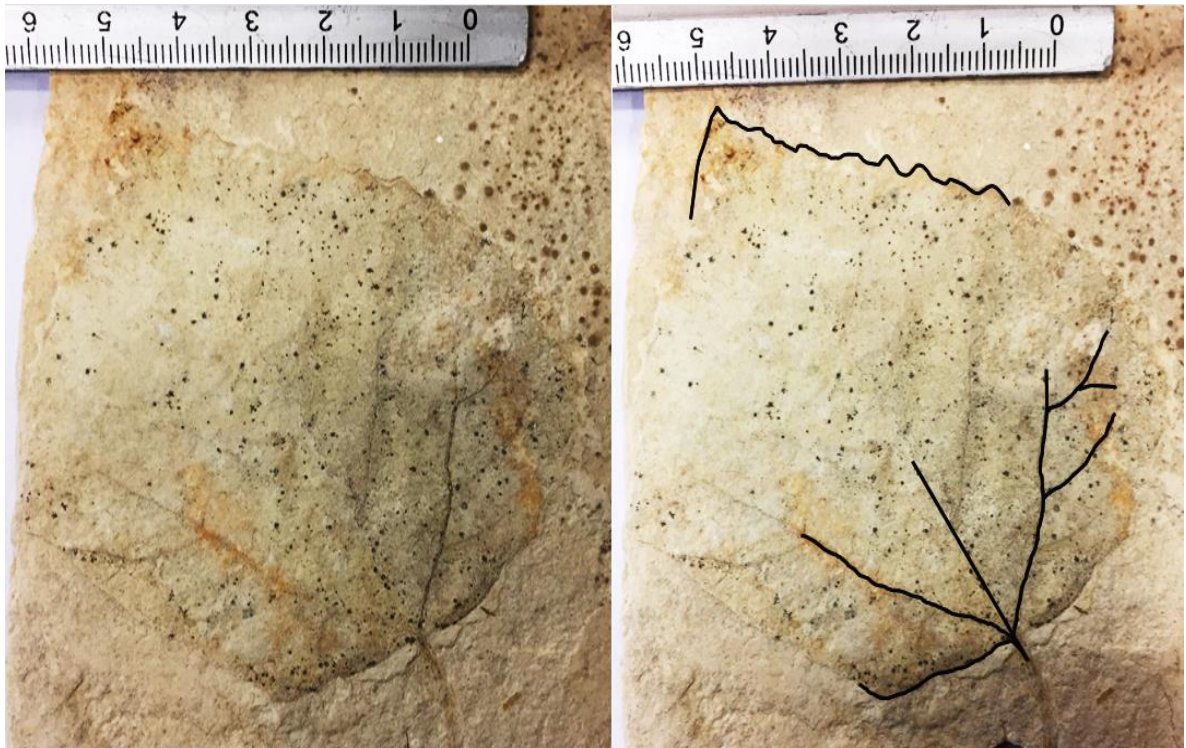


Figura 11. Fosilitaxón I asignado al género *Populus*, (se observa la morfología, así como un acercamiento de la base).

## **Fosilitaxón II**

### **Diagnosis:**

Hoja completa asimétrica, de forma ovada, base cóncava, ápice agudo, venación semicraspedodroma, margen crenado, dientes redondos, distribuidos en todo el margen, vena primaria fuerte, con un recorrido recto/curvo, venas secundarias opuestas a alternas, con un recorrido curvo a recto, con una separación irregular que se incrementa hacia la base, el ángulo de inserción de la vena secundaria con terminación al diente de tipo exmedial, venas terciarias con un curso convexo.

### **Descripción:**

El promedio del largo 4 cm y promedio del ancho 5 cm, número de dientes 21, número de venas secundarias 4, ángulo de las venas secundarias en el ápice 30° y ángulo en la base de 35°.

**Número de ejemplares:** CFZ-ST-104.

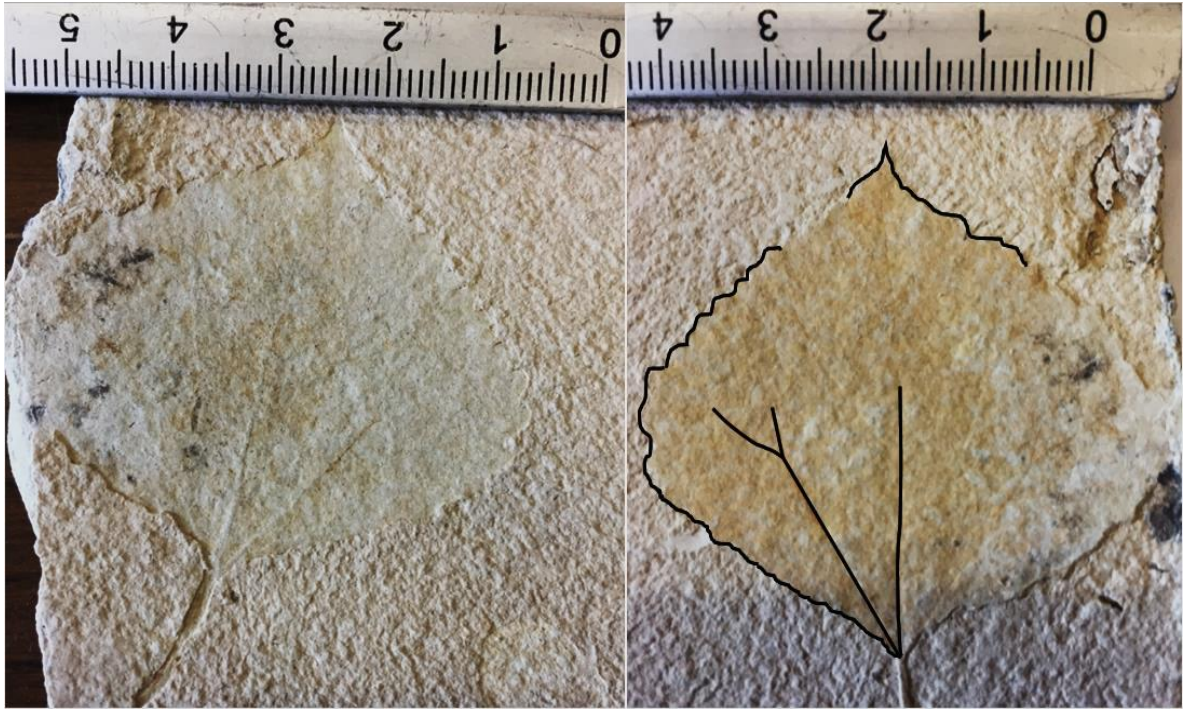


Figura 12. Fosilitaxón II, asignado al género *Populus*, donde se observa la morfología de la hoja, se realiza un acercamiento de segmento de la hoja (Ápice).

### **Fosilitaxón III**

#### **Diagnosís:**

Hoja simétrica, de forma ovada, base obtusa, ápice corto acuminado, venación de tipo broquidodroma, margen crenado, sin dientes en la base de la hoja, forma del diente aguda, vena primaria moderada a débil, con un recorrido recto, venas secundarias curvas de alternas a opuestas con espaciamiento que se incrementa hacia la base, inserción de la vena secundaria con terminación al diente de tipo central, venas terciarias con un curso convexo, presenta venas marginales que no llegan al margen.

#### **Descripción:**

El promedio del largo 4.6 cm y promedio del ancho 3.3 cm, número de dientes 12, número de venas secundarias 6 con un ángulo de 80° en el ápice 80° y en la base de 65°.

**Número de ejemplares:** CFZ-ST-869.



Figura 13. Fosilitaxón III, asignado al género *Populus*, se observa la morfología.

## **Fosilitaxón IV**

### **Diagnosís:**

Hoja completa asimétrica, de forma ovada, base redonda, ápice largamente acuminado, venas secundarias de tipo craspedodroma o eucamptodroma, margen crenado, con dientes agudos en todo el margen, vena primaria moderada a masiva con un recorrido recto/curvo, venas secundarias con recorrido recto a curvo, opuestas en ocasiones alternas, su espaciamiento se incrementa hacia la base, el ángulo de inserción de la vena secundaria con terminación al diente de tipo central, presencia de venas intersecundarias, venas terciarias de tipo convexo, venas marginales que llegan al margen.

### **Descripción:**

El promedio del largo es de 2.8 a 3 cm y promedio del ancho es de 1.8 a 2.5 cm, el número de dientes promedio es de 19, número de venas secundarias de 7 a 9, ángulo de las venas secundarias en el ápice de 50° a 65° y el ángulo de la base de 50° a 64°.

**Número de ejemplares:** CFZ-ST-879 y CFZ-ST-107.

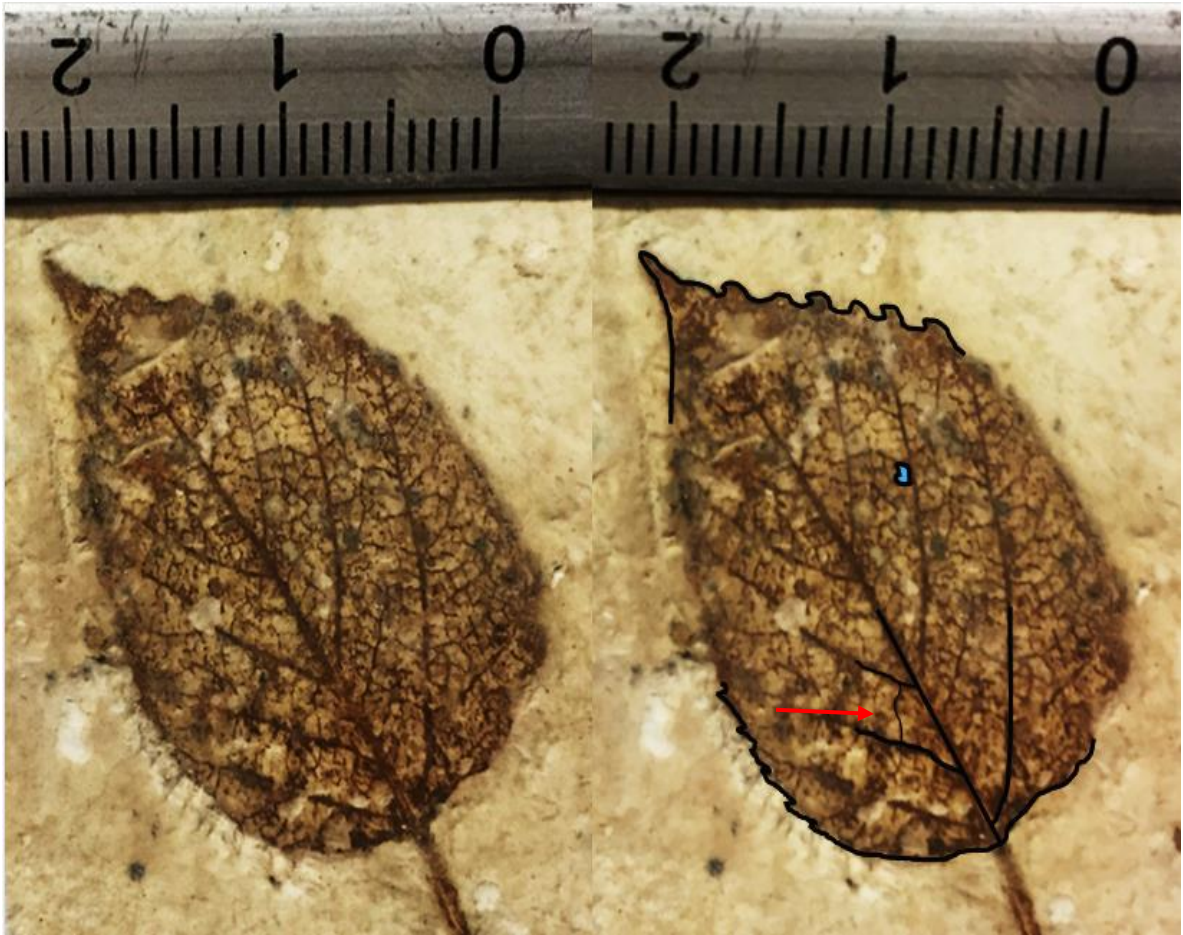


Figura 14. Fosilitaxón IV, asignado al género *Populus*, se observa la morfología, se realiza un acercamiento de segmento de la hoja (venas terciarias).



## **Fosilitaxón V**

### **Diagnosís:**

Hoja de tipo simétrica, de forma ovada, con base redonda ocasionalmente obtusa, ápice de tipo corto acuminado, venas secundarias de tipo semicraspedodroma o craspedodroma, margen crenado solo en una parte, sin dientes en la base, dientes de agudo/redondo, espaciamiento regular, vena primaria de fuerte a moderada, con un recorrido recto, venas secundarias opuestas ocasionalmente alternas, con recorrido curvo llegando a ser recto, el ángulo de inserción con terminación al diente de forma central aunque en ocasiones se presenta exmedialmente, con venas intersecundarias, venas terciarias las cuales presentan un curso convexo a sinuoso, presenta venas marginales que llegan al margen

### **Descripción:**

El promedio del largo es de 5 a 8 cm y promedio del ancho es de 2.5 a 7 cm, número promedio de dientes de 5 a 20, número de venas secundarias de 4 a 6, ángulo de las venas secundarias en el ápice de 28° a 60° y en la base de 53° a 63°.

**Número de ejemplares:** CFZ-ST-732, CFZ-ST-765, CFZ-ST-1317, CFZ-ST-54 y IMG-PB 1101.

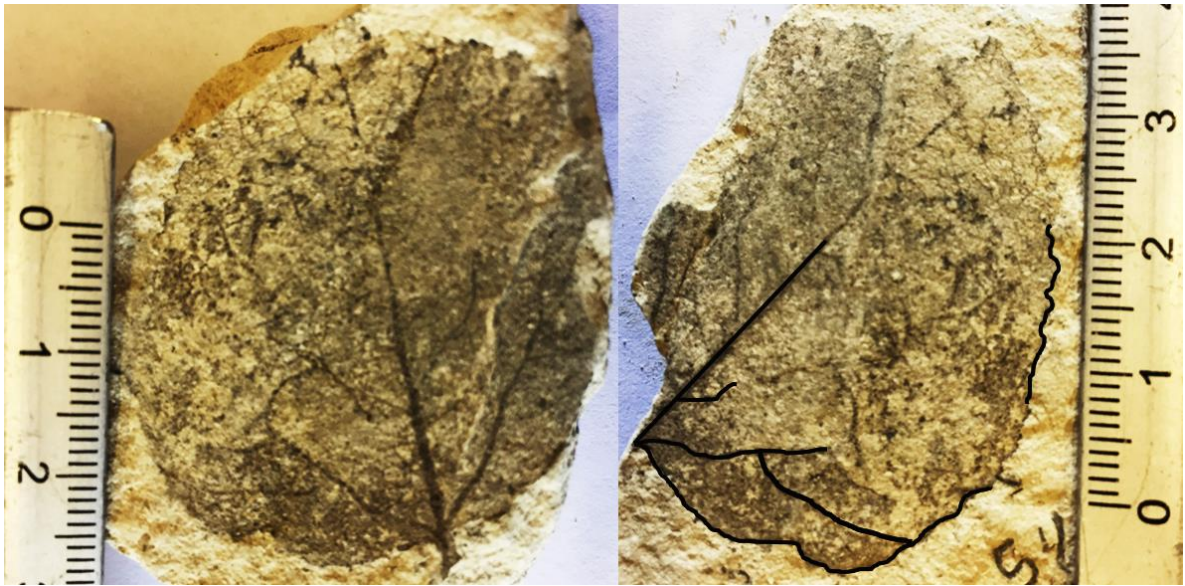


Figura 15. Fosilitaxón V, asignado al género *Populus*, donde se observa la morfología de la hoja.

## **Fosilitaxón VI**

### **Diagnosís:**

Hoja simétrica, forma ovada, base cóncava-convexa, ápice agudo, venación secundaria de tipo craspedodroma o broquidodroma, margen crenado con dientes redondos y en ocasiones con glándulas, espaciamiento de la dentición regular observándose en ocasiones con presencia irregular, vena primaria débil con un recorrido recto/curvo, venas secundarias opuestas raramente alternas, con un recorrido curvo a recto y su espaciamiento tiende a tener un incremento hacia la base, el ángulo de inserción con terminación al diente de tipo exmedial, venas intersecundarias, a veces presentes venas terciarias con un curso de tipo sinuoso, presenta venas marginales que llegan al margen.

### **Descripción:**

El promedio de largo 6.8 a 7.8 cm y promedio del ancho de 6 cm, el promedio de dientes es de 14 a 16, número de venas secundarias 4 a 6, ángulo de las venas secundarias en ápice de 50° y el ángulo de la base de 40° a 53°.

**Observaciones:** Como ya se comentó anteriormente, se realizó la comparación con especies actuales y fósiles ya reportados para la República Mexicana, pero este conjunto que se describe sigue diferenciándose entre ellos.

**Número de ejemplares:** CFZ-ST-395, CFZ-ST-222 y CFZ-ST-219.

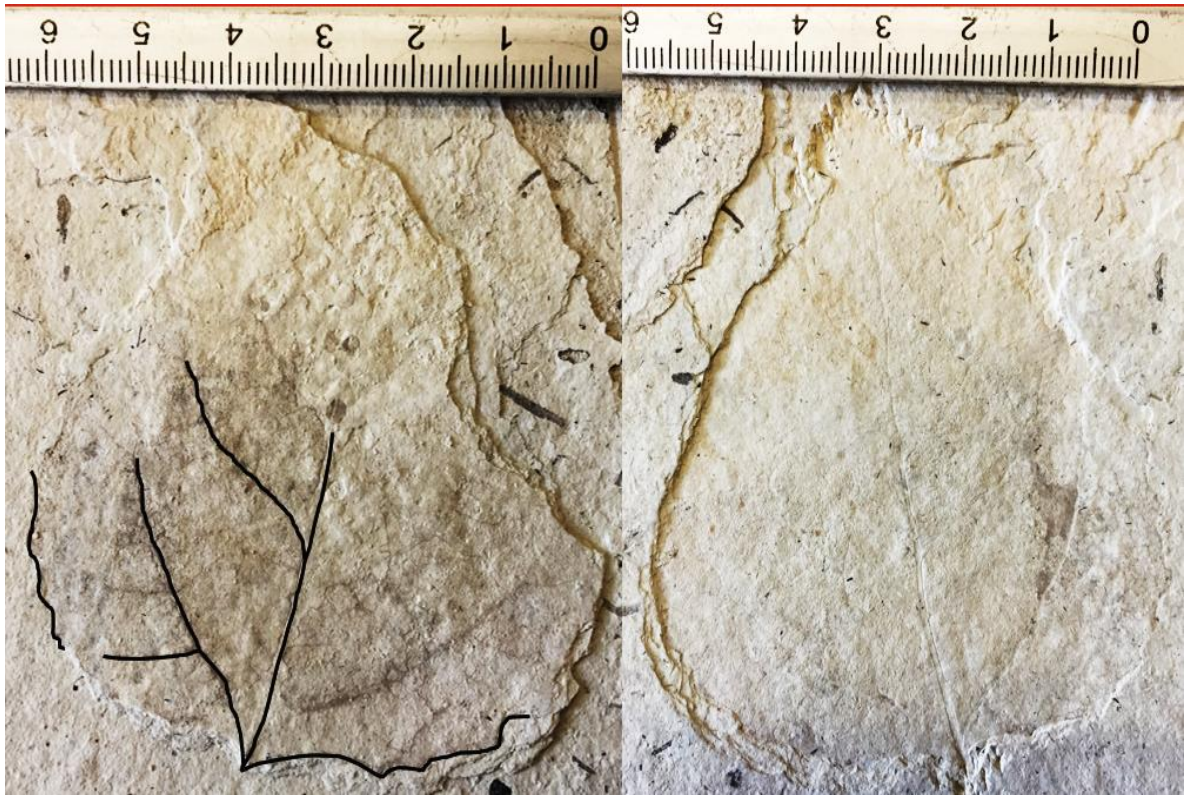


Figura 16. Fosilitaxón VI, asignado al género *Populus*, se observa la morfología de la hoja y el arreglo de las venas.

## **Fosilitaxón VII**

### **Diagnosís:**

Hojas regularmente simétrica, forma de tipo ovada, base redonda ocasionalmente truncada, con ápice corto acuminado, venación secundaria de tipo semicraspedodroma o craspedodroma, margen crenado raramente serrado, con dientes redondos a ambos lados del margen espaciados irregularmente a todo lo largo, vena primaria moderada a débil con un recorrido recto/curvo, venas secundarias opuestas raramente alternas, con un recorrido curvo, su espaciamiento se incrementa hacia la base, el ángulo de inserción con terminación al diente de manera central, presencia de venas intersecundarias, venas terciarias con un curso recto a sinuoso, presenta venas marginales que llegan al margen.

### **Descripción:**

El promedio del largo de 4.5 cm a 6.6 cm y el promedio del ancho de 3.2 cm a 6 cm, el número de dientes de 10 a 19, número de venas secundarias de 4 a 6, ángulo de las venas secundarias en ápice de 35° a 64° y en la base de 40° a 56°.

**Observaciones:** Estos ejemplares como grupo se distingue de los otros, porque están muy apartados de alguna especie actual o de algún fósil ya reportado para la República Mexicana, por lo que en este trabajo se considera que hay caracteres únicos: el ángulo de inserción con terminación al diente de manera central, venas

terciarias con un curso recto a sinuoso, presenta venas marginales, para asignarlos como fósilitaxones distintos.

**Número de ejemplares:** CFZ-ST-377, CFZ-ST-164, CFZ-ST-453, CFZ-ST-325, CFZ-ST-1313 y CFZ-ST-51.

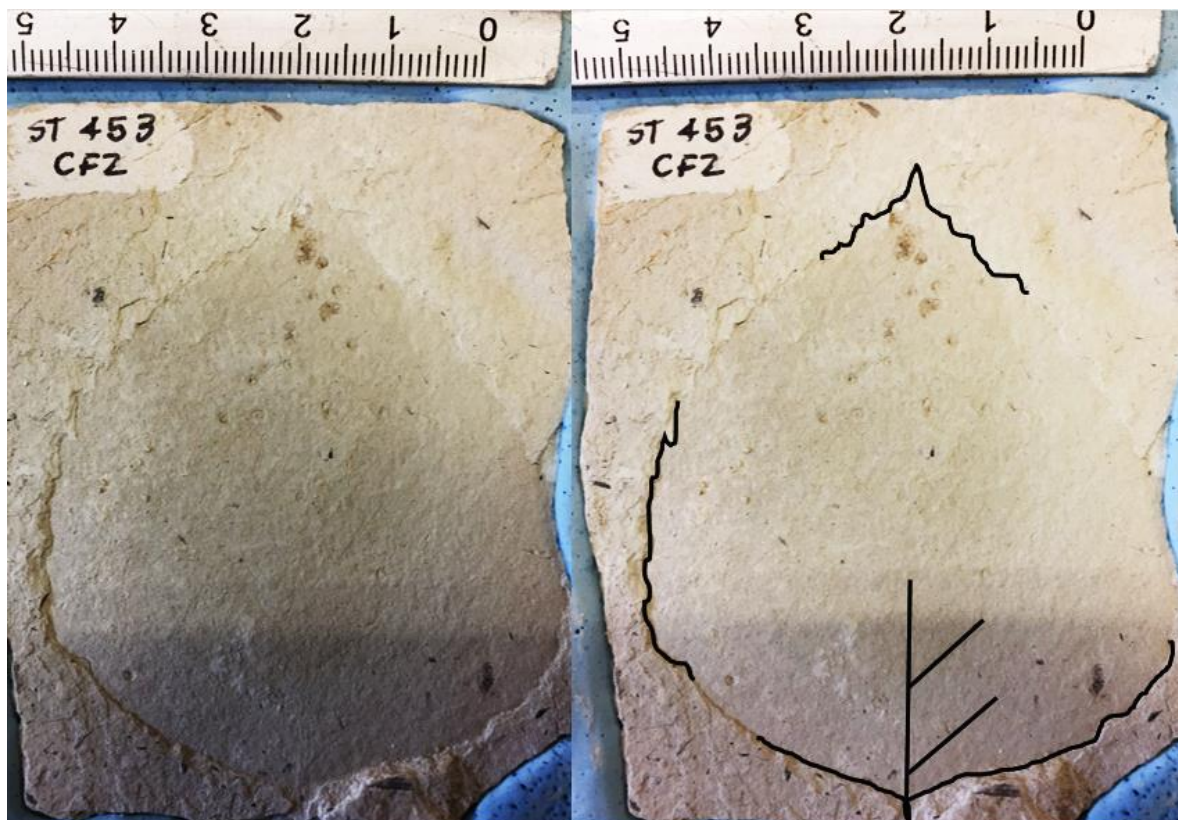


Figura 17. Fosilitaxón VII, asignado al género *Populus*, donde se observa claramente partes de sus estructuras.

## **DISCUSIÓN**

El género *Populus* pertenece a la familia Salicaceae, que habita en las regiones de México, principalmente en las riberas de los ríos y demás cursos de agua, donde crean densas formaciones.

Los bosques riparios influyen de forma decisiva en la morfología y procesos geomorfológicos que tienen lugar en el territorio fluvial. El desarrollo de la vegetación ayuda a la estabilización de sedimentos asociados a las orillas y llanuras de inundación, evita la erosión de los márgenes y suministra elementos, tales como ramas caídas, troncos muertos y raíces, que favorecen la retención de sedimentos y la creación de nuevos hábitats (Gregory et al., 2003).

### Estructura vertical

Por lo que respecta a la estructura vertical, los bosques de ribera presentan una organización compleja, formada en su máximo desarrollo por los siguientes estratos:

1. **Estrato arbóreo:** es habitualmente pluriespecífico, pero está frecuentemente dominado en cada formación por una sola especie. Está formado generalmente por árboles o arbolillos planocaducifolios y es típicamente cerrado, por lo que proporciona una intensa sombra a los estratos inferiores. Alisos (*Alnus glutinosa*), fresnos (*Fraxinus*), álamos y chopos (*Populus alba*, *Populus nigra*), olmos (*Ulmus minor*) y diversos sauces (*Salix*).

2. **Estrato arborescente:** formado por individuos jóvenes de los árboles de los estratos superiores, a los que se añaden otras leñosas de talla elevada, como sauces, arraclanes (*Frangula alnus*), brezos (*Erica arborea*), tarayes (*Tamarix*), saúcos (*Sambucus nigra*), etc.

3. **Estrato arbustivo:** el carácter predominante heliófilo de los arbustos asociados a las riberas hace que este estrato sea más importante en los claros y en los bordes exteriores del bosque.

En el Plioceno se tenía una vegetación más abundante con ocho fósilitaxones y por los cambios ambientales abruptos en la región, se puede decir que ha disminuido considerablemente, por lo que, podemos decir que solamente encontramos a *P. deltoides wislizenii*, *P. mexicana dimorpha* y *P. simaroa*.

Los datos obtenidos permiten suponer un cambio en las características ambientales de la zona de estudio que provocaron la desaparición del lago de Amajac y con ello del bosque de galerías donde habitaban los ejemplares del género *Populus*. Dicho cambio estuvo relacionado con una avalancha de escombros en un profundo cañón labrado en la Formación El Abra. La sedimentación lacustre terminó cuando los escombros de la avalancha fueron erosionados al subir el nivel del agua por una mayor precipitación pluvial y por encontrarse colmatada de sedimentos la zona del embalse. Posteriormente siguió una fase de intensa erosión, sobre todo de los sedimentos lacustres poco compactos, dando como resultado afloramientos aislados que forman lomeríos profundamente disectados, los cuales tienen una vegetación muy diferente (Matorral Xerófilo) a la que evidencia el registro fósil. (Arellano-Gil, et al., 2005).



## CONCLUSIONES

-Las diferencias en la arquitectura foliar de los ejemplares recolectados en la región de SMA permiten identificar seis fósilitaxones nuevos para el género *Populus*.

-Solo la especie *P. deltoides* subespecie *wislizenii* tiene afinidad con un ejemplar recolectado en la región de SMA. Sin embargo, las diferencias morfológicas indican que puede tratarse de una subespecie o bien de especie cercanamente emparentada.

-La comparación de los listados florísticos de especies actuales y fósiles del género *Populus* presentes en el estado de Hidalgo. Indica que la diversidad de este género en la región de SMA fue mayor en el Plioceno con ocho fósilitaxones y que actualmente solo se distribuyen tres especies de álamos, en el estado.

-Por último, los resultados obtenidos y estudios previos paleontológicos realizados en la zona de SMA permiten inferir un cambio ambiental abrupto, originado por la desaparición del lago y con ello de las especies de *Populus* presentes en la localidad.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA:**

-Aguilar Arellano, F. y Ortiz Martínez, E. L. 2000. Estudio Paleoecológico de la flora pliocenica de Santa María Amajac, Hidalgo: Inferencia del paleoclima y de la paleocomunidad. (Tesis - Universidad Nacional Autónoma de México).

-Aguilar-Arellano, F. J. y Velasco de León, M. P. 2002. El clima durante el Plioceno en la región de Santa María Amajac, Hidalgo, México: Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana 71: 71-81.

-Arellano-Gil, J., Velasco de León, M.P., Silva-Pineda, A., Salvador-Flores, R. y Beltrán Romero, F. 2005. Origen y características geológicas del Paleo-Lago de Amajac, Hidalgo, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.22, núm.2, p. 199-211.

-Ash, A. Ellis, B. Hickey, L. y Johnson, K. 1999. Manual of leaf architecture, morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms. Smithsonian Institution.

-Beltrán-Romero, F. y Luna-Gómez, P. 1994. Estudio geológico de la región de Santa María Amajac, Municipio de Atotonilco el Grande, Estado de Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis de licenciatura. México, D.F.

-Calvillo-Canadell, L. 2002. *Bauhcis moranii gen. et sp. nov. (Cercideae Caesalpinieae)*, an Oligocen plant from Tepexi de Rodríguez, Puebla, México., with leaf architecture similar to *Bahunia* and *Cercis*. *Review of Paleobotany and*

*Palynology*. 122:3-4 171-184.

-Castillo-Cerón, J. M. 1994. Bioestratigrafía de los sedimentos continentales del área de Zacualtipán (Mioceno Tardío), Estado de Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Tesis de Maestría. México. D.F.

-Cevallos-Ferriz, R.S. 2000. Consideraciones sobre las angiospermas (Plantas con flor) fósiles en México. *Unión Geofísica Mexicana* 433-444 p.

-Cuadras, C. M. 2014. Nuevos Métodos de Análisis Multivariante. CMC Editions Barcelona.

-Cruz-Hernández, J.M., 2012, Estudio palinológico de sedimentos pliocénicos de Santa María Amajac, Hidalgo durante el Neógeno: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de licenciatura.

-Dilcher, D.L. and Dolph, G.E. 1970. Foliar physiognomy as an aid in determining paleoclimate, *Paleontographica, Abteilung B.*, 170:151-172p.

-Dilcher, D.L. 1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. *The Botanical Review*, 40(1):1-157.

-Estrada Millán, D. M. 2010. Arquitectura foliar de tres morfotipos de angiospermas del plioceno de Sanctórum, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Zaragoza. UNAM. México. D.F.

-Eckenwalder, James E. 1977. North American Cottonwoods (*Populus*, Salicaceae) of sections abaso and aigeiros." *Journal of the Arnold Arboretum*, 58(3): 193-208. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/43782013>

- Fisher, M.J., 1928. The morphology and anatomy of the flowers of the Salicaceae I, Amer. Jour Bot., 307-326.
- Fisher, M.J., 1928. The morphology and anatomy of the flowers of the Salicaceae II, Amer. Jour Bot., 15:372-394.
- Freudenberg, W. 1992. Die säugetierfauna des Pliocäns und Postpliocäns von Mexiko: Mastodonten und Elefanten. Geologische und paleontologische adhandlungen. 14. 103-176.
- Fuentes-Guerra, E. P. y Velasco de León, M. P. 2002. Anuros de la Formación Atotonilco el Grande, México (resumen), VIII Congreso Nacional de Paleontología. Guadalajara, Jalisco. Sociedad Mexicana de Paleontología y Museo de Paleontología de Guadalajara. (sin publicar).
- Galdámez Escutia, E. I. 2006. Herbivoría en angiospermas fósiles de la Formación Atotonilco El Grande, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Zaragoza. UNAM. México. D.F.
- García-Mendoza, A., Tenorio Lezama, P. y Reyes Santiago, J. 1994. El Endemismo en la flora fanerogámica de la mixteca alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, 27:53-73.
- Gregory, S., Boyer, K. and Burnell, A. (Eds). 2003. The ecology and management of wood in world rivers. American Fisheries Society.
- Heywood, V.H. 1985. Flowering plants of the world. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 335 pp.

-Hernández López, R. 2006. Descripción de la flora fósil de una localidad en Santa María Amajac, Hidalgo. (Tesis - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo).

-Hickey, L.J. 1973. Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany*, vol.60 No.X, 17-33pp.

-Hickey, L. J. y Wolfe, J. A. 1975. The bases of Angiosperm Phylogeny-vegetative morphology. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 62: 3. 538-539.

-Hidalgo crece contigo. "Atotonilco el Grande" Consultada en:2017-05-06.

Disponible en: [http://www.hidalgo.gob.mx/page/municipio/atotonilco\\_el\\_grande](http://www.hidalgo.gob.mx/page/municipio/atotonilco_el_grande)

-Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1983. Hoja Pachuca, carta geológica. Esc. 1: 250 000. México.

-Instituto de Biología. "***Platanus mexicana*** Moric. - IBUNAM:MEXU:PA980711". UNIBIO: Colecciones Biológicas. 2008-10-13. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultada en: 2018-4-8. Disponible en:

<http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:PA980711>

-Kowallis, B.J., Swisher, C.C., Carranza-Castañeda, O., Millar, W.E. y Tingey, D.G. 1998. Preliminary dates in selected late tertiary vertebrate fauna from México. En avances de investigación paleontológica de vertebrados del Instituto de Investigación de la Tierra, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo. 103-108 p.

-Lindorf, H., Parisca, L. y Rodríguez P. 1991. Botánica: clasificación, estructura y reproducción. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 296 p.

- Martínez González, R. E. 2002. Taxonomía y Biogeografía del género *Populus* (SALICACEAE) en México. Maestría. Universidad de Guadalajara.
- Martínez González, R. E. y González Villarreal, L. M. 2002. La familia *Salicaceae* (*Populus*) en el estado de Jalisco, México.
- Martínez-Martínez, P. C. 2008. Paleobiogeografía y Diversidad de tres géneros de Plantas Acuáticas Fósiles. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Zaragoza. UNAM. México. D.F.
- Martínez-Martínez, P.C. y Velasco de León, M. P. 2009. Paleobiogeografía de tres géneros de plantas acuáticas fósiles (*Thypha*, *Scirpus* y *Nymphaea*) Memorias del XI Congreso Nacional de Paleontología, Juriquilla, Qro.
- Nieto Barajas, L. E. 2000. Diplomado en Estadística Aplicada. Recuperado de:  
<http://allman.rhon.itam.mx/~lnieto/>
- Ortiz Martínez, E. L. y Velasco de León, M. P. 2000. Estudio de Taxonomía numérica de hojas fósiles de Santa María Amajac del Plioceno del estado de Hidalgo (resumen). VII Congreso Nacional de Paleontología y I Simposio Geológico en el noroeste de México. Linares, N. León. Facultad de Ciencias de la Tierra. 54 p.
- Ortiz Martínez, E. L. 2007. Estudio Taxonómico-Ecológico de tres géneros de angiospermas fósiles de la Región de Santa María Amajac, Hidalgo. (Tesis de maestría-Universidad Nacional Autónoma de México).

- Ortiz-Martínez, E. L. y Velasco de León, M. P. 2009. Efecto del cambio climático sobre la distribución de angiospermas fósiles en la región e Santa María Amajac, Hidalgo. Ed. Memorias del XI Congreso Nacional de Paleontología, Juriquilla, Qro.
- Ramírez-Garduño, J. 1998. Análisis foliar de Anacardiaceae-Berberidaceae y Salicaceae en los Ahuehuetes(Oligoceno)Tepexi de Rodríguez, Puebla. M. en C. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Reyes-Torres, A., Vázquez-Rodríguez, S. D., Carreño, A. L. y Velasco de León, M. P. 2002. Ostrácodos Lacustres del Plioceno-Pleistoceno inferior de la Formación Atotonilco el Grande, Hidalgo, México (resumen). VIII Congreso Nacional de Paleontología, Guadalajara, Jalisco. Sociedad Mexicana de Paleontología y Museo de Paleontología de Guadalajara. (sin publicar).
- Rubilar, R. A. 2007. Paleontología (GL34A). Universidad de Chile. Departamento de Geología. Paleontología en Chile. 1-4.
- Ruiz de la Torre, J. & Ceballos, L. Árb. España Penins, 1971. C. VICIOSO in Bol. Inst. Forest. Invest. Exp. 57: 6-24 (1951).
- Rzedowski, J. 1985. Análisis de la distribución geográfica de las especies mexicanas del género *Populus* (Salicacea), C. R. Soc. Biogéogr., 60(4):141-150.
- Salvador-Flores, R. 2001. Origen sedimentológico y estratigrafía del Paleolago de Amajac, Amajac, Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura. México, D.F.

- Smith, R.L., 1988. Phylogenetics of *Populus* L. (Salicaceae) based on restriction site fragment analysis of cpDNA, M.S. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 115 pp.
- Solórzano-Aguilera, A. 2007. Descripción de los ambystomas del paleolago de Santa María Amajac. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Zaragoza. UNAM. México. D.F.
- Vallati, P. 2011. Laboratorio de Bioestratigrafía, UNPSJB, Ciudad Universitaria, 9000, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
- Velasco de León, M. P. 1999. Estudio Paleoecológico de una comunidad del Terciario en el Estado de Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.120 p.
- Velasco de León, M. P. y Romero-Rangel S. 2001. Arquitectura foliar de diez especies de *Quercus* (Fagaceae) como fuente de información para la identificación de ejemplares fósiles. En: XV Congreso Mexicano de la Sociedad Botánica: Querétaro, Qro. *Sociedad Botánica Mexicana* (sin publicar).
- Velasco de León, M. P. y Aguilar-Arellano, F. J. 2002. La fisonomía foliar y el paleoclima de Santa María Amajac, Hgo. (Resumen). En: VIII Congreso Latinoamericano de Botánica (sin publicar).
- Velasco de León, M. P. y Ortiz Martínez E. L. 2010. Nuevas especies de *Quercus*(Fagaceae) en el Plioceno de Santa María Amajac, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de ciencias Geológicas*, v.27, núm.2, p.264-277.



- Villarello, J. y Bosë E. 1902. Criaderos de fierro de la Hacienda de Vaquerías en el Estado de Hidalgo. *Boletín del Instituto Geológico Mexicano*. 16. 15-44.
- Wolfe, J. A., 1967. Climatic changes recorded by tertiary land floras in northwestern North America. In K. Hastai, (ed). *Tertiary Correlation and climatic changes in the Pacific*: Tokyo, sasaki Printing and Publishing.
- Wolfe, J. A., 1968. Paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the northern hemisphere. *American Scientist*. 66:694-703.
- Wolfe, J. A., 1969. Paleogene from the gulf of Alaska region U.S. Geological Survey Late Cretaceous and Tertiary. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 62:264-279.
- Weber, R. y S. R. S. Cevallos-Ferriz. 1995. Perfil actual y perspectiva de la paleobotánica en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 55:141-148.
- Zaragoza-Caballero, S. y Velasco de León M. P. 2003. Una especie nueva de *Epicauta* (Coleóptera: Meloidae) del Plioceno del Estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20: 2, 154-159.

# **A N E X O S**

Anexo 1. Base de datos codificados de los caracteres obtenidos en las 33 OTU's, con los 25 caracteres.

CARACTERISTICAS	51	54	164	219	222	104	107	325	377	395	453	732	765	869	879	1312
Simetría de la lámina foliar	99	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	0	1	1	2	2
Forma de la hoja	2	2	99	2	2	2	2	2	99	2	2	2	2	2	2	2
Tipo de base	2	2	5	5	5	4	2	4	99	5	2	1	2	1	2	2
Tipo de ápice	99	99	1	1	1	1	99	1	99	1	1	99	1	1	2	1
Tipo de dentición	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	1
Espaciamiento de los dientes	2	1	1	1	99	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1
Distribución de los dientes en el margen	99	2	1	1	1	1	2	1	99	2	2	2	2	2	1	2
Numero de dientes a cada lado del margen	14	15	15	99	14	21	99	11	10	16	19	5	15	12	19	16
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media	5	6	5	4	4	4	9	6	5	6	5	5	5	6	7	7
Promedio largo de la Hoja	6	99	5	7.8	7	4	2.8	5.6	4.5	6.8	6.6	5	8	4.6	3	7.5
Promedio ancho de la Hoja	5.4	99	6	6	6	5	2.5	3.2	5.6	6	5.4	5.6	7	3.3	1.8	7.2
Tipo de venación	1	2	2	3	2	1	5	2	2	2	99	1	2	3	2	2
Espaciamiento de la vena secundaria	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	99	1
Angulo de las venas secundarias ápice	35	37	48	50	50	30	50	47	43	99	49	61	60	80	65	70
Angulo de las venas secundarias base	40	63	99	53	40	35	64	56	49	47	46	53	58	65	50	60
Venas intersecundarias	1	1	99	1	99	99	99	99	1	0	99	1	1	0	1	99
Curso de las venas terciarias	3	2	1	3	99	2	2	99	1	3	99	3	2	2	2	2
Venas marginales	99	99	99	99	99	99	99	1	1	1	99	1	1	2	1	1
Forma del diente	2	2	2	2	2	2	3	2	1	3	3	2	3	3	3	2
Recorrido de la vena primaria	3	1	3	2	1	3	3	3	3	3	3	1	1	1	2	3
Posición de las venas secundarias	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Recorrido de las venas secundarias curvas	1	3	1	1	3	3	3	3	1	1	3	3	3	1	3	3
Características de la vena media	3	2	3	4	4	2	3	4	3	4	4	3	2	4	1	4
Espaciamiento de las venas secundarias	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Recorrido de las venas secundarias al diente	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1

CARACTERISTICAS	1313	1317	IGM-PB 1105	IGM-PB 1101	IGM-PB 1106	<i>P. mexicana mexicana</i>
Simetría de la lámina foliar	1	1	1	1	2	1
Forma de la hoja	2	2	1	2	1	2
Tipo de base	3	2	2	99	1	1
Tipo de ápice	1	1	99	3	99	3
Tipo de dentición	4	4	4	4	3	5
Espaciamiento de los dientes	2	99	1	1	1	2
Distribución de los dientes en el margen	1	2	99	99	2	1
Numero de dientes a cada lado del margen	18	20	30	13	13	14
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media	4	4	7	5	6	6
Promedio largo de la Hoja	5.3	6.1	9	7.5	5	6.5
Promedio ancho de la Hoja	4.7	2.8	7	5	3	4.75
Tipo de venación	2	99	1	1	1	1
Espaciamiento de la vena secundaria	1	1	1	1	1	1
Angulo de las venas secundarias ápice	64	99	30	28	99	70
Angulo de las venas secundarias base	54	63	35	99	36	21
Venas intersecundarias	99	99	99	1	99	0
Curso de las venas terciarias	99	99	2	3	3	2
Venas marginales	99	99	99	99	99	99
Forma del diente	2	2	3	3	1	3
Recorrido de la vena primaria	3	1	1	1	2	3
Posición de las venas secundarias	1	2	2	2	2	2
Recorrido de las venas secundarias curvas	1	3	3	1	3	1
Características de la vena media	3	4	2	3	3	3
Espaciamiento de las venas secundarias	3	3	1	3	3	1
Recorrido de las venas secundarias al diente	2	1	1	1	1	1

CARACTERISTICAS	<i>P. mexicana dimorpha</i>	<i>P. simaroa</i>	<i>P. monticola</i>	<i>P. guzmanantlensis</i>
Simetría de la lámina foliar	1	1	1	1
Forma de la hoja	2	2	2	2
Tipo de base	3	1	6	2
Tipo de ápice	3	1	1	1
Tipo de dentición	5	5	5	5
Espaciamiento de los dientes	1	1	2	2
Distribución de los dientes en el margen	1	1	1	2
Numero de dientes a cada lado del margen	19	18	17	30
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media	6	6	5	5
Promedio largo de la Hoja	9.4	9.5	13.6	12
Promedio ancho de la Hoja	6	6	9.84	11
Tipo de venación	5	5	5	5
Espaciamiento de la vena secundaria	1	1	1	1
Angulo de las venas secundarias ápice	70	70	70	75
Angulo de las venas secundarias base	37	50	30	38
Venas intersecundarias	1	0	0	1
Curso de las venas terciarias	2	2	3	2
Venas marginales	99	99	99	99
Forma del diente	1	3	2	3
Recorrido de la vena primaria	3	3	1	1
Posición de las venas secundarias	2	2	1	2
Recorrido de las venas secundarias curvas	2	3	1	1
Características de la vena media	4	3	2	3
Espaciamiento de las venas secundarias	3	3	3	1
Recorrido de las venas secundarias al diente	2	1	1	1

CARACTERISTICAS	<i>P. tremuloides</i>	<i>P. angustifolia</i>	<i>P. trichocarpa</i>	<i>P. deltoides deltoides</i>
Simetría de la lámina foliar	1	1	1	1
Forma de la hoja	2	2	1	2
Tipo de base	2	6	2	1
Tipo de ápice	1	1	1	3
Tipo de dentición	4	4	5	1
Espaciamiento de los dientes	1	1	1	1
Distribución de los dientes en el margen	1	1	1	1
Numero de dientes a cada lado del margen	19	31	29	18
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media	5	9	8	6
Promedio largo de la Hoja	6.8	5.4	8.7	12
Promedio ancho de la Hoja	5.9	2.8	6.2	8.2
Tipo de venación	5	1	5	5
Espaciamiento de la vena secundaria	2	2	2	1
Angulo de las venas secundarias ápice	60	76	70	68
Angulo de las venas secundarias base	55	54	53	30
Venas intersecundarias	1	0	1	1
Curso de las venas terciarias	99	99	99	99
Venas marginales	99	99	99	99
Forma del diente	1	1	1	1
Recorrido de la vena primaria	1	1	1	1
Posición de las venas secundarias	2	1	1	1
Recorrido de las venas secundarias curvas	3	1	1	1
Características de la vena media	3	4	3	3
Espaciamiento de las venas secundarias	1	3	3	1
Recorrido de las venas secundarias al diente	1	1	1	1



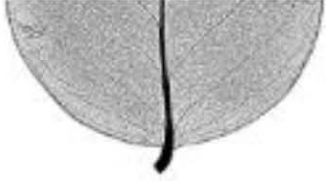
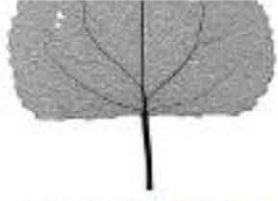




CARACTERISTICAS	<i>P. deltoides wislizenii</i>	<i>P. fremontii</i>	<i>P. fremontii mesetae</i>
Simetría de la lámina foliar	1	1	2
Forma de la hoja	2	2	2
Tipo de base	1	3	3
Tipo de ápice	1	2	3
Tipo de dentición	5	4	4
Espaciamiento de los dientes	2	2	1
Distribución de los dientes en el margen	2	1	1
Numero de dientes a cada lado del margen	9	6	9
Numero de venas secundarias a cada lado de la vena media	4	18	18
Promedio largo de la Hoja	8.4	9.5	10.7
Promedio ancho de la Hoja	7.92	9	8.7
Tipo de venación	5	5	5
Espaciamiento de la vena secundaria	1	1	1
Angulo de las venas secundarias ápice	68	70	78
Angulo de las venas secundarias base	44	37	40
Venas intersecundarias	1	0	1
Curso de las venas terciarias	99	99	99
Venas marginales	99	99	99
Forma del diente	2	2	3
Recorrido de la vena primaria	1	1	1
Posición de las venas secundarias	2	1	1
Recorrido de las venas secundarias curvas	1	1	1
Características de la vena media	4	4	4
Espaciamiento de las venas secundarias	3	3	3
Recorrido de las venas secundarias al diente	2	1	2

CARACTERES EMPLEADOS

Anexo 2. Tipos de base de la hoja. (Tomado del manual del Leaf Architecture WorkingGroup, 1999).

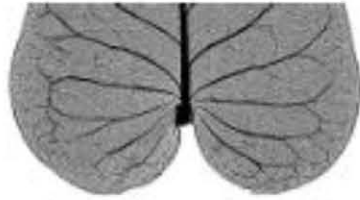
**23. BASE SHAPE**

These states apply to the basal 25% of the lamina (0 - 0.25L as in Fig. 7).

 <p style="text-align: center;"><i>Carya lilioides</i> (Juglandaceae) Fig. 23.1</p> <p><b>cuneate (straight)</b> - the margin between the base and 0.25L has no significant curvature (<math>l_s = 0</math>).</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Prunus manshurica</i> (Rosaceae) Fig. 23.2</p> <p><b>convex</b> - the margin between the base and 0.25L curves away from the center of the leaf (<math>l_s = 0</math>).</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Caribea apata</i> (Apocynaceae) Fig. 23.3</p> <p><b>rounded</b> - subtype of convex in which the margin forms a smooth arc across the base (<math>l_s = 0</math>).</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Populus albosyrphus</i> (Salicaceae) Fig. 23.4</p> <p><b>truncate</b> - subtype of convex in which the base terminates abruptly as if cut, with margin perpendicular to the midvein or nearly so (<math>l_s = 0</math>).</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Sassafras varifolium</i> (Lauraceae) Fig. 23.5</p> <p><b>concave</b> - the margin between the base and 0.25L curves toward the center of the leaf (<math>l_s = 0</math>).</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Diploclis chinensis</i> (Menispermaceae) Fig. 23.6</p> <p><b>concavo-convex</b> - the margin between the base and 0.25L is concave basally and convex apically (<math>l_s = 0</math>).</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Abutilon plimense</i> (Apocynaceae) Fig. 23.7</p> <p><b>decurrent</b> - subtype of either concave or concavo-convex in which the laminar tissue extends basally along the petiole at a gradually decreasing angle (<math>l_s = 0</math>).</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Adelia triloba</i> (Euphorbiaceae) Fig. 23.8</p> <p><b>complex</b> - there are more than two inflection points in the curve of the margin between the base and 0.25L (<math>l_s = 0</math>).</p>	



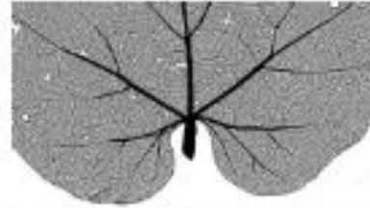
### 23. BASE SHAPE CONTINUED



*Phyllanthus poameus* (Euphorbiaceae)

Fig. 23.9

**cordate** - the leaf base is embayed in a sinus with straight or convex sides ( $l_s > 0$ ).



*Dioscoreophytum virgatum* (Menispermaceae)

Fig. 23.10

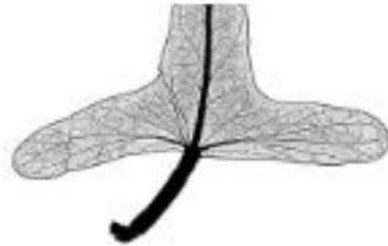
**lobate** - rounded projections with inner margins (those towards the petiole) concave in part ( $l_s > 0$ ).



*Sagittaria* sp. (Alismataceae)

Fig. 23.11

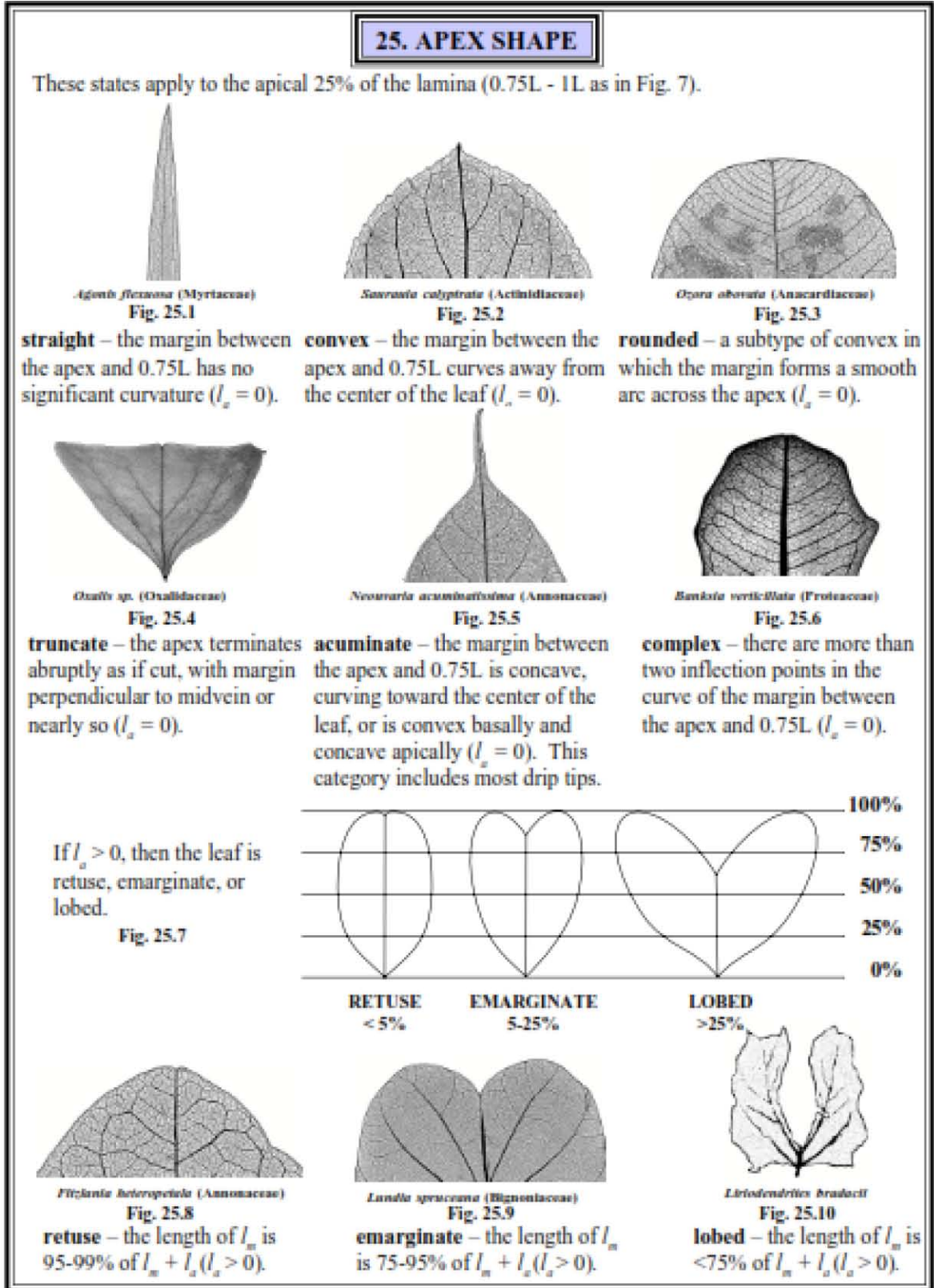
**sagittate** - narrow pointed lobes with apices directed basally, i.e. at an angle  $125^\circ$  or greater from the leaf axis ( $l_s > 0$ ).



*Araucaria angustifolia* (Asclepiadaceae)

Fig. 23.12

**hastate** - two narrow pointed lobes that have apices directed exmedially, i.e. at  $90^\circ$ - $125^\circ$  from the leaf axis ( $l_s \sim 0$ ).


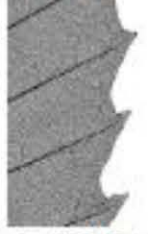






**26. MARGIN TYPE**

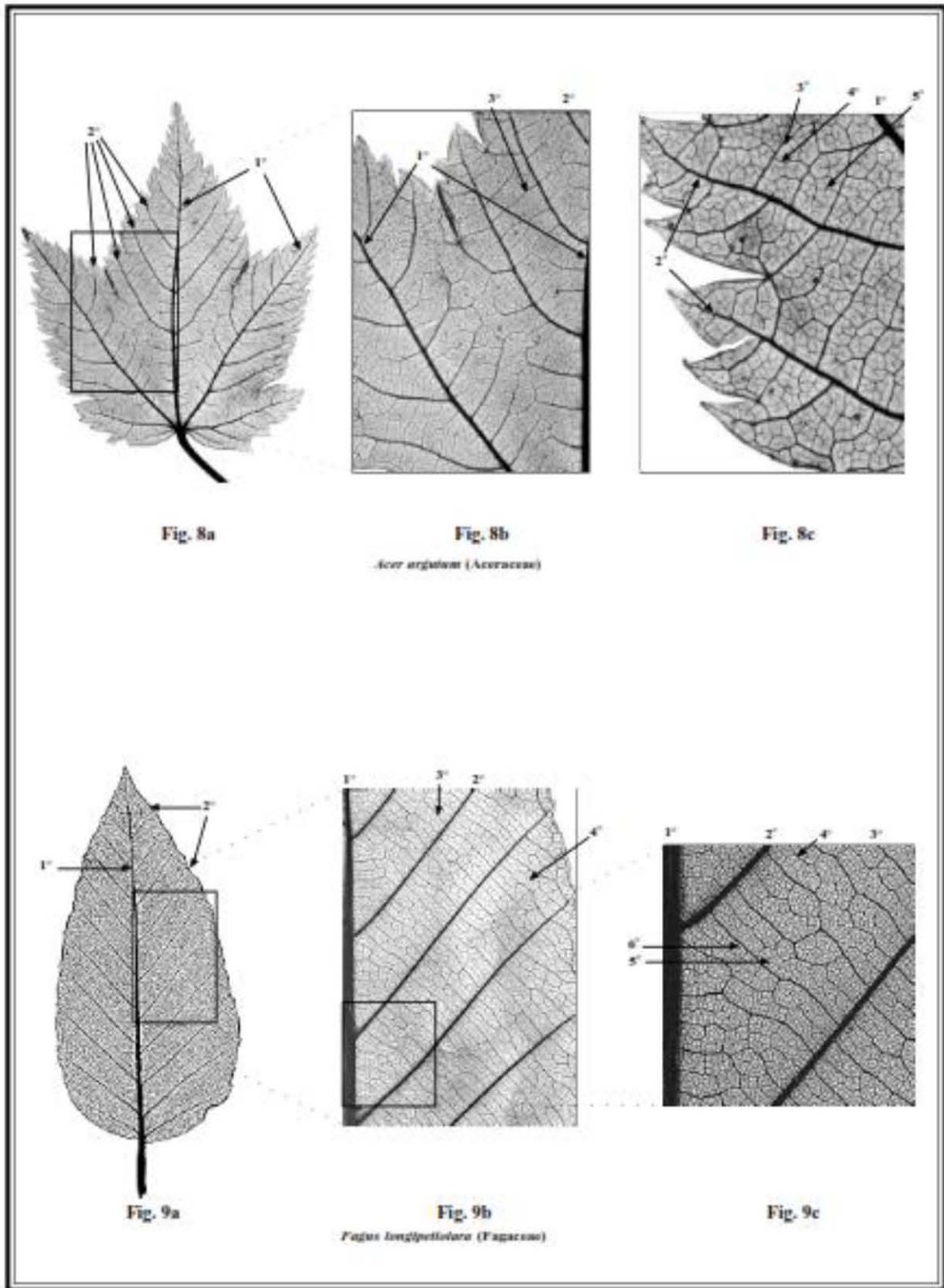
**DEFINITIONS**

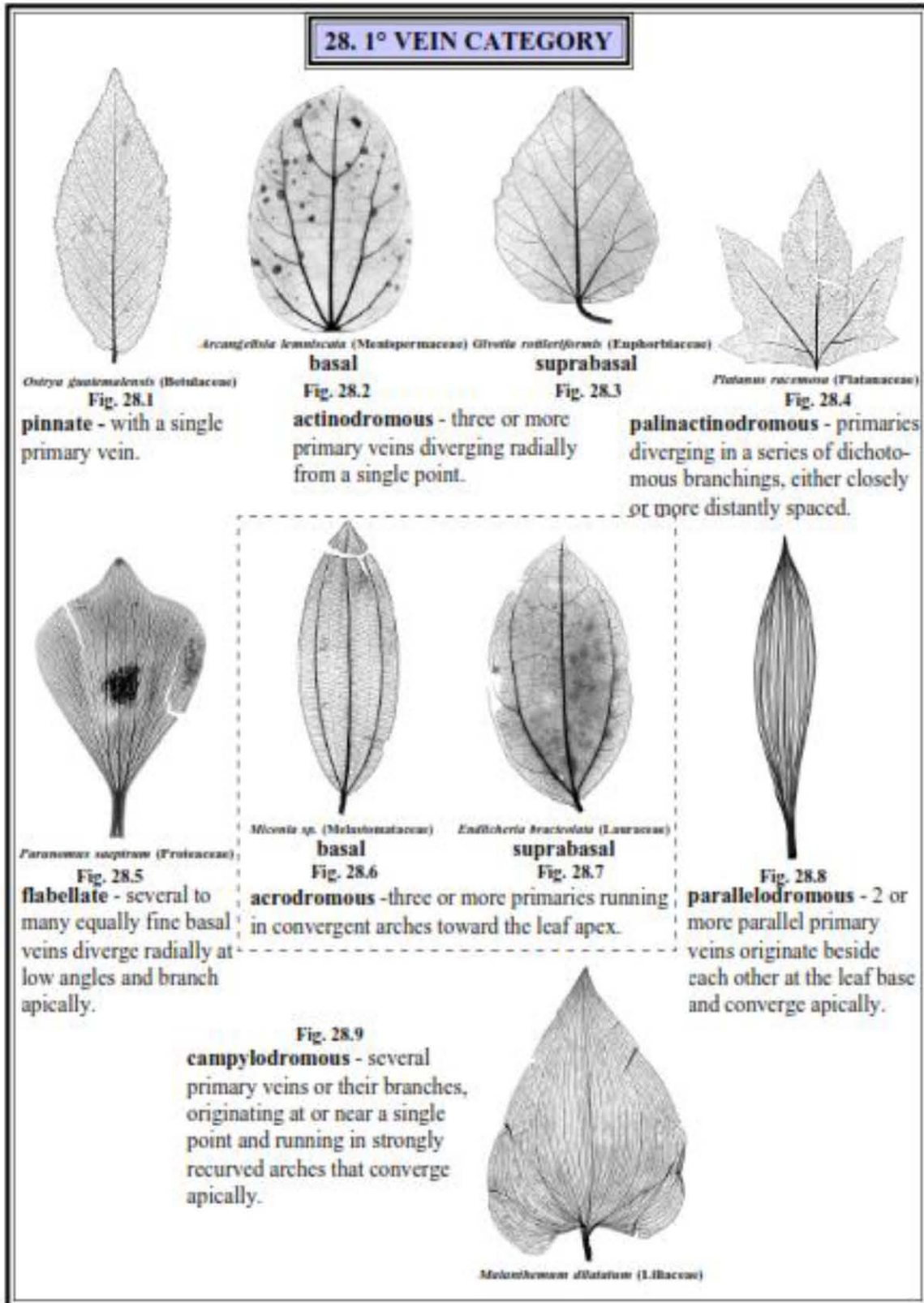
*TEETH* are marginal projections with sinuses indented less than 1/4 of the distance to the midvein or long axis of the leaf. Teeth can be either dentate, serrate or crenate.

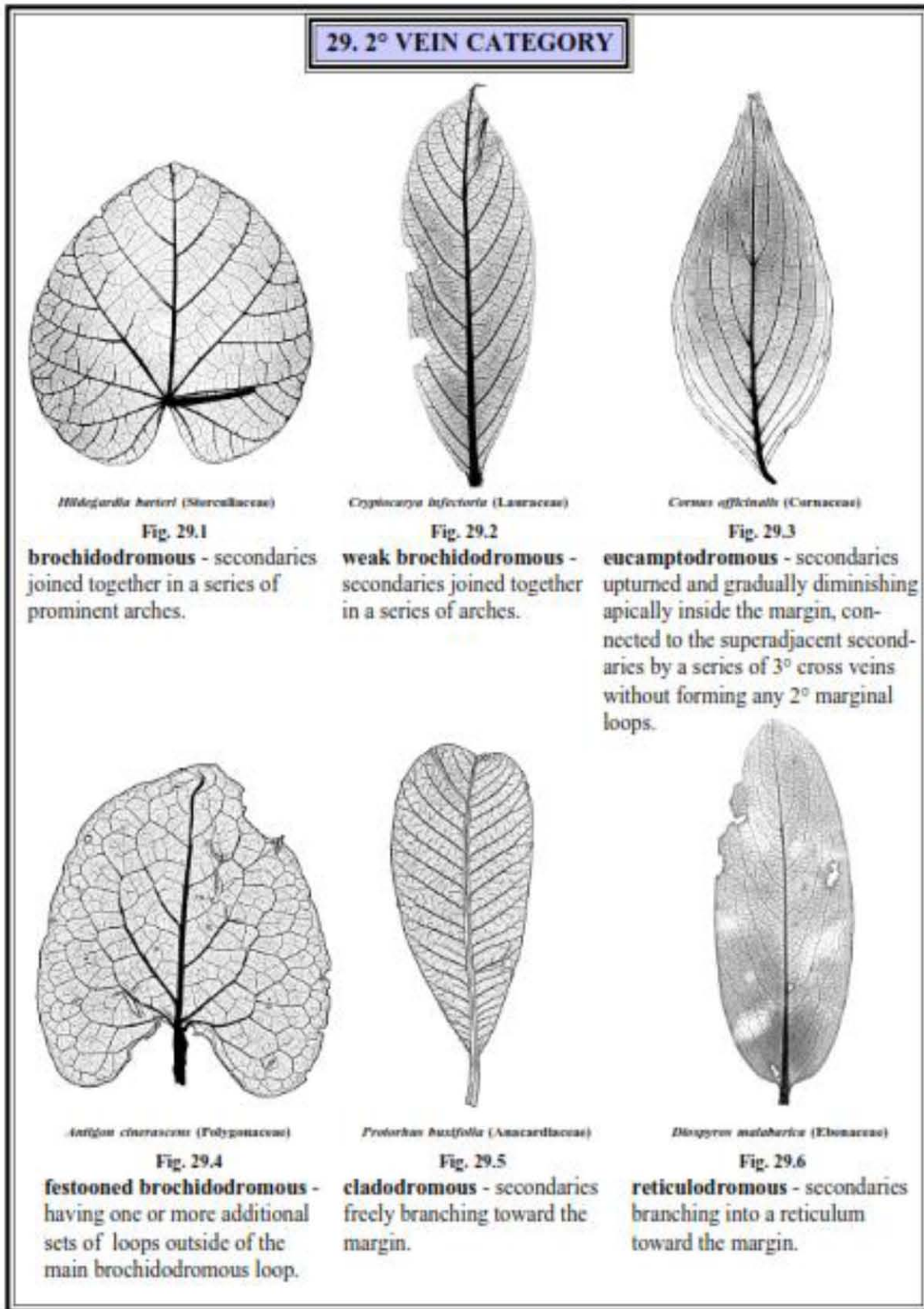
**Note: If there is a single tooth of any size, the leaf is considered to be toothed.**

 <p><i>Walnutella idahoensis</i> (Rosaceae) <b>Fig. 26.1</b></p> <p><b>dentate</b> - teeth pointed with their axes perpendicular to the trend of the leaf margin.</p>	 <p><i>Fagus grandifolia</i> (Fagaceae) <b>Fig. 26.2</b></p> <p><b>serrate</b> - teeth pointed with their axes inclined to the trend of the leaf margin.</p>	 <p><i>Triplicyllum utiforme</i> (Celastraceae) <b>Fig. 26.3</b></p> <p><b>crenate</b> - teeth smoothly rounded without a pointed apex.</p>
-----		
 <p><i>Rhododendron amaglanum</i> (Ericaceae) <b>Fig. 26.4</b></p> <p><b>entire</b> - margin is smooth, without teeth.</p>	 <p><b>Fig. 26.5</b></p> <p><b>revolute</b> - margins are turned under or rolled up like a scroll.</p>	 <p><i>Cornus coruana</i> (Cornaceae) <b>Fig. 26.6</b></p> <p><b>erose</b> - margins are irregular as if chewed.</p>

Anexo 5. Ramificación de las venas en una hoja. (Tomado del manual del Leaf Architecture WorkingGroup, 1999).







29. 2° VEIN CATEGORY CONTINUED



*Celtis occidentalis* (Ulmaceae)  
Fig. 29.7

**craspedodromous** - secondaries terminating at the margin (ordinarily in toothed leaves).



*Salix monticola* (Salicaceae)  
Fig. 29.8

**semicraspedodromous** - secondary veins branching just within the margin, one of the branches terminating at the margin and the other joining the superadjacent secondary (ordinarily in toothed leaves).



*Archibaccharis subseriata* (Compositae)  
Fig. 29.9

**festooned semicraspedodromous** - semicraspedodromous venation with one or more additional sets of loops outside the branch that joins the superadjacent 2° (ordinarily in toothed leaves).



*Leucanthea rugosa* (Asteraceae)  
Fig. 29.10

**intramarginal vein** - secondaries end in a strong vein closely paralleling the leaf margin.



*Omphalopus* sp.  
(Melastomataceae)  
**basal**  
Fig. 29.11



*Miconia bromelioides*  
(Melastomataceae)  
**suprabasal**  
Fig. 29.12


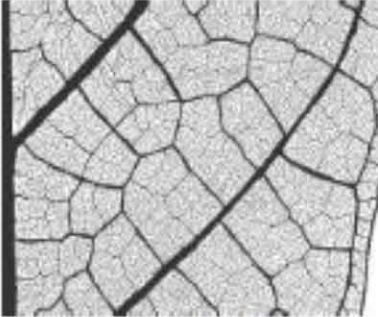
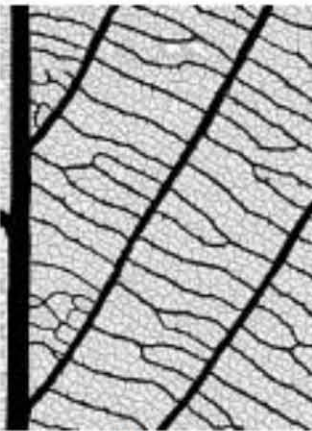
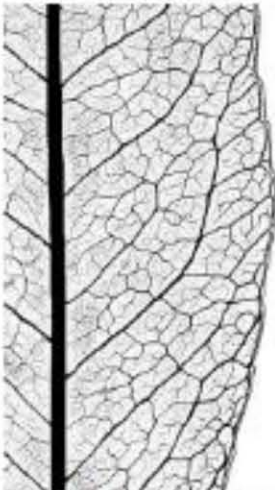
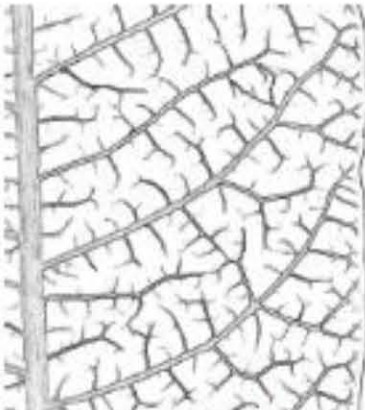
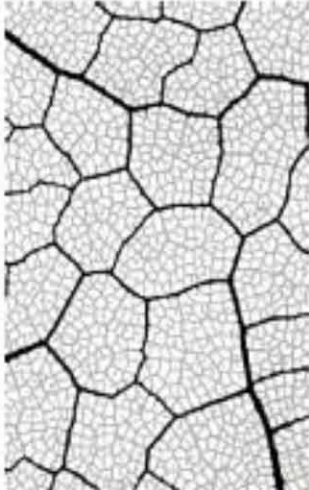
**acrodromous** - two or more secondaries running in convergent arches toward the leaf apex.



*Acer flabellatum* var. *yunnanensis* (Aceraceae)  
Fig. 29.13

**interior** - 2° crossing between primary veins or 2° veins that do not reach the margin - typically arched or straight.

**35. 3° VEIN CATEGORY**

 <p><i>Actinidia latifolia</i> (Actinidiaceae) Fig. 35.1</p>	 <p><i>Semicarpus rostrata</i> (Anacardiaceae) Fig. 35.2</p>	 <p><i>Karwinskia humboldtiana</i> (Rhamnaceae) Fig. 35.3</p>
<p><b>opposite percurrent</b> - tertiaries cross between adjacent secondaries in parallel paths without branching.</p>	<p><b>alternate percurrent</b> - tertiaries cross between secondaries with an offset (an abrupt angular discontinuity).</p>	<p><b>mixed opp/alt</b> - tertiaries have both opposite percurrent and alternate percurrent courses.</p>
 <p><i>Gleditsia officinalis</i> (Leguminosae) Fig. 35.4</p>	 <p><i>Rhus vernicifolia</i> (Anacardiaceae) Fig. 35.5</p>	 <p><i>Acer saccharum</i> (Aceraceae) Fig. 35.6</p>
<p><b>random reticulate</b> - tertiaries anastomose (rejoin) with other 3° veins or 2° veins at random angles.</p>	<p><b>dichotomizing</b> - tertiaries branch freely.</p>	<p><b>regular polygonal reticulate</b> - tertiaries anastomose with other 3° veins to form polygons of similar size and shape.</p>