



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

**ARQUITECTURA FOLIAR DE TRES
MORFOTIPOS DE ANGIOSPERMAS DEL
PLIOCENO DE SANCTÓRUM, HIDALGO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

ESTRADA MILLÁN DULCE MARIA.

Directora de tesis:

Dra. Ma. Patricia Velasco de León

*Adscripción: Carrera de Biología, FES Zaragoza,
UNAM.*

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE DE 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por acogerme durante estos cinco años y darme la oportunidad de concluir una carrera profesional.

Agradezco con todo mi corazón a la Dra. Ma. Patricia Velasco de León, por brindarme su buen trabajo durante la elaboración de esta tesis pero sobre todos por su tiempo, paciencia y amistad.

También un agradecimiento muy especial a Erika y Rigoberto.

Gracias al Dr. Adolfo Espejo e Hilda Flores por facilitarme el acceso a los ejemplares de herbario.

Gracias a mis padres y hermanos por estar conmigo apoyándome en los momentos buenos y malos.

A mi hijo por haberle quitado tiempo y atenciones.

A toda mi familia Amparo, Gela, Tere y demás.

A mis compañeros de laboratorio Ricardo, Pedro, Diana, Janeth, que me acompañaron durante el trabajo de la tesis.

A todos mis amigos de generación pero muy especialmente a Raziel, Marlene y Ernesto por ser incondicionales.

Y finalmente a ti porque siempre estarás en mi corazón.

A todos mil gracias.

DEDICATORIAS:

A DIOS:

Porque desde el primer minuto de existencia me ha colmado de bendiciones y me ha permitido concluir esta paso tan importante en mi vida llevándome experiencias que le dan aún mas sentido a mi existir.

CON PROFUNDO AMOR A MIS PADRES:

Por tanto apoyo y comprensión ya que sin ellos nada habría sido.

A MIS HERMANOS LILI Y OSCARÍN:

Por estar conmigo siempre y en todo momento.

A MI PEQUEÑO GRAN AMOR, EMMANUEL:

Por enseñarme a sentir la vida y ser el motor de ésta.

CONTENIDO

	Pág.
I. RESUMEN.....I.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Angiospermas actuales.....	4
2.2 Arquitectura foliar.....	5
IV. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y PALEONTOLÓGICOS.....	6
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
VI. ZONA DE ESTUDIO.....	10
VII. JUSTIFICACIÓN.....	13
VIII. OBJETIVO GENERAL.....	14
8.1 OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
IX. MÉTODO.....	15
9.1 Fase de campo.....	15
9.2 Fase de gabinete.....	15
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
10.1 Resultados y discusiones Fósil 157.....	17
10.2 Resultados y discusiones Fósil 1413.....	27
10.3 Resultados y discusiones Fósil 1696.....	40
XI. CONCLUSIONES.....	53
XII. LITERATURA CONSULTADA.....	54

RESUMEN

Santa María Amajac (SMA) es una región fosilífera que se localiza en el estado de Hidalgo y comprende las siguientes localidades, Los Baños, El Matador y Sanctórum, siendo esta última, la zona de estudio.

En las plantas, las hojas son el órgano que se fosiliza más frecuentemente y por tal motivo se emplean en estudios taxonómicos, evolutivos, entre otros. En base a la arquitectura foliar se ha generado un listado florístico de la paleocomunidad en estudio, registrándose hasta ahora 14 familias: Equisetaceae, Cupressaceae, Pinaceae, Fagaceae, Fabaceae, Rosaceae, Platanaceae, Salicaceae, Typhaceae, Cyperaceae, Nymphaeaceae, Juglandaceae, Moraceae y Rhamnaceae.

En el presente trabajo se realizó la descripción morfológica de tres hojas fósiles (ST-157, ST-1413 y ST-1696) correspondientes al Plioceno; se compararon con ejemplares de herbario y con bibliografía especializada, para su posterior identificación taxonómica. Los resultados obtenidos indican que el morfotipo ST-157 pertenece a la especie *Polygonum zucarini*. El origen de esta especie es autóctono y sus requerimientos particulares permiten proponer la existencia de un clima templado subhúmedo en la región debido a la presencia de un paleolago en Santa María Amajac. La hoja fósil ST-1413, sólo se identificó a nivel de género *Hernandia* L., esta última propia del lugar. Se adiciona al listado ya existente la familia Hernandiaceae y Polygonaceae, debido a que no están registradas para el estado de Hidalgo. Por último el ejemplar ST-1696 se identificó genéricamente ya que muy probablemente conforme una especie nueva dentro del género *Populus*, por lo que se sugiere comparar el ejemplar con el resto de las demás especies que conforman dicho género para corroborar lo anterior.

INTRODUCCIÓN

La Paleobotánica es la rama de la Paleontología que se encarga del estudio de todos los órganos fósiles de las plantas, tales como hojas, semillas, flores, frutos, madera, entre otros. Esta disciplina tiene como objetivo integrar aspectos morfológicos, anatómicos, sistemáticos, taxonómicos, filogenéticos, fitogenéticos, ecológicos y evolutivos para reconstruir la historia y evolución del reino vegetal (Rubilar, 2007).

Una herramienta útil para el estudio tanto de plantas fósiles como actuales es la arquitectura foliar, que se basa en la descripción morfológica de los órganos que las conforman. Si bien las hojas son el órgano que se fosiliza más frecuentemente y a través de este, es posible discernir la composición florística que existió en el lugar.

Actualmente existe un número importante de estudios en arquitectura foliar de angiospermas, sin embargo aún son escasos los realizados para hojas fósiles.

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES ZAR) ha realizado trabajos con angiospermas correspondientes al Plioceno de la localidad de Sanctórum, sin embargo hay ejemplares fósiles que aún no se han identificado, por lo que el objetivo de esta tesis es emplear la arquitectura foliar para obtener una mayor información sobre la distribución de los ejemplares estudiados y conocer su permanencia en la localidad o de lo contrario establecer si son angiospermas extintas.

MARCO TEÓRICO

En el Cretácico Inferior surgieron las angiospermas. Durante este periodo se registró una revolución en el mundo vegetal, ya que el planeta sufrió cambios climáticos y geográficos bruscos. Se pasó de un clima cálido, húmedo y estable a periodos de inestabilidad climática, inducidos por los movimientos de las placas tectónicas. Estos movimientos estaban separando entre sí a los continentes. Las angiospermas iniciaron su historia evolutiva hace 140 millones de años y se especula que eran de talla pequeña adaptadas para vivir en la sombra, en lugares perturbados y probablemente también húmedos (Feild y Arens, 2003).

La diversificación, dispersión y colonización de las angiospermas en diversos ambientes fue muy rápida, debido al tamaño pequeño de sus semillas (Willis y McElwain, 2002). Además, su evolución se produjo en los márgenes de los bosques de coníferas, debido a los cambios climáticos, que cada vez eran más marcados, con alternancia de estaciones lluviosas y secas.

Una parte significativa de la flora actual tanto del Hemisferio Norte como del Hemisferio Sur, surgió a finales del Cretácico, donde se incluyen las familias Ulmaceae y Fagaceae, de las que hay registros fósiles del género *Ulmus* y *Nothofagus* respectivamente, Betulaceae, Juglandaceae y Gunneraceae. La mayor parte de los árboles aparecidos en esta época hoy en día tienen una distribución que es principalmente tropical o subtropical. Por lo tanto, aunque algunas de ellas sean consideradas como de hábitats templados del Hemisferio Norte o del Hemisferio Sur, probablemente todavía tengan muchas de las características que les permitieron sobrevivir en el ambiente en que se originaron (Willis y McElwain, 2002).

Durante el Cretácico, en el territorio que hoy ocupa México, existieron comunidades en las que se mezclaban plantas cuyo origen establecido con base en la distribución de las plantas actuales, se sitúan tanto en el Hemisferio Sur, familias como Pandanaceae, Araceae, Haloragaceae (Hernández-Castillo, y Cevallos-Ferriz, 1999); Musaceae y Strelitziaceae (Rodríguez de la Rosa, y Cevallos-Ferriz, 1994) como en el Hemisferio Norte, Hamamelidaceae, Lythraceae, Phytolaccaceae y Ranunculaceae. Durante el Neógeno, las plantas que se originaron en el sur disminuyeron su influencia sobre la paleovegetación de México, siendo las plantas de latitudes altas de America del Norte las que incrementaron su presencia en la composición florística de ésta Era.

La evidencia paleobotánica indica que las angiospermas llegaron a México a través de los puentes que conectaron las latitudes altas del Norteamérica con Europa y Asia (Ramírez-Garduño y Cevallos-Ferriz, 2000).

LAS ANGIOSPERMAS ACTUALES

Las angiospermas forman uno de los cinco grupos de plantas con semillas existentes actualmente, son el mayor grupo de plantas terrestres con respecto a las gimnospermas, A pesar de su origen relativamente reciente, este clado es morfológica y ecológicamente muy diverso (Soltis y Soltis 2004). Ocupan casi todos los hábitats de la Tierra, excepto las cumbres más altas, las regiones inmediatamente adyacentes a los polos y las profundidades de los océanos.

Estudios moleculares recientes proponen que tres cuartas partes de todas las especies de angiospermas pertenecen a las eudicotiledóneas; los caracteres morfológicos sólo las unen por su polen triaperturado (Soltis y Soltis, 2004).

A pesar de un rápido progreso en la solución de las relaciones filogenéticas de las angiospermas empleando métodos moleculares, existen varios problemas importantes, entre ellos, las relaciones entre las monocotiledóneas y eudicotiledóneas; las relaciones de los muchos linajes de plantas parásitas y la integración de los fósiles con taxones existentes en un árbol completo de la filogenia de angiospermas.

Se han descrito al menos 260 000 especies, clasificadas en 462 familias. Son un grupo monofilético, con numerosos rasgos comunes derivados, es decir con características particulares denominadas sinapomorfías, tales como presencia de elementos de vaso y tubos cribosos, óvulos y semillas cubiertos en un ovario o fruto, presencia de carpelos, gametos femeninos generalmente constituidos por siete células y ocho núcleos, ausencia de arquegonios en gametofitos femeninos y doble fecundación con formación de endospermo.

Otra característica que indica una fuerte evidencia de pertenecer a una angiosperma es la venación de alto orden en las hojas, siendo este órgano el que se fosiliza más frecuentemente. Aunque no todos los caracteres se pueden preservar debido al proceso de fosilización hay algunas características morfológicas que son importantes de considerar en las hojas fósiles, por ejemplo: margen, ápice, base, orden de venación, entre otros (Hickey y Wolfe, 1975).

ARQUITECTURA FOLIAR

Hickey (1973) utiliza el término arquitectura foliar para designar la forma de aquellos elementos que constituyen la expresión externa de la estructura de la hoja: forma de la lámina, configuración marginal, forma del ápice, posición y tipo de tricomas y tipo de venación entre otras; este último, es un carácter esencial que presentan las hojas de angiospermas ya que la venación está claramente diferenciada en clases y las venas de una clase en particular desarrollan un curso y un modelo propio, distinto de los demás. Esto hace que el reconocimiento de órdenes de venación sea esencial al describir la arquitectura foliar.

La descripción de las hojas se basa en caracteres cualitativos y cuantitativos como forma, margen, relación largo/ancho, determinación de los ángulos del ápice y de la base, ángulos entre las venas secundarias, entre otros.

Actualmente existen un número importante de estudios de arquitectura foliar de angiospermas, sin embargo, los trabajos taxonómicos utilizando hojas fósiles son muy escasos. Los primeros fueron realizados en la localidad de Tepexi de Rodríguez, Puebla. Ramírez-Garduño *et al.*, (1998) identificó hojas de la familia Salicaceae y Anacardiaceae en los sedimentos de la Formación Pie de Vaca; más tarde, Velasco de León (1999) registró 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 especie nueva (*Bauhcia moranii*) de la misma Formación. Sin embargo, aunque en México van en aumento los trabajos taxonómicos utilizando hojas fósiles, todavía falta mucho trabajo por realizar, 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 (Calvillo-Canadell 2002).

ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y PALEONTOLÓGICOS

La era Cenozoica se divide en dos periodos: Paleógeno que se extendió por 42 m.a y el Neógeno que se inicio hace 23 m.a., este periodo comprende las épocas: Mioceno, Plioceno, Pleistoceno y Holoceno (Cevallos-Ferriz y Ramírez-Garduño, 2004).

En el Plioceno, se presenta la etapa final del calentamiento global, sin embargo, marca también el inicio de una tendencia mundial de enfriamiento que condujo a la edad de hielo del Pleistoceno (Fig. 1).

Era	Periodo	Época		Edad	Millones de años
CENozoica	CUATERNARIO	Holoceno			0,011
		Pleistoceno		Ioniense Calabriense	1,8
	NEOGENO	Plioceno	Superior	Gelasienne Piacenziense	5,3
			Inferior	Zancleense	
		Mioceno	Superior	Messiniense Tortonienne	23
			Medio	Serravallienne Langhiense	
			Inferior	Burdigaliense Aquitaniense	
			Superior	Chattienne	
	PALEOGENO	Oligoceno	Inferior	Rupeliense	33,9
			Superior	Priabonienne	
		Eoceno	Medio	Bartoniense Luteciense	55,8
			Inferior	Ypresiense	
			Superior	Thanetiense Selandiense	
		Paleoceno	Inferior	Daniense	65,5
	CRETÁCICO		Senoniense		Maastrichtiense Campaniense Santonense Coniaciense
Superior		Turonienne Cenomaniense			
Inferior		Albiense Aptiense Barremiense			
Neocomiense		Hauteriviense Valanginiense Berniense			
JURÁSICO	Superior (Malm)		Tithoniense Kimmeridgiense Oxfordiense	145,5	
	Medio (Dooger)		Calloviense Bathonienne Bajociense Aalenienne	161,2	
	Inferior (Lias)		Toarciense Phensbachiense Sinemuriense Hettangiense	175,6	
	Superior		Keuper	199,6	
TRIÁSICO	Medio	Muschelkalk	Rhaetiense Noniense	228	
	Inferior	Buntsandstein	Ladiniense Anisiense Olenekiense Induense	245	
	PERMICO			251	
PALEOZOICO	CARBONIFERO			542	
	DEVONICO				
	SILURICO				
	ORDOVICICO				
	CAMBRICO				
PRECÁMBRICO					

Fig. 1. Escala de tiempo geológico.

Tomada de: <http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,108&r=ReP-21697>

En México esta condición no fue muy marcada, y aunque en el territorio nacional, diversos factores impactaron directamente sobre las plantas y animales de la época, se cree que uno de los factores que más influyó fue la formación del Eje Volcánico Transversal (EVT) durante el Mioceno.

El EVT se ubica en el centro del país en los paralelos 19 y 21° N, con una orientación este-oeste que va desde Veracruz hasta Nayarit (Ferrari, 2000) y está dividido en tres sectores: oriental (Veracruz), central (Hidalgo, Estado de México, Querétaro, Puebla, Guanajuato y Tlaxcala) y occidental (Jalisco) (Demant, 1982; Ferrari, 2000), cada uno de ellos con características diferentes.

El sector central del EVT abarca la mayor superficie, y también cuenta con el registro paleontológico más extenso, sobre todo en animales (Velasco de León *et al.*, 2007).

Tal es el caso de Villarello y Bosë (1902) que registraron fragmentos molares y material postcraneal de miembros de la familia Gomphotheriidae, hallados en la hacienda de Vaquerías en el estado de Hidalgo. Freudenberg (1992) describe *Mastodon oligobunis varantiquissima*.

Durante el Neógeno, se presentaron eventos eruptivos de mayor y menor intensidad en el EVT. En el Mioceno tardío, la actividad volcánica generó grandes mesetas andesítico-basálticas y estratovolcanes andesíticos. En el Plioceno temprano se formaron las calderas de los Azufres, Amealco y Huichapan en la porción central, y para el Plioceno tardío-Pleistoceno temprano, hay una importante actividad volcánica caracterizada por derrame de andesitas basálticas, y rocas piroclásticas de composición similar (Ferrari, 2000). Esta actividad volcánica y los procesos geológicos relacionados originaron cuencas endorreicas con el posterior desarrollo de lagos, lo que tuvo repercusiones en las comunidades de plantas que, desde finales del Paleógeno estaban adaptadas a condiciones más áridas (Cevallos-Ferriz y Ramírez-Garduño, 1998). En algunos casos como Hidalgo, los integrantes de estas comunidades quedaron preservados en los sedimentos generados por estos ambientes.

Dentro de los trabajos efectuados en EVT se puede mencionar a Ortiz-Martínez y Velasco de León (2000); Velasco de León y Aguilar-Arellano (2002), realizaron la determinación taxonómica a nivel familia de algunas hojas fósiles de la comunidad. En

ese mismo año propusieron el paleoclima de la zona usando impresiones de angiospermas abundantes de la región. Otros estudios son los de Velasco de León y Romero-Rangel (2001) y Aguilar-Arellano y Velasco de León, (2002) quienes estudiaron fósiles del género *Quercus*. Salvador-Flores (2001) explica el origen y estratigrafía del paleolago de Amajac. Fuentes Guerra y Velasco de León (2002), registraron la presencia de anuros. Reyes Torres *et al.*, (2002) hacen la determinación taxonómica y geoquímica de la concha de ostrácodos; un año después, Zaragoza-Caballero y Velasco de León (2003) registraron la presencia del genero *Epicauta*, en los sedimentos de la región. Ortiz-Martínez (2007) realizó el estudio taxonómico-ecológico de tres géneros (*Cercocarpus*, *Bauhinia* y *Salix*) de angiospermas fósiles de la misma región. Martínez-Martínez y Velasco de León (2009) estudiaron el área de distribución de tres géneros de hidrofitas fósiles (*Thypa*, *Scirpus* y *Nymphaea*) recolectadas en el paleolago de Santa María Amajac, comparándolas con su distribución actual en el Continente Americano.

Por último en el estudio de la diversidad y abundancia de la palinoflora de SMA, se identificaron 68 taxas de la columna a nivel de género y familia. (Cruz-Hernández, 2010. com. pers.).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que se ha estudiado el registro fósil del EVT, (Ortiz-Martínez y Velasco de León, 2009), dentro de la arquitectura foliar, los trabajos siguen siendo escasos, Aguilar-Arellano y Ortiz-Martínez (2000), Ortiz-Martínez (2007) y Estrada-Millán (2008); debido a que en México todavía se desconocen los fundamentos de este método y por lo tanto existen dudas de su validez. Es por ello que en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES ZAR), se han realizado trabajos con angiospermas del Plioceno de la localidad de Sanctórum, sin embargo, aún existen ejemplares fósiles que no se ha terminado de identificar, por lo que esta tesis tiene el objetivo de incrementar el registro de hojas fósiles de la localidad y poder obtener una mayor información sobre la posible distribución de los ejemplares estudiados.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Atotonilco El Grande, Hidalgo, comprende la región de SMA, en donde se ubican tres localidades: Los Baños, El Matador y Sanctórum (Fig. 2).

Sanctórum, se ubica en las coordenadas 20°18'25'' Latitud Norte y 98°46'52.5'' Longitud Oeste; con una altitud de 1700 m., situado en la porción sur central del estado de Hidalgo a 34 km. de la Ciudad de Pachuca (Ortiz-Martínez, 2007).



Figura 2. Ubicación Geográfica del estado de Hidalgo, donde se resalta la localidad de Sanctórum.
Tomada de: www.mexican-embassy.org.yu/Images/Mexico_mapa.gif

La columna estratigráfica del poblado de Sanctórum mide 70 m de espesor. En esta localidad la Formación Atotonilco El Grande, esta representada por material arcilloso o limoso en capas horizontales cuyo espesor varían entre 1 y 30 cm (Fig. 3).

Su coloración varía entre pardo y amarillento. Sobre este material se tiene toba lítica constituida por fragmentos del tamaño de la grava, en una matriz de arena fina. Los clastos están constituidos por fragmentos angulosos de riolita, andesita y vidrio en menor cantidad. De acuerdo a su origen y con fines descriptivos los rasgos

geomorfológicos de la planicie aluvial de Sanctórum se agrupan como relieve de rocas sedimentarias continentales, su origen se debe a la erosión de la roca de la Formación Atotonilco El Grande (Salvador- Flores, 2001).

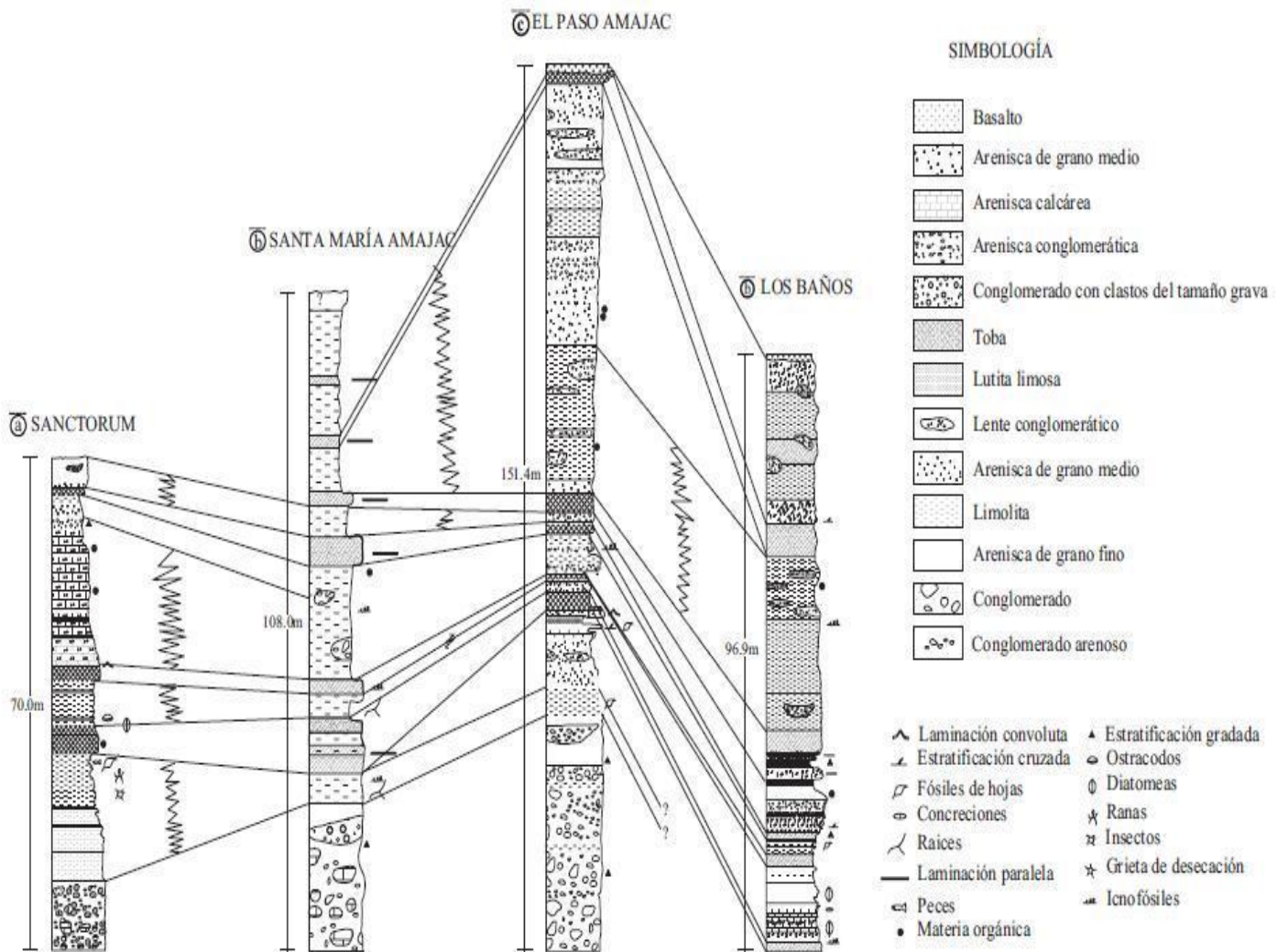


Fig. 3. Columna estratigráfica medidas en la secuencia lacustre de la formación Atotonilco El Grande (Arrellano-Gil *et al.*, 2005).

El estudio de plantas fósiles en SMA todavía es incompleto ya que no todos los ejemplares recolectados han sido identificados. Hasta el momento en Hidalgo, se ha indicado la presencia de los géneros *Quercus*, *Phoebe* y *Persea* en el poblado de Tezuantla, Hidalgo. Geyne y Fries (1963) y Castillo-Cerón (1994) señalaron para el área de SMA cinco localidades con restos de vertebrados, mientras que, Beltrán-Romero y Luna Gómez (1994) registraron la colecta de hojas de angiospermas al sureste del poblado El Paso de Amajac. Reyes Torres *et al.*, (2002) describieron ostrácodos de los géneros *Candona*, *Darwinula* y *Limnocythere*, además de la existencia de anfibios (Fuentes-Guerra y Velasco de León, 2002; Solórzano-Aguilera, 2007), mientras que,

Becerra-Martínez (2003) reportó la presencia de peces de la familia de los goodeidos, en este ambiente también se registran micro gasterópodos de las familias Hydrobiidae (*Phyrgophorus*); Planorbidea (*Drepanotrema*, *Gyraulus*, *Planorbella*) y Physidae (*Physella*) (Flores-Camargo *et al.*, 2009), lo cual, permite proponer la existencia de un cuerpo de agua blanda durante el Plioceno debido a la diversidad faunística y las características litológicas de Sanctórum

En el afloramiento los hallazgos fósiles encontrados son muy diversos, poco fragmentados y abundantes, lo que permitió realizar estudios taxonómicos y paleoecológicos que proporcionen información sobre la localidad durante el Plioceno.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de este estudio radica en que desde el hallazgo de los primeros fósiles de angiospermas, el número de especies encontradas han aumentado de manera significativa con el tiempo geológico, siendo las hojas el órgano más abundante; por lo tanto, es importante la búsqueda de más caracteres diagnósticos, sobre todo en los aspectos de arquitectura foliar, los cuales probablemente contribuirán a definir los límites que las caractericen.

La descripción detallada de caracteres foliares en la arquitectura foliar fueron de gran ayuda en este trabajo, ya que se identificó y ubicó el nivel taxonómico posible de tres morfotipos de la localidad de Sanctórum contribuyendo así al conocimiento de la composición florística de dicha localidad durante el Plioceno. Los ejemplares estudiados pertenecen al grupo de las angiospermas ya que presentan un alto orden de venación. La diversidad que muestra el registro fósil indica que este grupo de plantas sufrió muy tempranamente una importante radiación evolutiva, es decir, una diversificación muy rápida que originó numerosas especies nuevas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar mediante la arquitectura foliar a que nivel taxonómico corresponden las tres hojas fósiles recolectadas en la localidad de Sanctórum, estado de Hidalgo, y determinar si dichos morfotipos son alóctonos o autóctonos.

OBJETIVOS PARTICULARES

Describir los fósiles a través de la arquitectura foliar, utilizando caracteres cualitativos y cuantitativos que permitan identificarlos.

Comparar los ejemplares fósiles con las especies actuales de Sanctórum y otras localidades para saber si aún permanecen en la localidad o de lo contrario si son angiospermas extintas.

MÉTODO

FASE DE CAMPO

No se realizó fase de campo, debido a que el material fósil fue recolectado en salidas anteriores realizadas durante el periodo 2000-2006. Para esta localidad existen 1887 fósiles resguardados en la Colección de la FES Zaragoza (CFZ), de los cuales sólo se trabajó con tres morfotipos ya que muestran aproximadamente el 80% de su estructura conservada y presentan características morfológicas diferentes a lo reportado para esta localidad.

FASE DE GABINETE

Se realizó la limpieza de cada fósil para poder visualizar mejor la morfología de cada uno de ellos en el estereoscopio, para las estructuras más pequeñas se tomaron fotografías y se empleó el programa ImageJ para su posterior medición.

Para identificar el nivel taxonómico, se utilizaron dos claves: Hickey, 1973 y Hickey y Wolfe, 1975. esta última, identificó la familia perteneciente a cada morfotipo, y la de Hickey, 1973, describió a cada uno de los ejemplares fósiles lo que permitió realizar una selección de caracteres y estados de carácter, que fueron comparados con bibliografía especializada, bases de datos y ejemplares de herbario consultados en el Herbario Nacional (MEXU), Herbario del Colegio de Postgraduados (CHAPA), Herbario de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FEZA) y Herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAMIZ) para determinar el nivel taxonómico posible de cada uno de los morfotipos.

Una vez obtenidos los caracteres de los tres morfotipos que variaron para cada género, se elaboró una matriz básica de datos de tipo binaria; se tomaron en cuenta caracteres morfológicos cualitativos de las hojas de los tres morfotipos tales como: tipo de margen, ápice, base y forma de la hoja, entre otros; y los cuantitativos: longitud, venación primaria, secundaria, terciaria, incluso de cuarto y quinto orden, venillas y tamaño de las areolas, entre otros. La matriz resultante para cada uno de los morfotipos está constituida por: 18 caracteres/ 5 OTUS para el ejemplar ST-157, 15 caracteres / 7 OTUS correspondiente al ejemplar ST-1413 y finalmente 40 caracteres/ 5 OTUS para el ejemplar ST-1696, los cuales se corrieron con el programa NTSYS versión 2.11. Lo

anterior generó un fenograma, donde se agruparon las OTUS por similitud morfológica. También se realizó un análisis de componentes principales, donde se muestran los caracteres responsables del agrupamiento de las OTUS en el espacio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres ejemplares fósiles: ST-1696, ST-1413, ST-157, están conservados como compresiones en lutita. La elaboración de la diagnosis de cada uno permitió identificar caracteres morfológicos distintivos para su posterior asignación taxonómica posible.

DIAGNOSIS ST-157

Hoja ovada, 7.5 cm x 3.3 cm, base cordada, ápice agudo y margen entero. La vena primaria sigue un curso recto sin ramificaciones, con grosor moderado. Presenta una venación de tipo broquidodroma con arcos. Las venas secundarias siguen un patrón curvado uniforme, además el ángulo entre cada una de ellas varía entre 45° y 65°. Las venas terciarias muestran un arreglo reticulado ortogonal. Se observan venas de cuarto y quinto orden las cuales forman areolas de forma triangular, redondas e irregulares con un arreglo aleatorio entre ellas (Fig. 4).



Fig. 4. Imagen correspondiente al morfotipo ST-157 donde se indican algunos caracteres morfológicos.

ASIGNACIÓN DE FAMILIA

Se ubicó al morfotipo en un posible Orden: Aristolochiales y una posible Subclase: Caryophyllidae (Polygonales). Aristolochiales fue descartada ya que una de sus características es la venación de tipo acrodroma, mientras que, el fósil muestra una venación broquidodroma con arcos, sin embargo, este carácter se relaciona con la descripción para la Subclase Caryophyllidae, aunque en el Manual de Hickey y Wolfe (1975) no son analizados los ordenes, la búsqueda en herbarios virtuales, permitió asignar el Orden Polygonales y la familia Polygonaceae a dicho morfotipo. ST -157 los géneros mas parecidos son *Polygonum* y *Coccoloba*.

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Caryophyllidae

Orden: Polygonales

Familia: Polygonaceae

De la matriz básica de datos (Cuadro 1) se puede observar que ST-157 y *Polygonum zuccarini* (Fig. 5) comparten aproximadamente el 80% del total de los caracteres empleados.

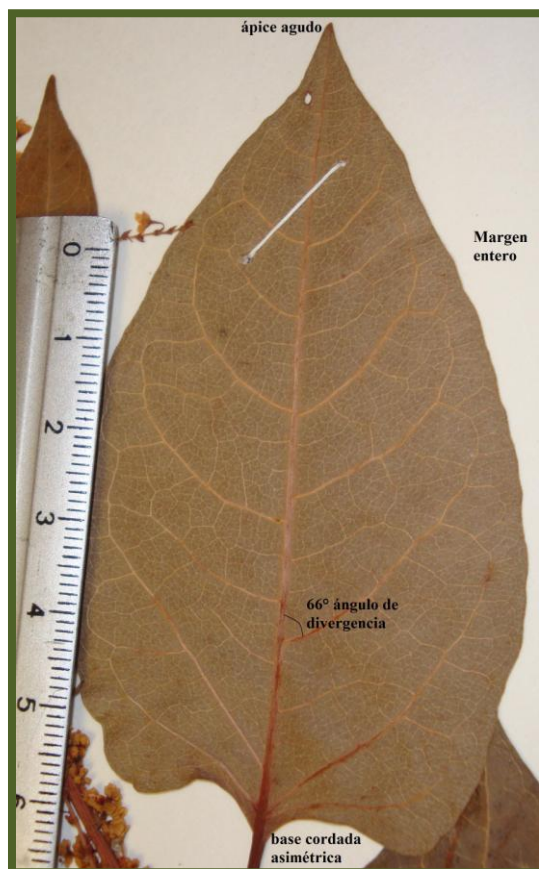


Fig. 5. *Polygonum zuccarini* Small., donde se indican algunos caracteres morfológicos tomados en cuenta para la creación de la matriz básica de datos de tipo binaria.

Cuadro 1. Matriz básica de datos de tipo binaria correspondiente al ejemplar ST-157. Se puede observar que el ejemplar en estudio comparte 15 caracteres morfológicos con *Polygonum zuccarini* en comparación con las demás especies.

CARACTERES	ESTADOS DE CARÁCTER	ST-157	<i>Polygonum zuccarini</i>	<i>Polygonum sachalnense</i>	<i>Cocoloba barbadensi</i>	<i>Cocoloba sintenesii.</i>
Forma de la lámina solo	simétrico	1	1	1	0	1
	asimétrico	0	0	0	1	0
Forma de la lamina	elíptica	0	0	0	1	1
	ovada	1	1	1	0	0
Longitud de la hoja	largo 7-10cm	1	1	0	1	0
	largo >10cm	0	0	1	0	1
Ancho de la hoja	ancho 3-6cm	1	1	0	1	0
	ancho >7cm	0	0	1	0	1
Forma del ápice	aguda	1	1	0	1	0
	acuminada	0	0	1	1	0
	obtusa	0	0	0	0	1
Forma de la base	redondeada	0	0	0	1	0
	cordada	1	1	0	1	1
	auriculada o lobada	0	1	1	0	0
Grosor de la vena prima	moderados 1.25-2%	1	1	0	0	0
	débil <1.25%	0	0	1	1	1
Ángulo de divergencia d	moderado 45°-65°	1	1	0	1	1
	amplio 65-80°	0	0	1	0	0
Variaciones en el ángulo	ángulo de divergencia casi uni	0	0	0	1	0
	venas secundarias superiores r	0	0	0	0	1
	venas secundarias inferiores y	0	0	1	0	0
	varios angulos de divergencia	1	1	0	0	0
Venas intersecundarias	simples	1	1	1	0	0
Modelo de las venas ter	reticulada aleatoria	0	0	1	0	0
	reticulada ortogonal	1	1	0	1	1
Curso de las venas de cu	ortogonal	1	1	1	1	0
	aleatorio	0	0	1	0	0
Curso de lasvenas de qui	ortogonal	1	1	0	1	0
	sin venillas	0	1	0	0	0
Venillas	lineares	0	1	0	0	0
	una vez	0	1	0	0	0
Ramificación de las veni	aleatoria	1	1	1	0	1
	orientada	0	0	0	1	0
Forma de la areola	triangular	1	1	0	0	0
	cuadrangular	0	0	0	1	0
	pentagonal	0	1	0	1	1
	redonda	1	1	0	0	0
Tamaño de la areola	muy larga > 2mm	0	0	1	0	0
	larga 2-1mm	0	0	1	0	0
	mediana 1-0.3 mm	1	1	0	1	1

El fenograma obtenido agrupó a las OTUS por similitud morfológica (Fig. 9). Lo anterior dio como resultado la formación de un gran grupo denominado A, el cual se conforma de cuatro subgrupos: I, II, III y IV, en el primero se agrupa el ejemplar ST-157 y *Polygonum zuccarini*, con un coeficiente de similitud de 0.77, esto permite proponer que el ejemplar pertenece a esta especie ya que de acuerdo a lo establecido por Sneath y Sokal (1973), dos OTUS son iguales cuando el coeficiente de similitud que las une es igual o mayor a 0.8 para un individuo completo, sin embargo aunque en este caso el coeficiente es menor al establecido es considerable proponer lo anterior ya que únicamente se trabajó con un órgano y a pesar de ello dicho valor es cercano a 0.8.

El subgrupo II y III esta conformado por las especies *Coccoloba barbadensis* y *Coccoloba sintenesii* respectivamente (Fig. 6 y 7)

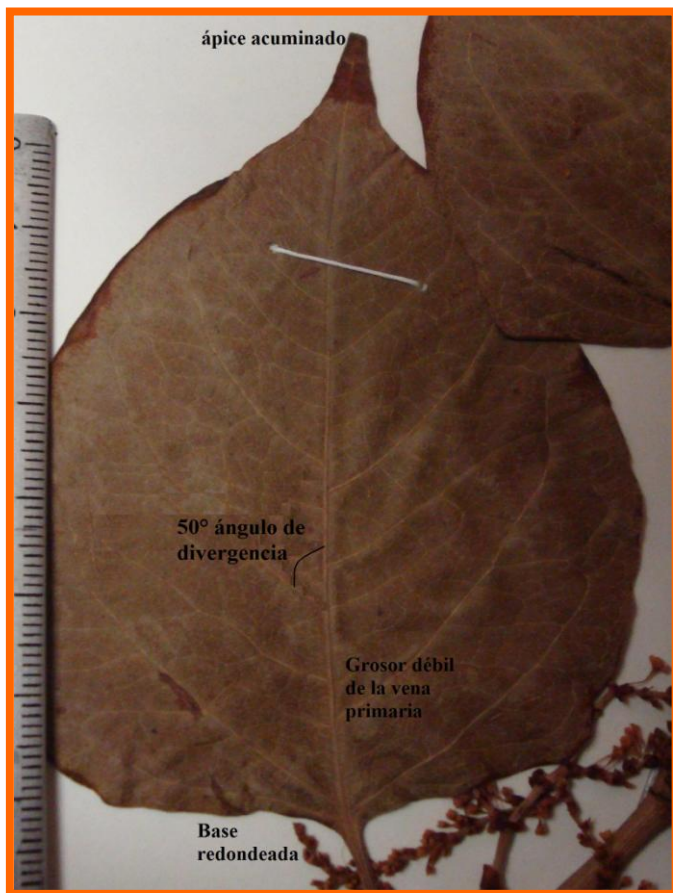


Fig. 6. *Coccoloba barbadensis*



Fig.7. *Coccoloba sintenesii*

En ambas imágenes se muestran la forma de la base, lámina y ápice, así como el grosor de la vena primaria y el ángulo de divergencia entre las venas secundarias.

Mientras que *Polygonum sachalinensis* se separa del grupo A (Fig.8).

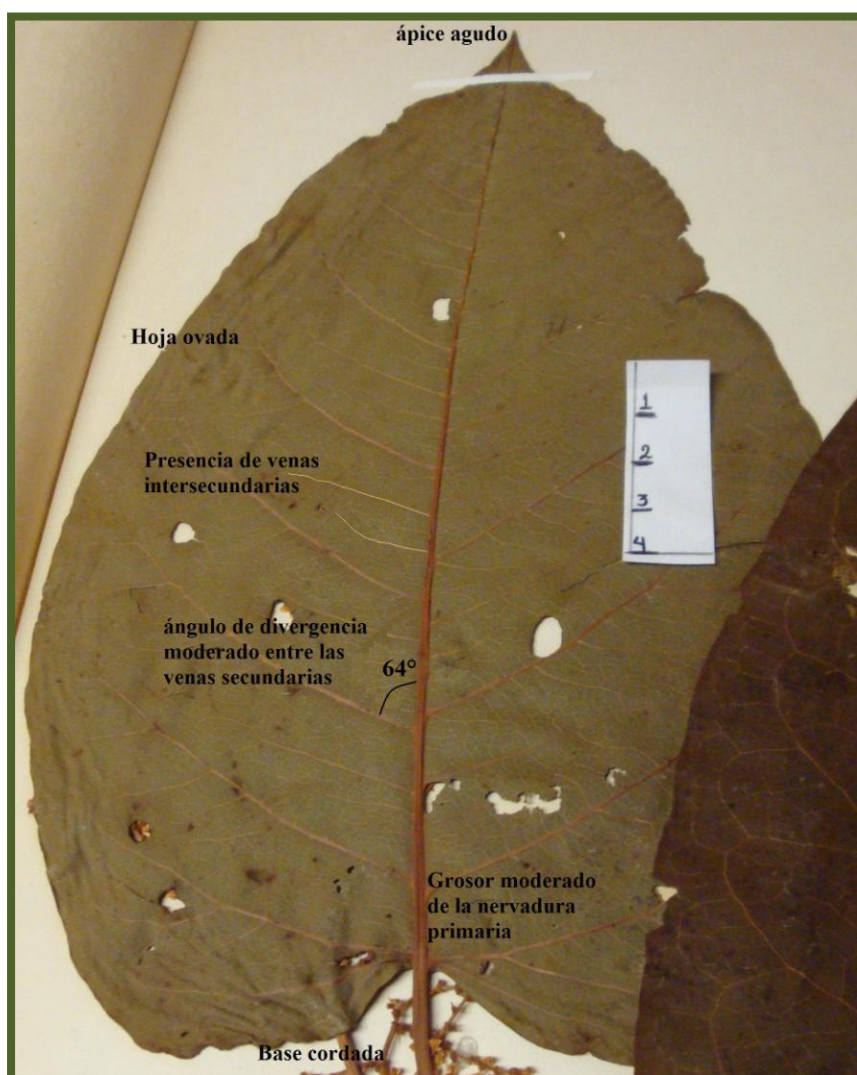


Fig. 8. *Polygonum sachalinensis*. Se puede observar algunos caracteres morfológicos que conforman la hoja, donde las venas intersecundarias se hacen presentes en comparación a *Coccoloba barbadensis* y *Coccoloba sintenensii*.

Es importante mencionar que durante la transformación de la matriz binaria de datos a fenograma los valores de similitud expresados en dicha matriz pueden presentar distorsión con respecto a los valores de similitud del fenograma, por tal motivo se debe estimar la concordancia entre ambos por medio de un coeficiente cofenético (r), lo que indica que si se obtiene un valor superior a 0.8, los caracteres utilizados no son azarosos y son confiables; para el caso de ST-157 el valor de r fue de 0.98898, lo que indica dicha confiabilidad.

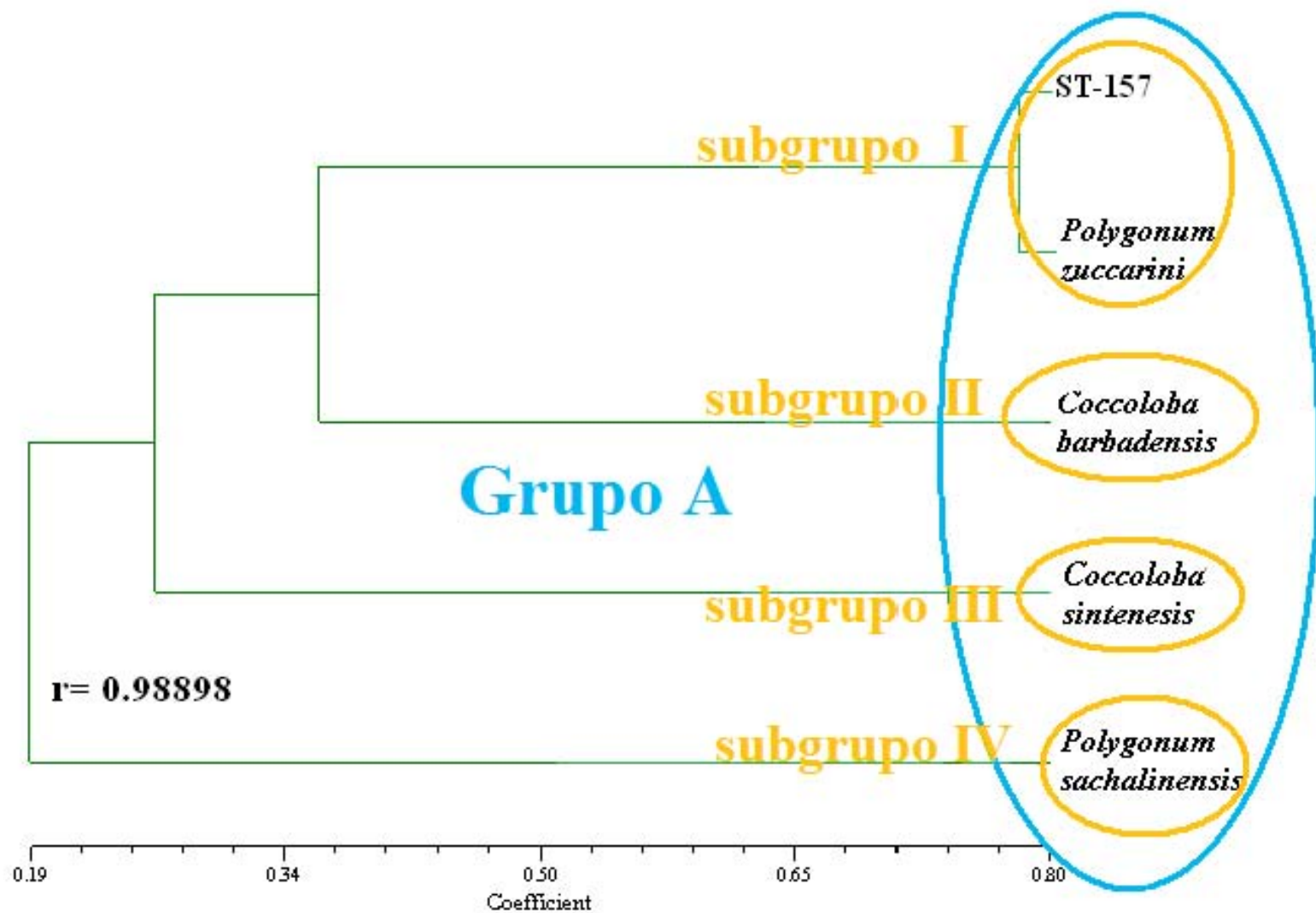


Fig. 9. La agrupación de las OTUS en el fenograma indica que el ejemplar ST-157 y *Polygonum zucarini* muestran bastante similitud morfológica por lo que se consideraran pertenecientes a la misma especie debido al coeficiente de similitud que presentan.

Los datos anteriores generaron una grafica en 3D, donde se pueden distinguir dos grupos que son los mismos que se formaron en el fenograma (Fig. 10).

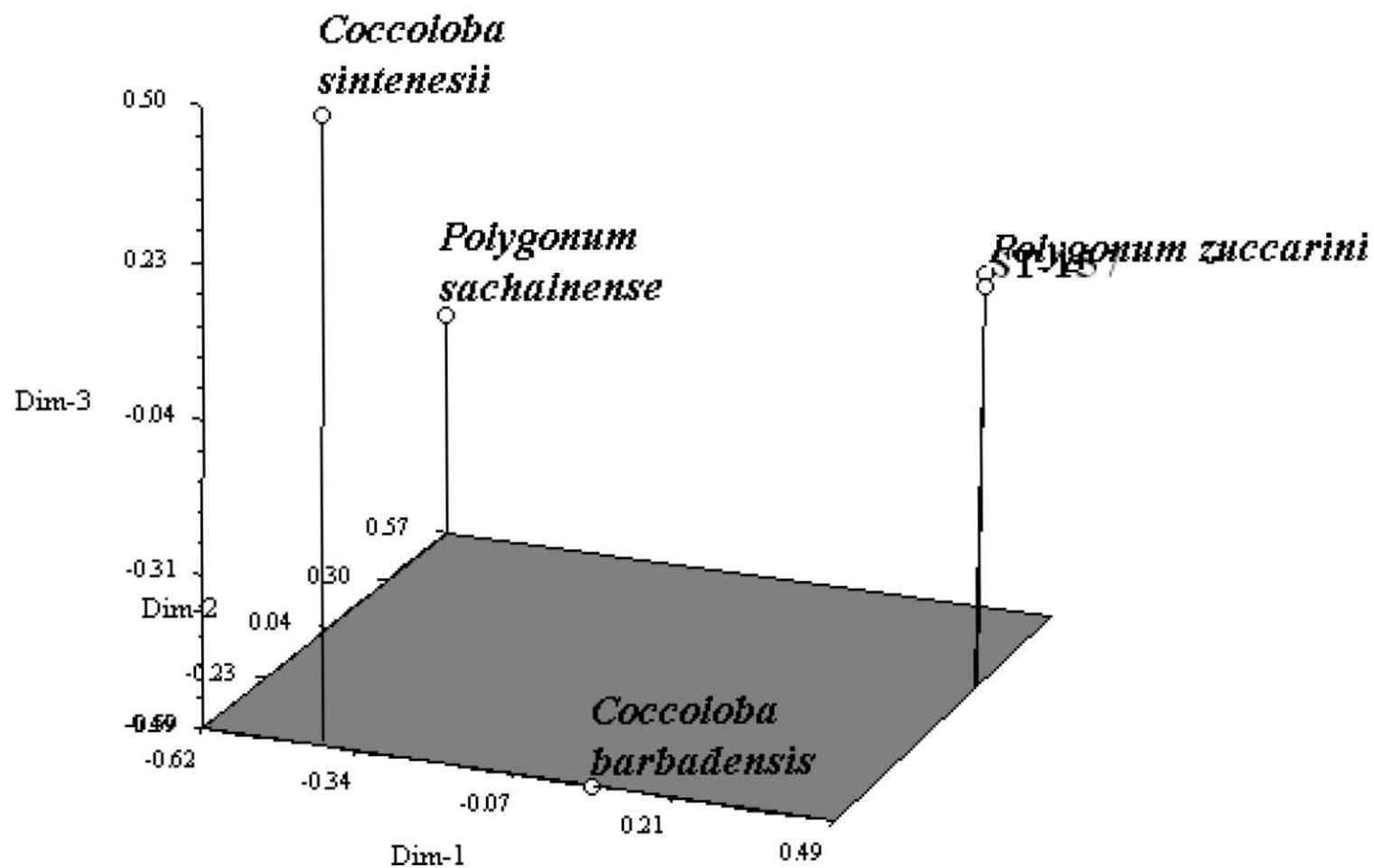


Fig. 10. Gráfica tridimensional perteneciente al ejemplar ST-157, donde se puede observar el agrupamiento entre *Polygonum zucarini* y ST-157 y el comportamiento de las OTUS en el espacio el cual es semejante al fenograma.

Dentro del análisis de componentes principales se identificaron los caracteres con mayor peso, responsables del acomodo de las OTUS en el espacio, siendo 13 estados de carácter, los cuales presentan un valor entre 0.72 y 0.83, y caen dentro del primero, segundo y cuarto componente. Estos son: forma asimétrica en la base de la hoja, ángulo de divergencia amplio, ángulo de divergencia casi uniforme, venas secundarias inferiores y superiores mas obtusas que las medias, modelo reticulado aleatorio de las venas terciarias, curso aleatorio de las venas de quinto orden, ausencia de venillas, venillas de tipo linear, venillas ramificadas una vez, arreglo orientado de las areolas forma cuadrangular y tamaño largo a muy largo de estas. (Cuadro 2).

Caracteres	Estados de carácter	Estados de carácter	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Base de la hoja	Forma de la lámina solo en la base	simétrico	0.0528	0.3273	0.3052	0.1712
		asimétrico	0.0068	-0.8328	-0.3343	-0.0915
Lámina	Forma de la lámina	elíptica	-0.0288	-0.5873	0.4178	-0.0970
		ovada	0.0800	0.4809	-0.1326	0.1460
	Longitud de la hoja	largo 7-10cm	0.5240	-0.0067	-0.1529	0.2385
		largo >10cm	-0.5617	0.0445	0.5000	-0.0619
	Ancho de la hoja	ancho 3-6cm	0.5240	-0.0067	-0.1529	0.2385
		ancho >7cm	-0.5617	0.0445	0.5000	-0.0619
Ápice	Forma del ápice	agudo	0.5240	-0.0067	-0.1529	0.2385
		acuminado	-0.4045	-0.3196	-0.2279	0.1663
		obtuso	-0.1809	-0.1833	0.7592	-0.3781
Base	Forma de la base	redondeada	0.0068	-0.8328	-0.3343	-0.0915
		cordada	0.4249	-0.0713	0.3079	0.2652
		auriculada o lobada	-0.2387	0.3879	-0.1760	-0.1733
Vena primaria	Grosor de la vena primaria	moderados 1.25-2%	0.4828	0.4244	-0.1514	-0.1265
		débil <1.25%	-0.3258	-0.3047	0.3381	0.1032
		moderado 45°-65°	0.4249	-0.0713	0.3079	0.2652
		amplio 65-80°	-0.8203	0.2327	-0.2027	0.1035

Venación secundaria	Variaciones en el ángulo de divergencia	ángulo de divergencia	0.0068	-0.8328	-0.3343	-0.0915
		venas secundarias	-0.1809	-0.1833	0.7592	-0.3781
		venas secundarias	-0.8203	0.2327	-0.2027	0.1035
		varios ángulos de divergencia	0.4828	0.4244	-0.1514	-0.1265
	Venas intersecundarias	simples	0.0800	0.4809	-0.1326	0.1460
Venación terciaria	Modelo de las venas terciarias	reticulada aleatoria	-0.8203	0.2327	-0.2027	0.1035
		reticulada ortogonal	0.4249	-0.0713	0.3079	0.2652
Venación de alto orden	Curso de las venas de cuarto orden	ortogonal	0.1923	0.1282	-0.1331	0.3725
	Curso de las venas de quinto orden	aleatorio	-0.8203	0.2327	-0.2027	0.1035
		ortogonal	0.5240	-0.0067	-0.1529	0.2385
Venillas	Venillas	sinvenillas	0.2471	0.2926	-0.1744	-0.7259
		lineares	0.2471	0.2926	-0.1744	-0.7259
	Ramificación de las venillas	unavez	0.2471	0.2926	-0.1744	-0.7259
Areola	Arreglo de la areola	aleatoria	0.0528	0.3273	0.3052	0.1712
		orientada	0.0068	-0.8328	-0.3343	-0.0915
	Forma de la areola	triangular	0.4828	0.4244	-0.1514	-0.1265
		cuadrangular	0.0068	-0.8328	-0.3343	-0.0915
		pentagonal	0.2272	-0.2636	0.3397	-0.0602
		redonda	0.4828	0.4244	-0.1514	-0.1265
	Tamaño de la areola	muy larga >2mm	-0.8203	0.2327	-0.2027	0.1035
		larga 2-1mm	-0.8203	0.2327	-0.2027	0.1035
		mediana 1-0.3mm.	0.4249	-0.0713	0.3079	0.2652

Cuadro 2. Componentes principales correspondiente al ejemplar ST-157. Se resalta el peso absoluto que tiene cada estado de carácter. Se puede notar que caen en el primero, segundo y cuarto componente.

El cuadro anterior se respalda en la varianza acumulada, donde el porcentaje mayor al 60% está presente en el tercer componente (Cuadro 3).

Cuadro 3. En negritas se señalan el porcentaje de variación acumulada, obtenidos en el análisis de componentes para los morfotipos ST-157.

i	valor propio	porcentaje	acumulativo
1	8.15150035	29.0366	29.0366
2	6.33005885	22.5484	51.5851
3	3.8409415	13.6819	65.2669
4	3.06762974	10.9273	76.1942

De lo anterior se tiene la propuesta que el fósil ST-157 pertenece a:

Género: Polygonum.

Especie: *Polygonum zuccarini* Small.

Polygonum zuccarini, es nativo del este de Asia y está ampliamente distribuido en gran parte de los Estados Unidos. Esta especie puede prosperar en una amplia variedad de hábitats, por ejemplo en los EE.UU., se ha observado que crece en una variedad de tipos de suelo, incluyendo limoso, arcilloso y arenoso, y en suelos con pH de 4,5 a 7,4 (Scott & Marrs, 1984). El suelo de la localidad de Sanctórum es arcilloso, lo que es un aspecto importante que se tomó en cuenta para poder discernir la existencia de la especie en la localidad. Además *Polygonum zuccarini*, puede establecerse en diversos tipos de hábitat pero principalmente en lugares húmedos sin sombra, pastos, zanjas, arroyos y humedales.

Estudios paleoecológicos realizados en la región proponen un clima templado subhúmedo para la zona de estudio durante el Plioceno (Aguilar- Arellano y Velasco de León, 2002; Arellano-Gil *et al.*, 2005), mientras que en la actualidad se reporta un clima seco semiárido para la región. (García, 1988).

Lo anterior permite plantear que *Polygonum zuccarini* muy probablemente existió durante el Plioceno en la localidad de Sanctórum (hace aproximadamente 5.3-1.8 m.a), ya que la presencia de un cuerpo de agua (paleolago) y las condiciones climatológicas y edafológicas eran favorables para que esta especie pudiera sobrevivir, sin embargo, en el transcurso del tiempo dichas condiciones fueron cambiando, lo que provocó su desaparición.

DIAGNOSIS ST-1413

Hoja ovada, 6.0 x 2.5 cm, base cordada, ápice redondo, margen entero. La nervadura primaria sigue un curso recto sin ramificaciones con grosor moderado y venación eucamptodroma. Posee seis pares de venas secundarias y el ángulo de divergencia de estas es menor a 45° , además su grosor es moderado y forman un patrón curvado, uniforme con ramificaciones. Se observan venas intersecundarias simples. En este morfotipo solamente es visible hasta la venación terciaria, la cual es reticulada aleatoria. (Fig. 11).

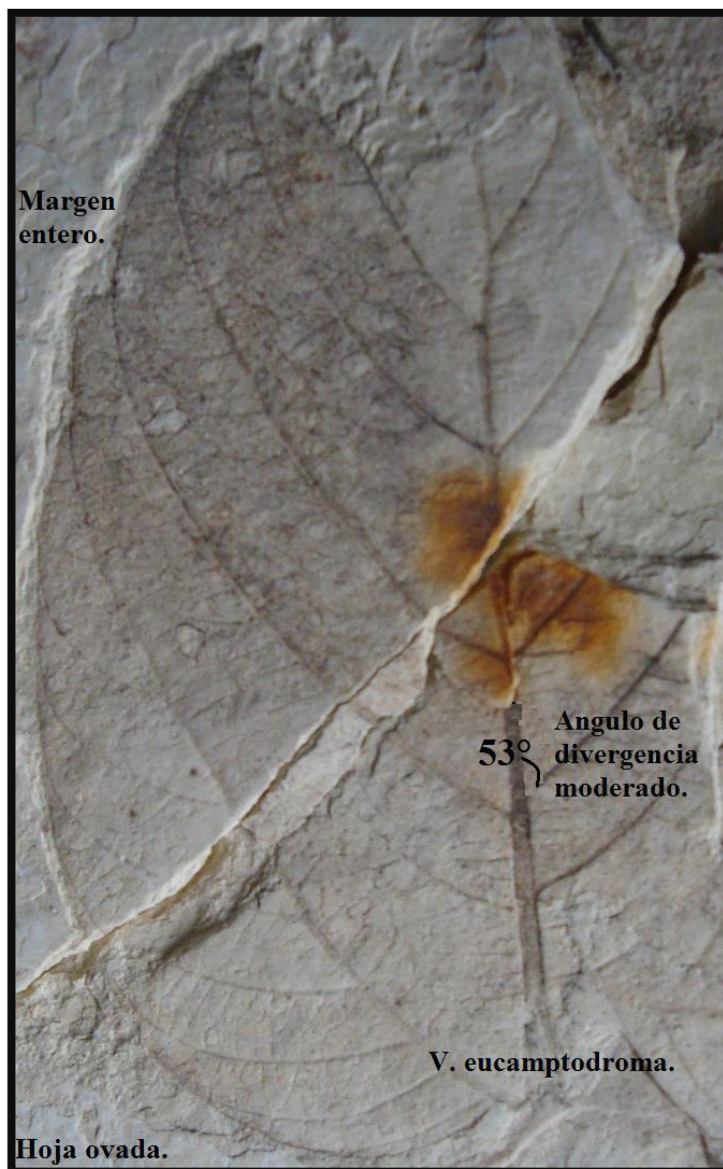


Fig. 11. Imagen correspondiente al morfotipo ST-1413 donde se observan algunos caracteres morfológicos.

ASIGNACIÓN DE FAMILIA:

Para el morfotipo ST-1413, se identificaron dos posibles familias: Magnoliaceae y Hernandiaceae, siendo esta última la que corresponde al ejemplar en estudio, ya que presenta algunos caracteres morfológicos idénticos como: forma y margen de la hoja y tipo de venación, entre otros. En Magnoliaceae la venación es pinnada, además la venación secundaria es broquidodroma festonada con arcos por lo que fue excluida.

Al igual que el morfotipo anterior, la revisión de imágenes y la consulta de ejemplares de herbario en este caso MEXU y UAMIZ. Para el ejemplar en estudio se consideraron 15 caracteres morfológicos en la creación de una matriz binaria de datos que corresponden al ejemplar ST-1413 y a seis especies actuales pertenecientes al género *Hernandia* (Cuadro 4). Dicho género presenta alrededor de 32 especies, de las cuales, 12 se distribuyen en América, sin embargo, sólo se consultaron seis especies: *H. catalpifolia* Britton & Harris (Fig. 12), *H. didymantha* Smith (Fig. 13), *H. lychnifera* Grayum y Zamora (Fig. 14), *H. moerenhoutiana* Guillemain (Fig. 15), *H. sonora* Linneo (Fig. 16) y *H. wendtii* Espejo (Fig. 17), debido a que únicamente se tuvo acceso a estos ejemplares.

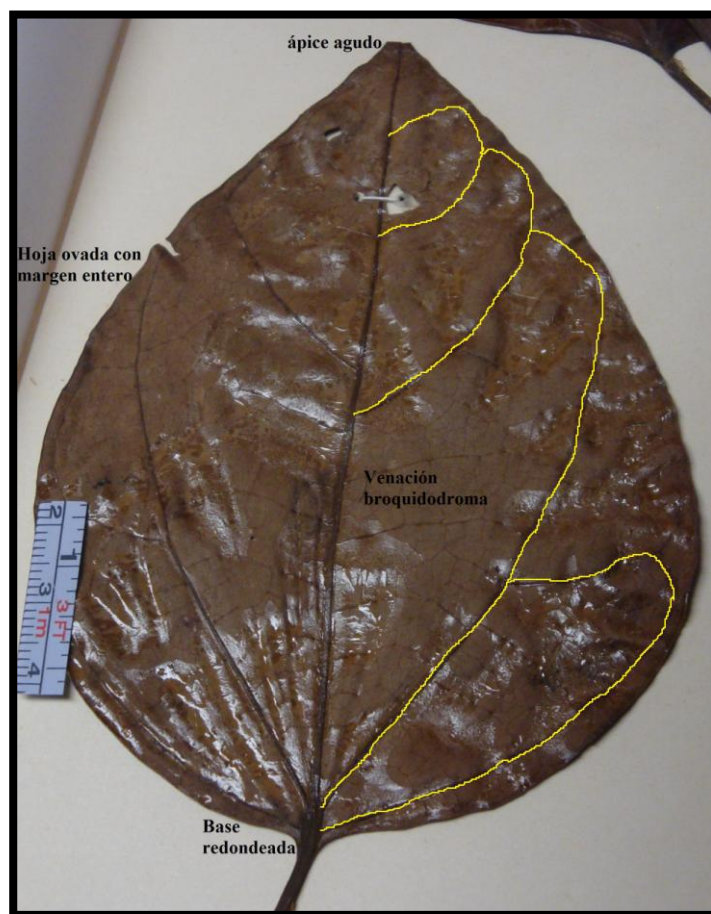


Fig. 12. *Hernandia catalpifolia*. Se indican algunos caracteres morfológicos tomados en cuenta para la creación de la matriz básica de datos. En color amarillo la venacion de tipo broquidodroma.

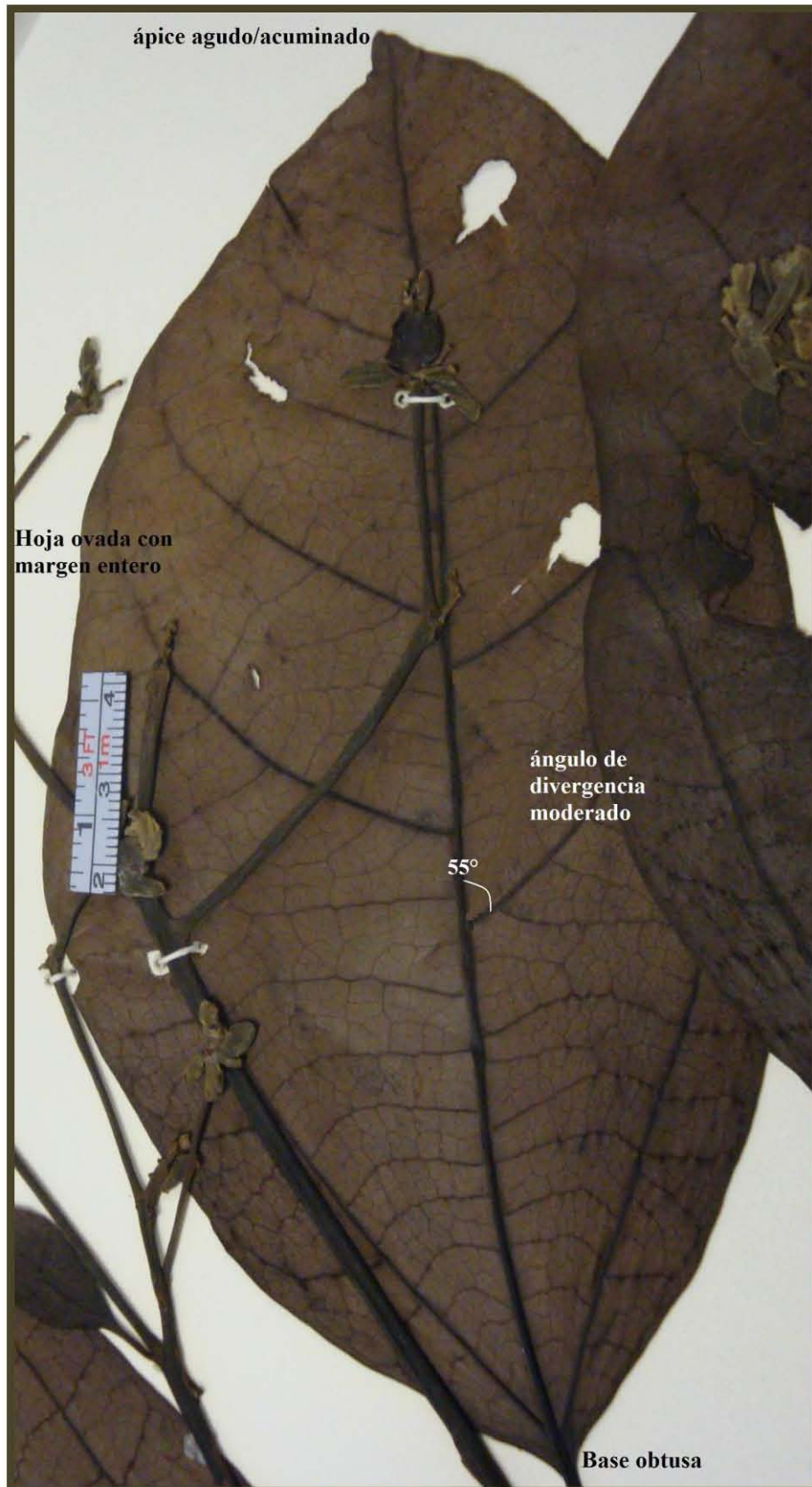


Fig. 13. *Hernandia didymantha*. Se observan algunos caracteres cualitativos como la forma, margen, ápice y base de la hoja, así como cualitativos como el ángulo de divergencia indicado de color blanco.

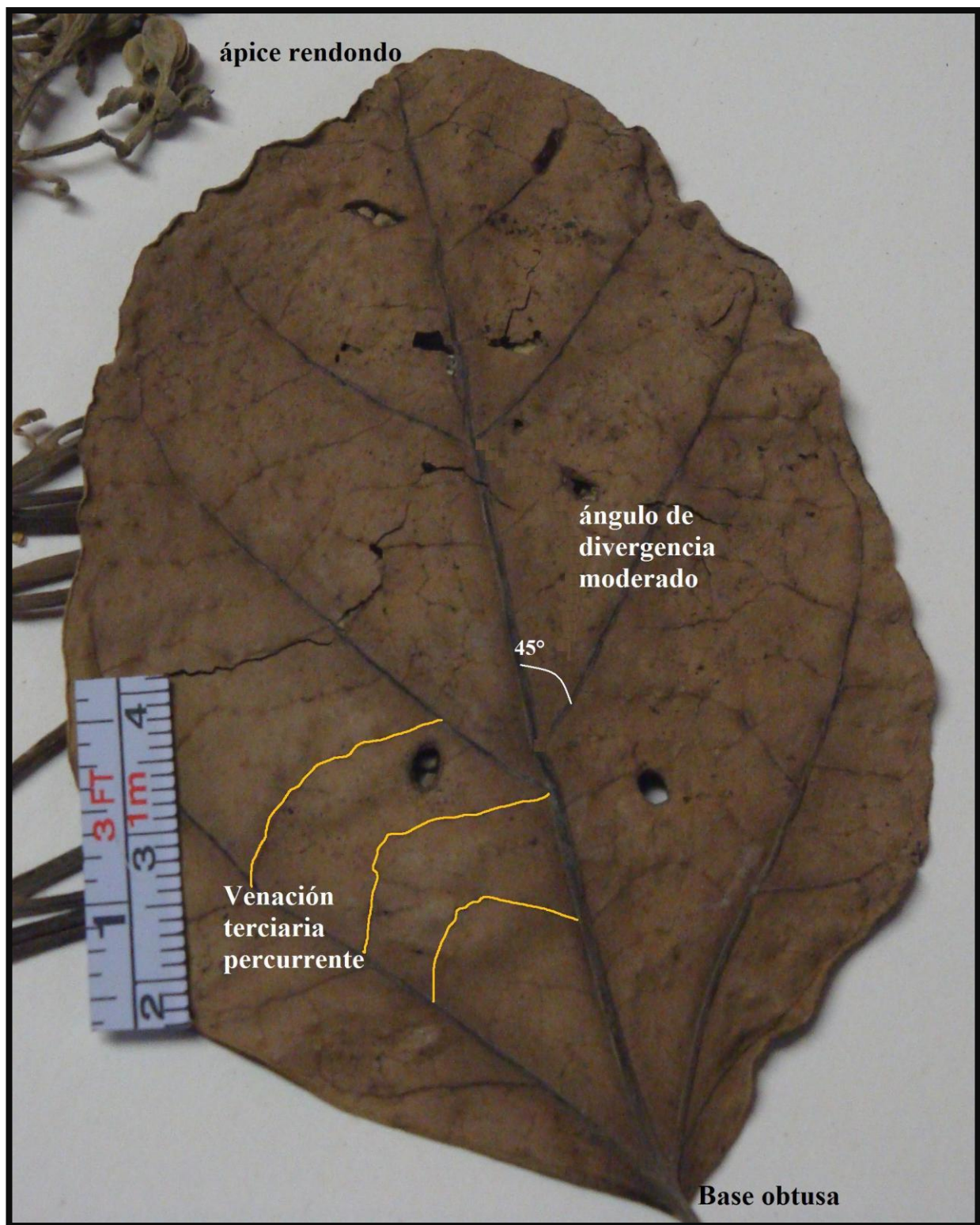


Fig. 14. *Hernandia lychnifera*. Se muestran algunos caracteres morfológicos como el tipo de base y ápice, también se indica de color amarillo el curso de la venas terciarias, y de color blanco en ángulo de divergencia entre las venas secundarias.

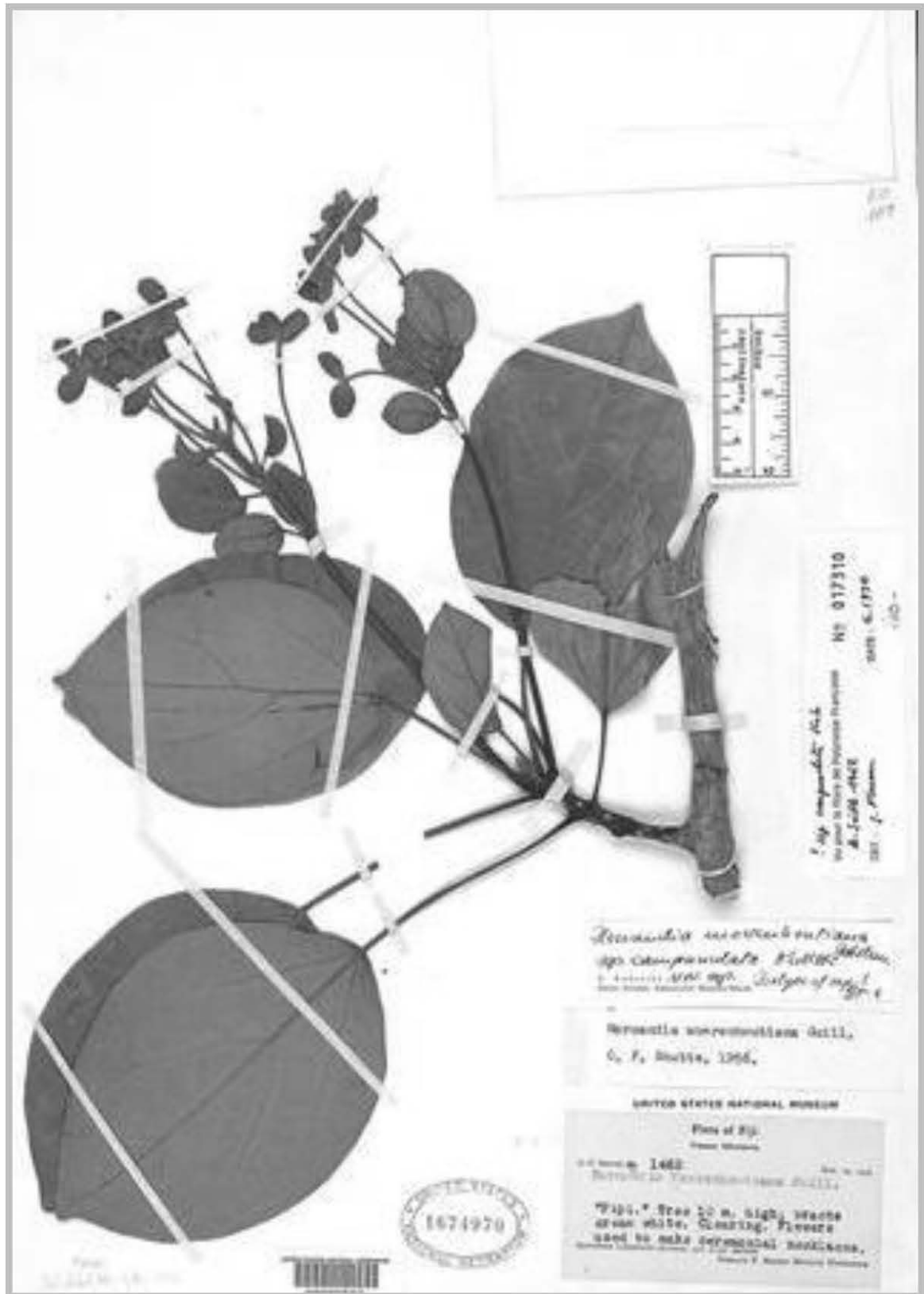


Fig. 15. Hernandia moerenhoutiana. Hoja elíptica, ápice agudo o redondo, base redondeada, margen entero, cuatro pares de venas secundarias de tipo broquidodroma.

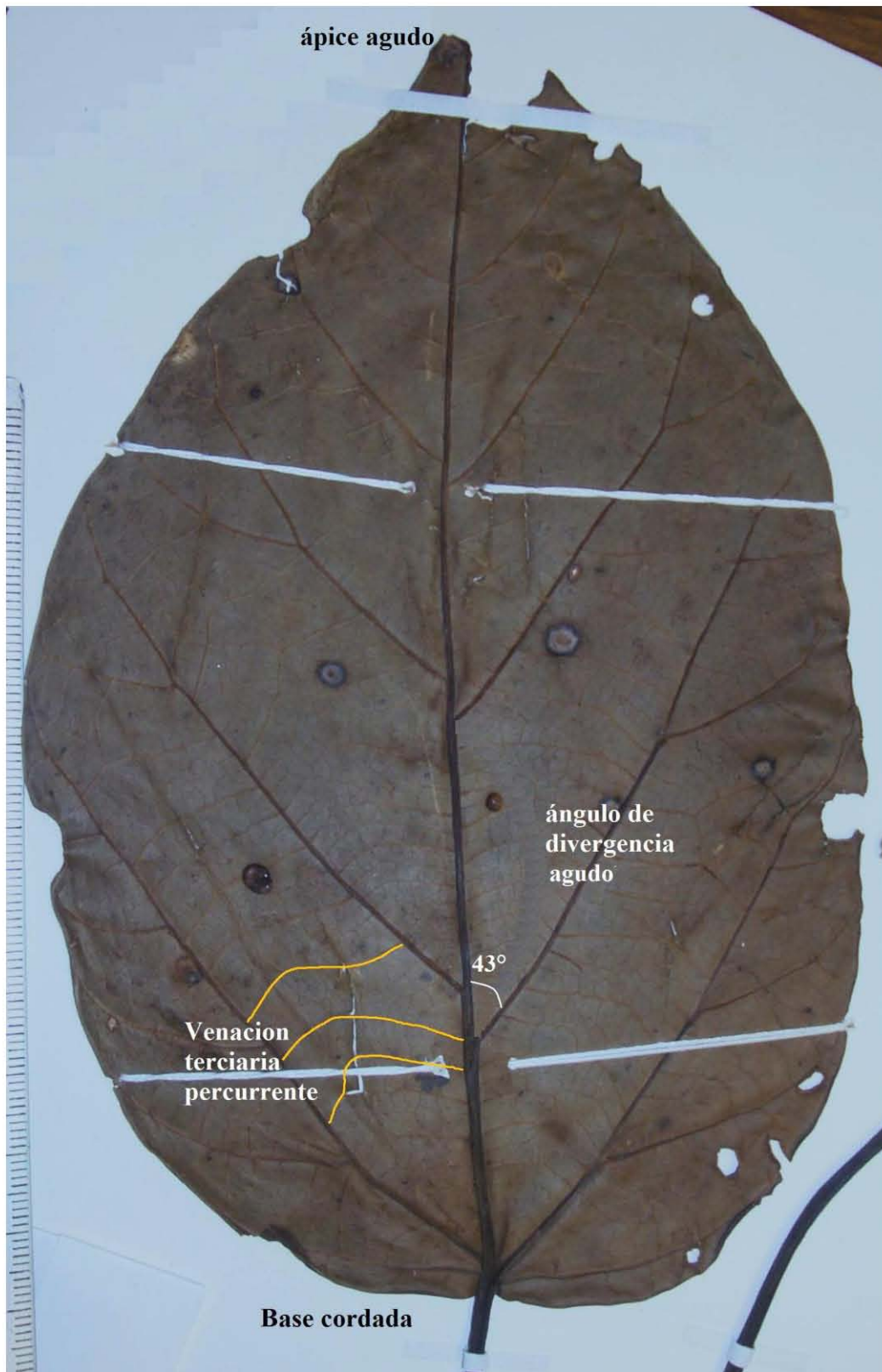


Fig. 16. *Hernandia sonora*. Se puede notar el tipo de ápice y base que muestra esta especie. Se indica de color blanco el ángulo de divergencia entre las venas secundarias y de color amarillo las venas terciarias.

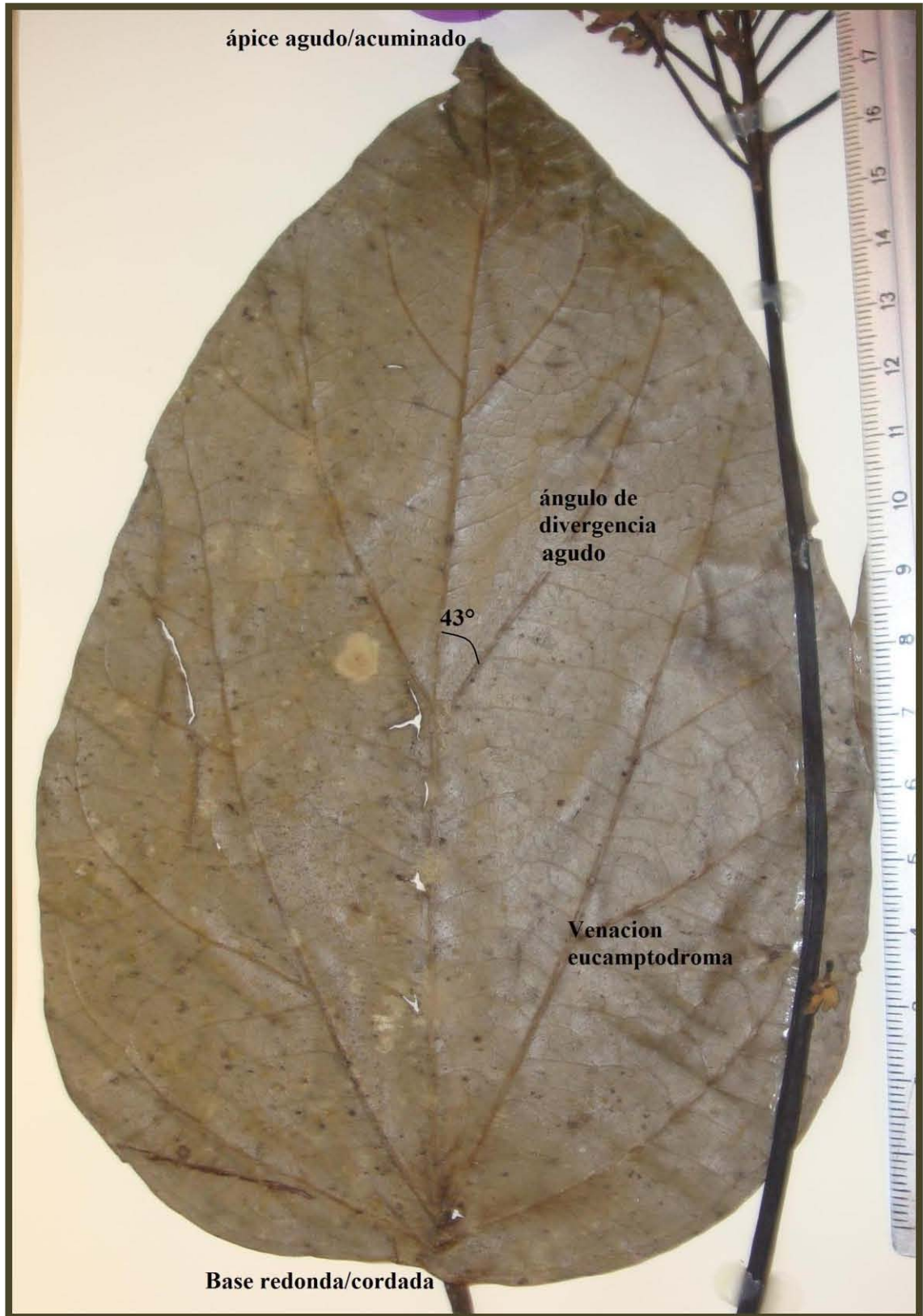


Fig. 17. *Hernandia wendtii*. Esta especie tiene variabilidad en su morfología, por ejemplo el ápice en algunas hojas puede ser agudo, acuminado o redondo. La base puede ser redonda, truncada o cordada

Cuadro 4. Matriz básica de datos de tipo binaria correspondiente al ejemplar ST-1413.

CARACTERES	ESTADOS DE CARÁCTER	ST-1413	<i>Hernandia wendtii</i>	<i>Hernandia sonora</i>	<i>Hernandia moerenhoutiana</i>	<i>Hernandia catalpifolia</i>	<i>Hernandia didymantha</i>	<i>Hernandia lychnifera</i>
Forma de la lámina	elíptica	0	1	0	1	0	0	0
	ovada	1	1	1	0	1	1	1
	lanceolada	0	1	0	0	0	0	0
Longitud de la hoja	4 a 10 cm.	1	1	0	1	0	0	1
	mas de 10 cm.	0	1	1	0	1	1	0
Ancho de la hoja	2.5 a 10 cm.	1	1	0	1	1	1	1
	mas de 10 cm.	0	1	1	0	0	0	0
Forma del ápice	aguda	0	1	1	1	1	1	0
	acuminada	0	1	0	0	0	1	0
	redonda	1	1	0	1	0	0	1
Forma de la base	normal	0	0	0	0	0	1	1
	redondeada	0	1	0	1	1	0	0
	truncada	0	1	0	0	0	0	0
	cordada	1	1	1	0	0	0	0
Margen	entero	1	1	1	1	1	1	0
	lobado	0	0	0	0	0	0	1
Tipo de venación	mixtos	1	0	0	0	0	0	0
	broquidodroma	0	0	0	1	1	0	0
	broquidodroma festonada	0	0	1	0	0	1	1
	eucamptodroma	1	1	0	0	0	0	0
Grosor de las venas primarias	masivos > 4%	0	0	1	99	0	0	0
	corpulentos 2-4%	0	0	0	99	0	0	1
	moderado 1.25-2%	1	1	0	99	0	1	0
	debil < 1.25%	0	0	0	99	1	0	0
Pares de venas secundarias	4 pares	0	0	0	1	1	0	0
	5 a 7 pares	1	1	1	0	0	1	1
Ángulo de divergencia de las	angosto < 45°	1	1	1	99	0	0	0
	moderado 45-65°	0	0	0	99	1	1	1
Variaciones en el ángulo de divergencia	Venas secundarias superior	0	0	0	99	0	1	1
	Venas secundarias superior	1	1	1	99	0	0	0
	Venas secundarias inferiore	0	0	1	99	0	0	0
	Varios ángulos de divergen	0	0	0	99	1	0	0
Patrón de las venas secundarias	uniforme	1	1	0	99	0	0	0
	abrupta	0	0	1	99	1	1	1
	con ramas	1	1	0	99	0	0	0
Venas intersecundarias	simples	1	1	0	99	0	0	0
	reticulada aleatoria	1	1	0	99	0	0	0
	simples	0	0	0	99	1	1	0
	convexa	0	0	1	99	0	0	1
	longitudinal	0	0	1	99	1	1	1
Curso de las venas de cuarto orden	Predominantemente alterno	0	0	1	99	1	1	1
	aleatoriamente	0	0	1	99	1	1	1
Curso de las venas de cuarto orden	ortogonalmente	1	1	0	99	0	0	0

Lo anterior dio como resultado un fenograma, el cual agrupo a las OTUS por similitud morfológica a seis especies actuales con el respectivo morfotipo. En dicho fenograma se observa la formación de dos grandes grupos. En el grupo A se puede notar que *Hernandia wendtii* es la especie que se agrupa con el morfotipo ST-1413, esto se debe a que comparten cerca del 83% de los caracteres morfológicos, así mismo el coeficiente de similitud entre ellos es de aproximadamente de 0.67. En el grupo B se observa la formación de tres subgrupos: B1, B2 y B3. El primer subgrupo lo constituye únicamente la especie *H. sonora*, mientras que *H. didymantha* y *H. lychnifera* corresponden a B2. *H. catalpifolia* y *H. moerenhoutiana* conforman el último subgrupo. El valor cofenético (r) del fenograma es de 0.81414 lo que indica confiabilidad en los caracteres utilizados y por lo tanto las agrupaciones no se deben al azar (Fig. 18).

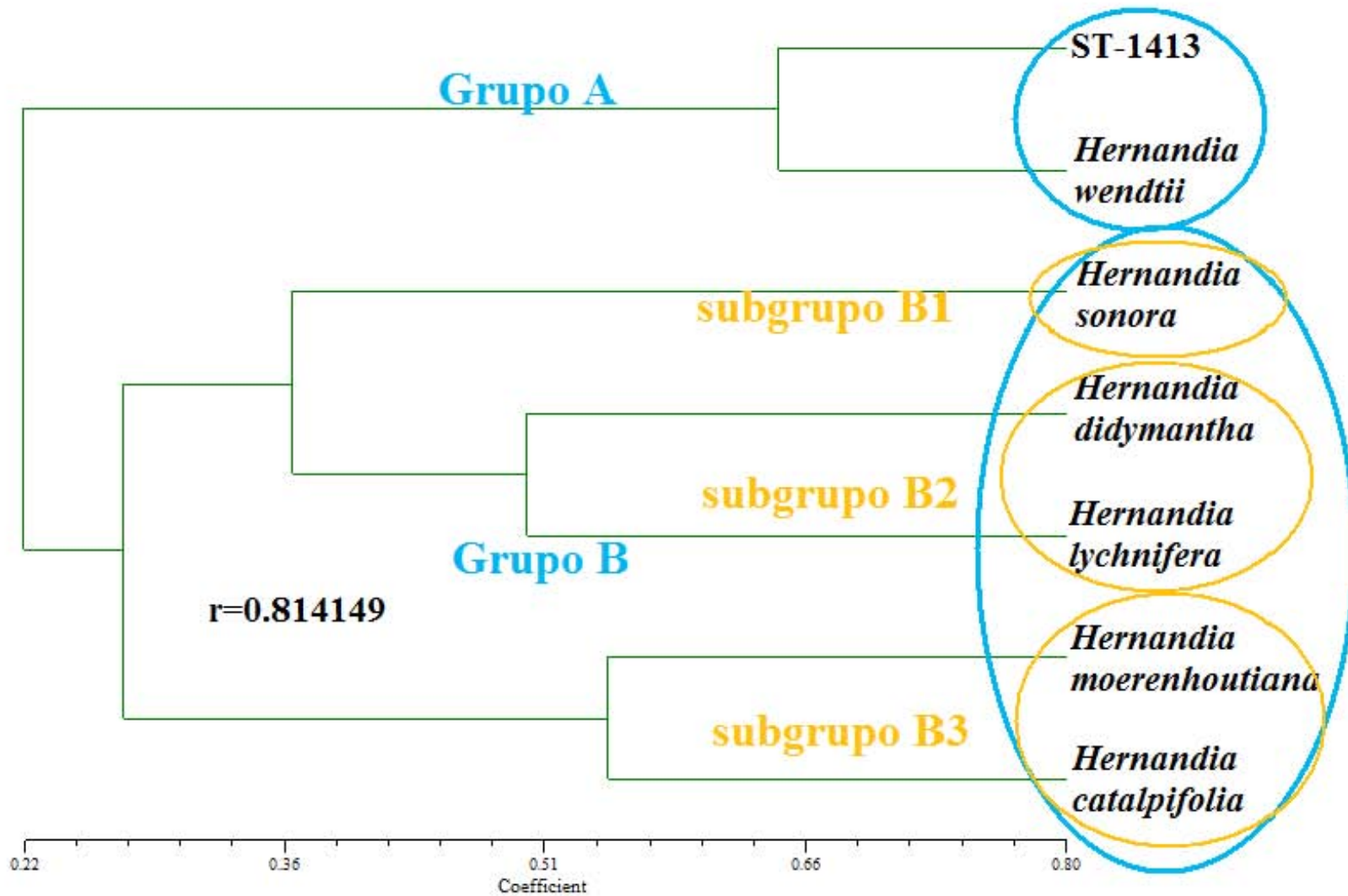


Fig. 18. Fenograma correspondiente al ejemplar ST-1413. Se observa la agrupación de las especies actuales con respecto al ejemplar ST-1413, siendo *Hernandia wendtii* la que muestra mayor similitud en relación con el ejemplar estudiado.

Posteriormente se realizó un análisis de componentes, donde se obtuvo una gráfica en tercera dimensión. En ella se muestra el comportamiento espacial de las OTUS. Los agrupamientos entre el ejemplar y las seis especies actuales corresponden a las mismas que se formaron en el fenograma, pues es notorio el alejamiento entre *Hernandia wendtii* y ST-1413 (Fig. 19).

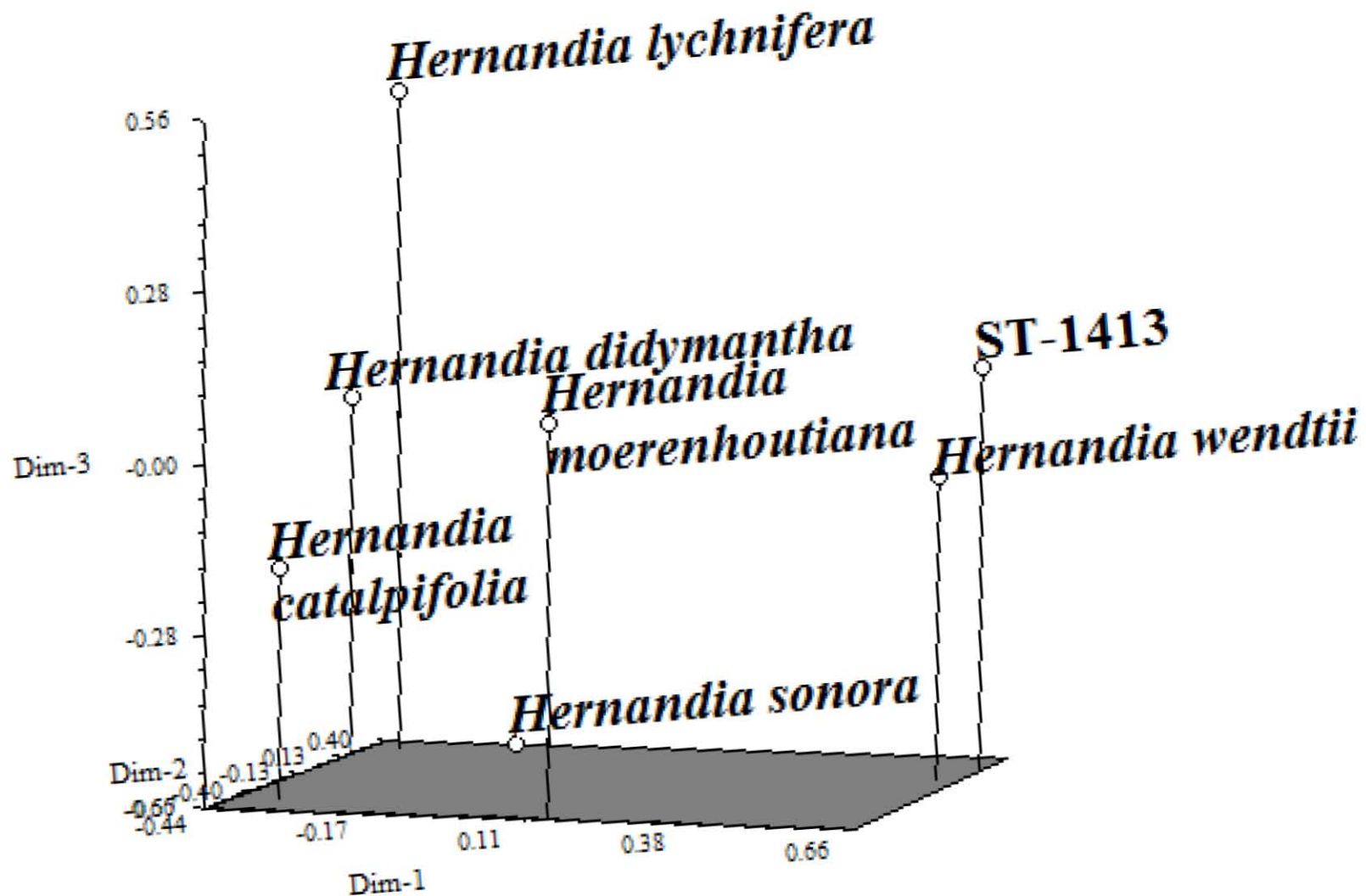


Fig. 19. El análisis de componentes principales generó una gráfica tridimensional donde se puede observar el comportamiento de las OTUS en el espacio.

Los estados de carácter responsables de este acomodo son el tipo de venación broquidodroma y eucamptodroma, grosor masivo y débil de las venas primarias, cuatro pares de venas secundarias, ángulo de divergencia, patrón de las venas secundarias, venas intersecundarias simples, modelo y curso de las venas de tercer orden que se pueden observar en el siguiente cuadro (Cuadro 5).

Cuadro 5. En la tabla de componentes se indica el peso absoluto que tiene cada estado de carácter. Se puede notar que recaen en el primero, segundo y tercer componente, siendo un valor promedio de 0.6 a 0.8.

CARACTER	ESTADOS DE CARACTER	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Forma de la lámina	elíptica	0.3331	0.2770	0.0674	0.0909
	ovada	-0.1496	-0.2058	-0.0994	-0.3827
	lanceolada	0.3974	0.0860	-0.0132	0.1449
Longitud hoja	4 a 10cm.	0.3287	-0.0370	0.3509	0.0184
	más de10cm.	-0.2164	-0.0075	-0.3664	-0.3451
Ancho hoja	2.5 a 10cm	-0.0749	0.0481	0.2244	-0.3795
	más de10cm.	0.1929	-0.1572	-0.5377	0.2377
Ápice	aguda	-0.2223	0.1315	-0.3115	-0.3486
	acuminada	0.0938	-0.0508	0.0549	-0.2153
	redonda	0.3287	-0.0370	0.3509	0.0184
Base	redondeada	0.0180	0.5867	-0.0112	-0.0333
	truncada	0.3974	0.0860	-0.0132	0.1449
	cordada	0.4505	-0.1910	-0.3723	0.0422
Margen	entero	-0.0117	0.0605	-0.2350	-0.4098
	lobado	-0.3122	-0.2849	0.5201	0.5628
Tipo de venación	mixtos	0.3143	-0.0040	0.1425	0.1272
	broquidodroma	-0.3508	0.8551	0.0099	0.1669
	broquidodroma festonada	-0.4981	-0.4820	-0.0129	0.0400
	eucamptodroma	0.6960	-0.0066	0.1116	-0.0339
Grosor de las venas primarias	masivos >4%	-0.1649	-0.2270	-0.6418	0.5252
	corpulentos 2-4%	-0.3059	-0.2859	0.5394	0.5595
	moderado 1.25-2%	0.3599	-0.0847	0.1303	-0.3378
	débil <1.25%	-0.3764	0.8102	-0.0290	0.2005

Pares de venas secundarias	4 pares	-0.3508	0.8551	0.0099	0.1669
	5 a 7 pares	0.0080	-0.3731	-0.0537	-0.2248
Angulo de divergencia de las venas secundarias	angosto <45°	0.4594	-0.1780	-0.3602	0.0175
	moderado 45-65°	-0.5945	-0.0153	0.2947	-0.2035
	venas secundarias superiores	-0.4607	-0.3617	0.4893	0.0424
	Venas secundarias superiores	0.4594	-0.1780	-0.3602	0.0175
	Venas secundarias inferiores	-0.1649	-0.2270	-0.6418	0.5252
	Varios ángulos de divergencia	-0.3764	0.8102	-0.0290	0.2005
Patron de las venas secundarias	uniforme	0.7143	0.0131	0.1454	-0.0495
	abrupta	-0.6233	-0.2077	-0.0857	-0.2426
	con ramas	0.7143	0.0131	0.1454	-0.0495
Venas intersecundarias	simples	0.7143	0.0131	0.1454	-0.0495
Modelo de las venas terciarias	reticulada aleatoria	0.7143	0.0131	0.1454	-0.0495
	simples	-0.4710	0.3397	0.0366	-0.2559
	convexa	-0.3506	-0.4235	-0.1080	0.4808
	longitudinal	-0.6233	-0.2077	-0.0857	-0.2426
	Predominantemente alterno	-0.6233	-0.2077	-0.0857	-0.2426
Curso de las venas de cuarto orden	aleatoriamente	-0.6233	-0.2077	-0.0857	-0.2426
	ortogonalmente	0.7143	0.0131	0.1454	-0.0495

Lo anterior se apoya con la varianza acumulada, ya que en el cuarto componente, es donde se presenta mas del 60% (Cuadro 6).

Cuadro 6. En negritas se señala el porcentaje de variación acumulada, obtenidos en el análisis de componentes para el ejemplar ST-1413.

i	valor propio	porcentaje	acumulativo
1	8.51432781	26.3124	26.3124
2	5.04357667	15.5865	41.8990
3	3.81947907	11.8036	53.7026
4	3.39037901	10.4775	64.1801

Los resultados obtenidos permiten proponer que el morfotipo se puede ubicar en el siguiente sistema de clasificación:

Clase: Magnoliopsida

Orden: Laurales

Familia: Hernandiaceae

Genero: *Hernandia* L.

El género *Hernandia* es el más grande de la familia y comprende aproximadamente unas 25 especies actuales distribuidas en todo en el mundo con una especie fósil (*Hernandia tongi*) correspondiente al Mioceno, registrada en Venezuela y Colombia (Berry, 1936).

DIAGNOSIS ST-1696

Hoja ovada, con una longitud de 8.0 cm. de largo y 6.0 cm. de ancho. Presenta una base de tipo redondeada y el ápice agudo. El margen es entero y muestra una venación de tipo actinodroma basal. La nervadura primaria sigue un curso recto con ramificaciones desde la base y el grosor de éstas es débil. El ángulo de divergencia entre las venas secundarias es menor a 45° , pero es más agudo en la base de la hoja. Las venas secundarias presentan un grosor moderado con un patrón de curvatura abrupto. Las venas de tercer orden muestran un modelo reticulado ortogonal, mientras que las de cuarto y quinto orden son delgadas y están dispuestas ortogonalmente. Se observan areolas bien desarrolladas de forma triangular, cuadrangular, rectangular, pentagonal e irregular con un tamaño mediano que varía de 1 a 0.3 mm. (Fig. 20).

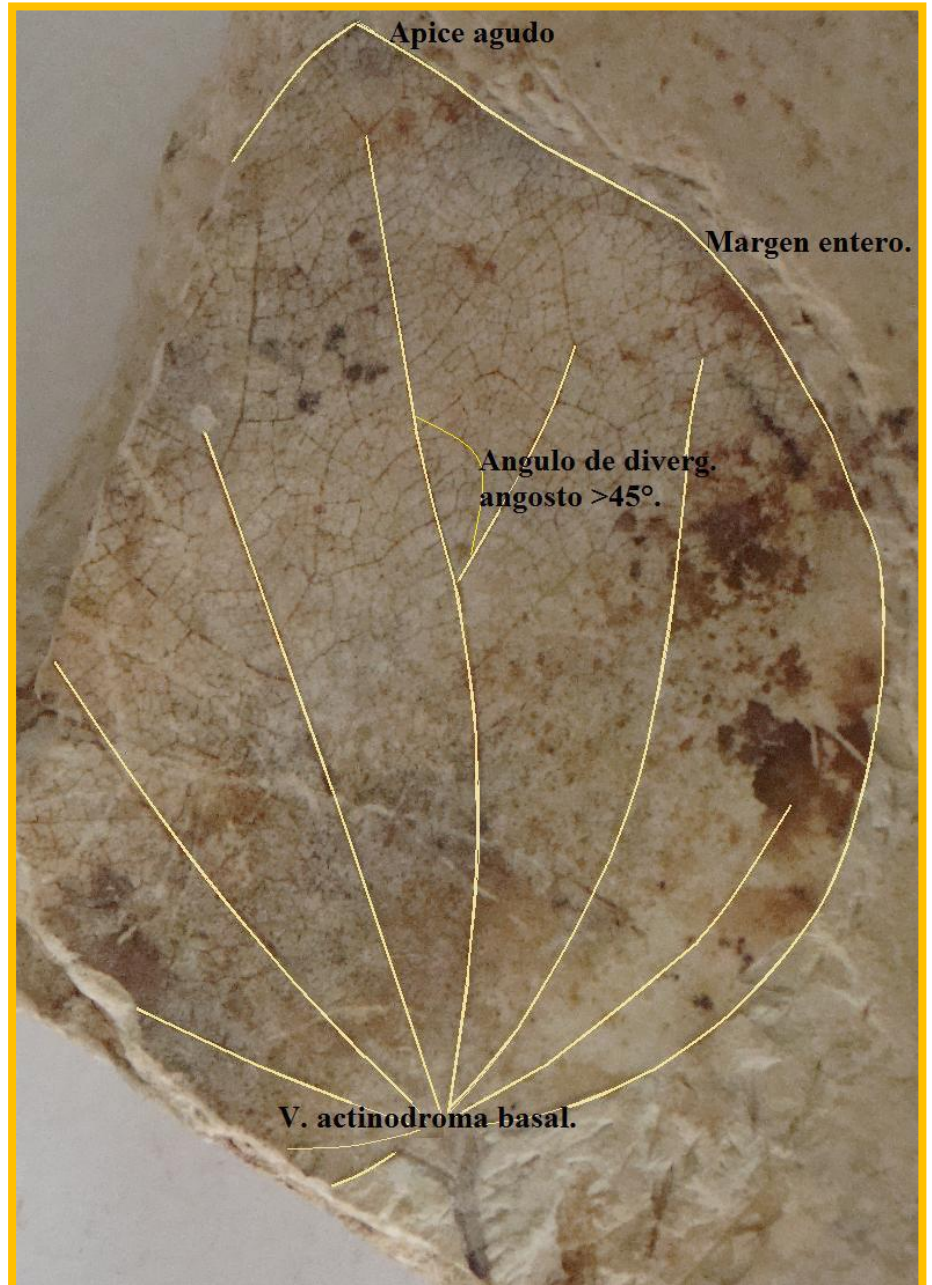


Fig. 20. Morfotipo ST-1696. En color amarillo, se resalta algunos caracteres considerados para describir morfológicamente al ejemplar.

ASIGNACIÓN DE FAMILIA

Por medio de la clave de Hickey y Wolfe (1975), se identifico que este fósil corresponde a la familia Salicaceae. Esta familia se caracteriza principalmente por la presencia de dientes salicoídes en el margen de la hoja cuando se presentan, y aunque este carácter no se presenta en el ejemplar, los demás rasgos morfológicos corresponden con la familia en las que se puede mencionar las siguientes: hoja ovada, margen entero, venación actinodroma basal que se forman de tres o mas nervaduras primarias, el ángulo de divergencia entre las venas secundarias que es menor a 45 grados, el modelo de la venación de tercer orden que es reticulada ortogonal entre otras.

La revisión de imágenes, bases de datos y consulta de ejemplares de herbario, en este caso del MEXU, permitió proponer que el ejemplar ST-1696 muy posiblemente pertenezca a una nueva especie del género *Populus*. Lo anterior se justifica con la obtención del fenograma correspondiente a ST-1696 y cuatro especies actuales, el cual se generó a través la matriz básica de datos de tipo binaria, constituida por 30 caracteres y 5 OTUS (Cuadro. 7).

Cuadro 7. Matriz básica de datos de tipo binaria correspondiente al ejemplar ST-1696, donde se observan las presencias y las ausencias de los caracteres del morfotipo y las especies actuales.

CARÁCTER	ESTADOS DE CARÁCTER	ST-1696	<i>Populus alba</i>	<i>Populus tremuloides</i>	<i>Populus fremontii</i>	<i>Populus grandietata</i>
Forma de la lámina solo en	simétrico	1	0	1	1	1
	asimétrico	0	1	0	0	0
Largo de la hoja	largo 3-5 cm.	0	1	1	0	0
	largo 6-8cm.	1	0	0	1	1
Ancho de la hoja	ancho 3-5 cm	0	1	1	0	0
	ancho 6-8 cm.	1	0	0	1	1
Forma del ápice	agudo	1	1	0	1	1
	acuminado	0	0	1	0	0
Forma de la base	redondeada	1	0	0	0	1
	cordada	0	1	1	1	0
Margen de la hoja	entero	1	1	0	0	0
	serrada	0	1	1	1	1
Espacio entre los dientes	regular	0	0	1	1	0
	irregular	0	1	0	0	1
Tipo de diente	salicoide	0	1	1	1	1
Desarrollo de la venacion	marginal	0	0	0	1	1
	reticulado	1	1	1	0	0
Nervadura primaria	mas de tres	1	1	0	0	0
Origen de la nervadura primaria	o.v engrosado	1	1	0	1	1
	ovenas no engrosado	0	0	1	0	0
Grosor de la nervadura	moderados 1.25-2%	0	0	1	0	1
	debil <1.25%	1	1	0	1	0
Angulo de divergencia de las venas	angosto <45°	1	1	0	0	0
	moderado 45°-65°	0	0	1	1	1
Variaciones en el angulo de divergencia de las venas	venas secundarias superiores mas obtusas que inferiores	0	0	1	0	1
	angulo de divergencia mas agudo o en un sitio de la hoja que en la otra	1	1	0	1	0
Resolucion del orden superior de venacion	orden superior de venacion formando un reticulo, el cual no permite distinguir ordenes de venacion.	0	0	0	1	0
	orden de venacion distintas	1	1	1	0	1
Venillas	sin venillas	0	0	1	1	0
	con venillas	1	1	0	0	1
	lineares	1	1	0	0	1
Ramificación de las venillas	una vez	1	1	0	0	1
	dos veces	0	0	0	0	1
Arreglo de las arcos de las venillas	aleatoria	1	1	1	1	0
	orientada	0	0	0	0	1
Forma de las areolas	triangular	1	1	0	0	1
	cuadrangular	1	1	0	0	1
	rectangular	1	0	0	0	1
	pentagonal	1	1	0	0	1
Tamaño de las areola	mediana 1-0.3 m	1	1	0	0	1

En el fenograma se observa la separación de las OTUS en dos grupos denominados A y B (Fig. 21). En el grupo A esta constituido por el morfotipo y la especie *Populus alba* (Fig. 22) así como *P. grandidentata* (Fig. 23), esta última separándose de grupo A.

El grupo B únicamente esta representado por *Populus tremuloides* (Fig. 24) y *P. fremontii* (Fig. 25) debido a que estas especies difiere en algunos caracteres que no están presentes tanto en el morfotipo como en las demás especies actuales.

El valor cofenético (r) obtenido para el fenograma fue de 0.92174, que señala buena robustez del método utilizado, indicando que el agrupamiento de las OTUS se debe a patrones bien definidos de variación y no al azar. Sin embargo, a pesar de que el valor cofenético es alto, la relación entre el ejemplar ST-1696 y *Populus alba* es pequeño pues presentan un coeficiente de similitud de 0.59 por lo que se separan entre sí.

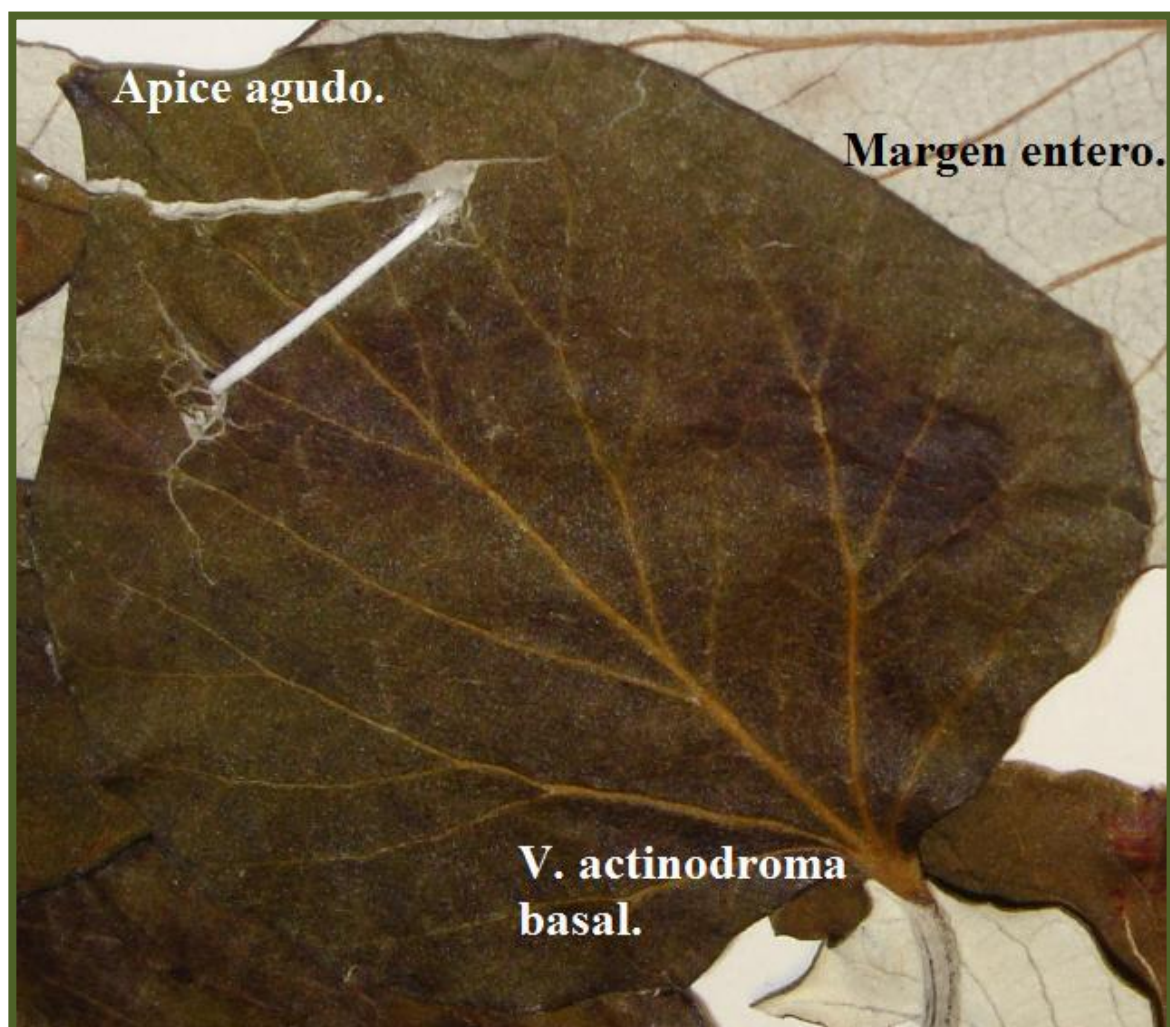


Fig. 22. *Populus alba*. Se indican los caracteres visibles de la hoja como el tipo de ápice, margen y venación. Nótese que esta especie no muestra dientes en su morfología a pesar de ser un carácter muy representativo de la familia.

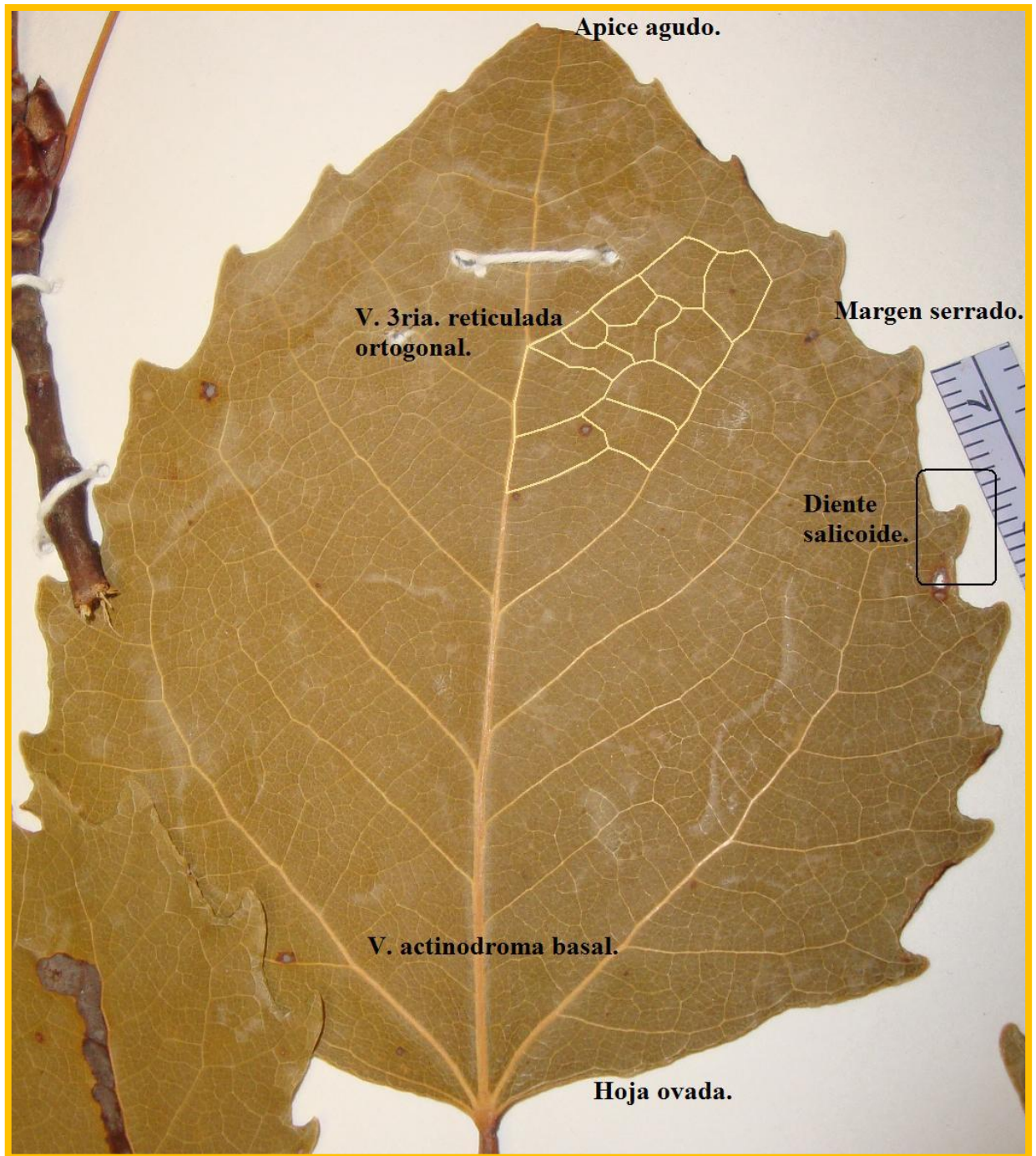


Fig. 23. *Populus grandidentata*. Se puede observar los dientes salicoídes así como la venación terciaria formando un retículo ortogonal.

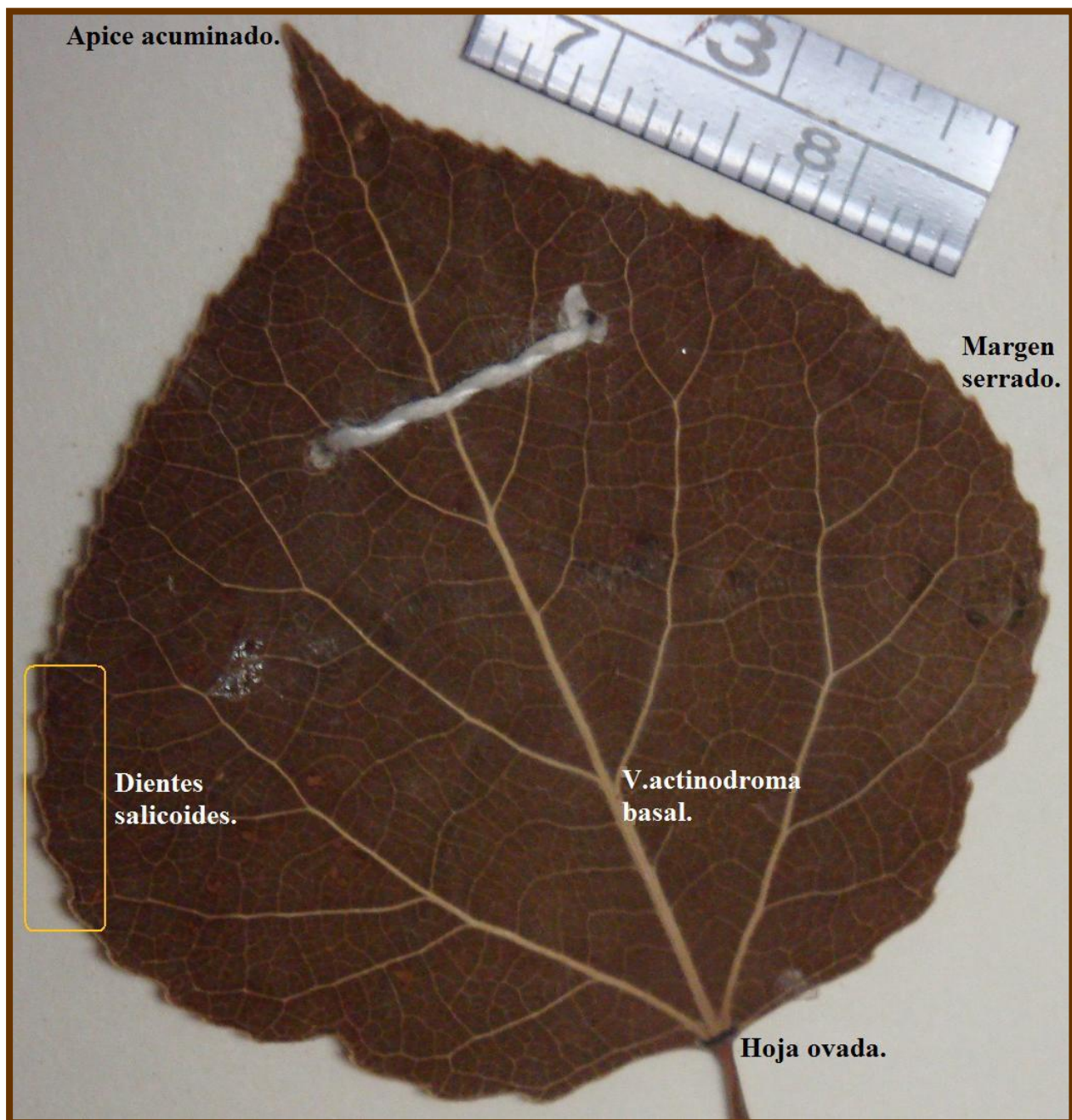


Fig. 24. *Populus tremuloides*. Se puede observar que el ápice es acuminado y que los dientes en esta especie son numerosos Su venación primaria diverge desde la base por lo que se considera una venación actinodroma basal.

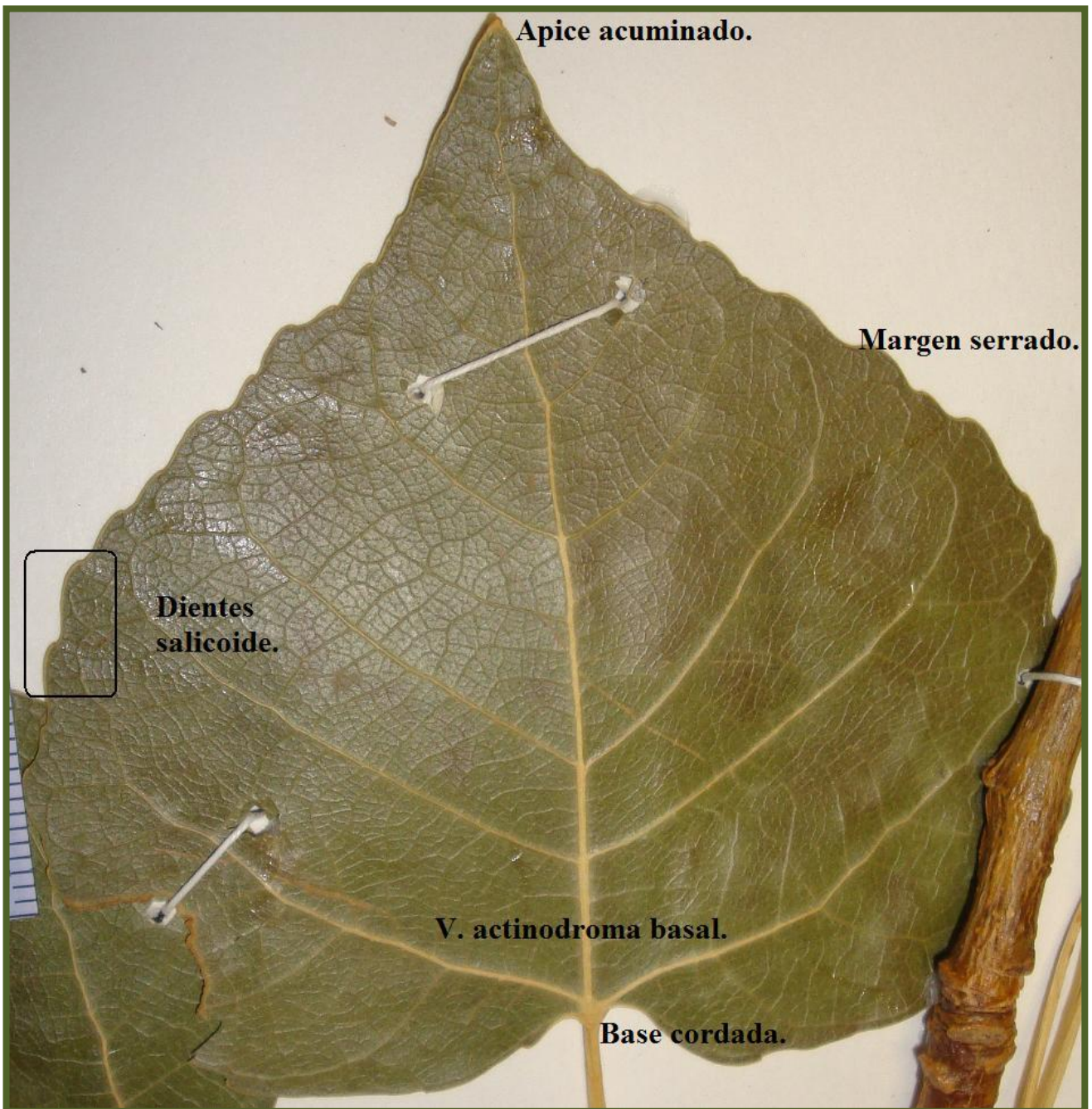


Fig. 25 *Populus fremontii*. Se indican algunos caracteres morfológicos para la creación de la matriz básica de datos de tipo binaria.

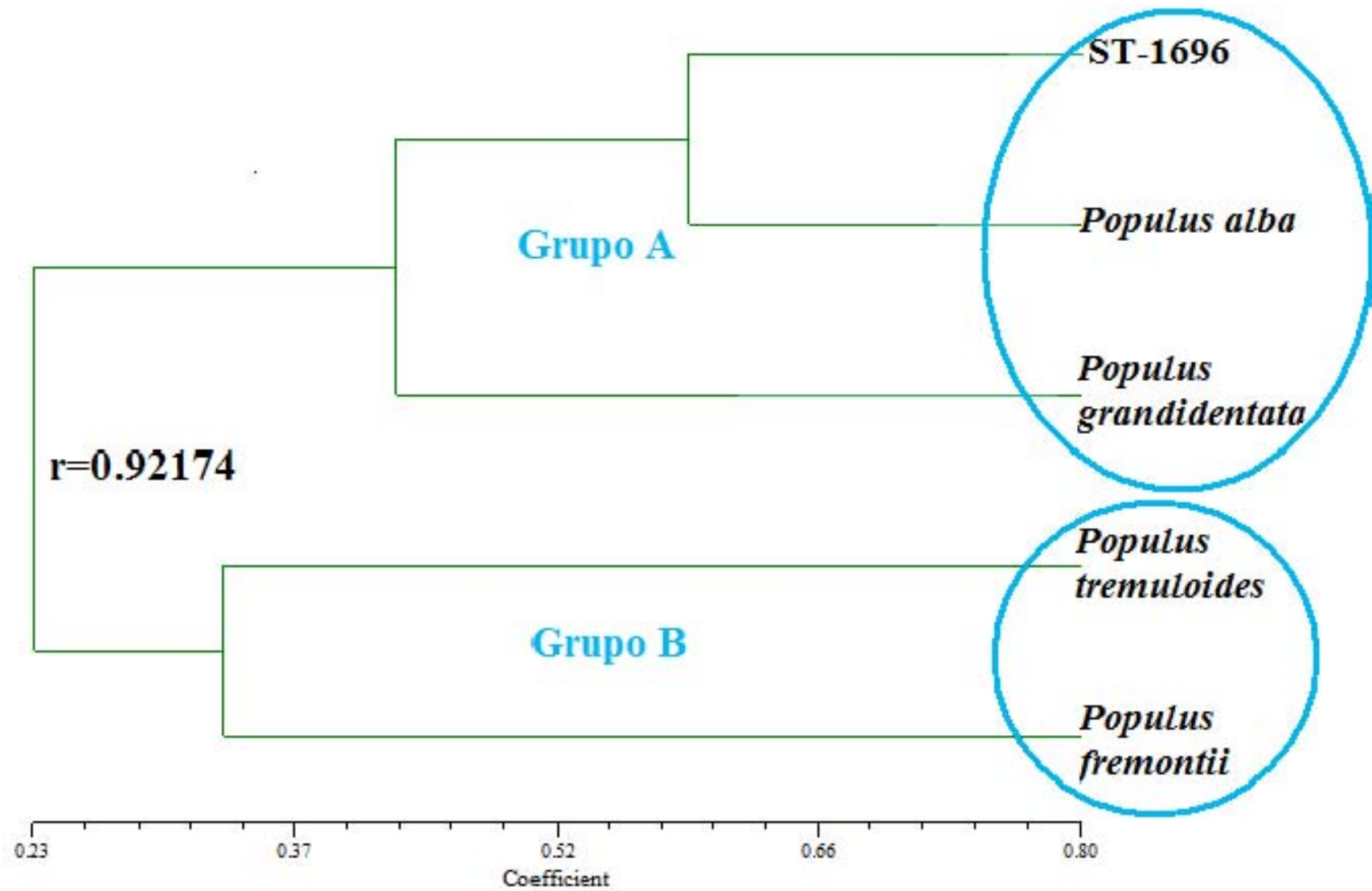


Fig. 21. En el fenograma perteneciente a ST-1696 se observa la agrupación de las especies actuales con respecto al ejemplar en estudio, donde *Populus alba* es la especie con la que mas se relaciona formando un subgrupo con un coeficiente de distancia de 0.59.

En el análisis de componentes principales se generó una gráfica en 3D, donde se puede observar el acomodo de dichas OTUS en el espacio, donde el morfotipo se agrupa con *Populus alba*, mientras que *P. grandidentata* se aleja de éstas. Lo mismo ocurre con *P. tremuloides* y *P. fremontii*, sin embargo, la lejanía es mayor en comparación con las especies anteriores debido a que estas conforman otro grupo (Fig. 26).

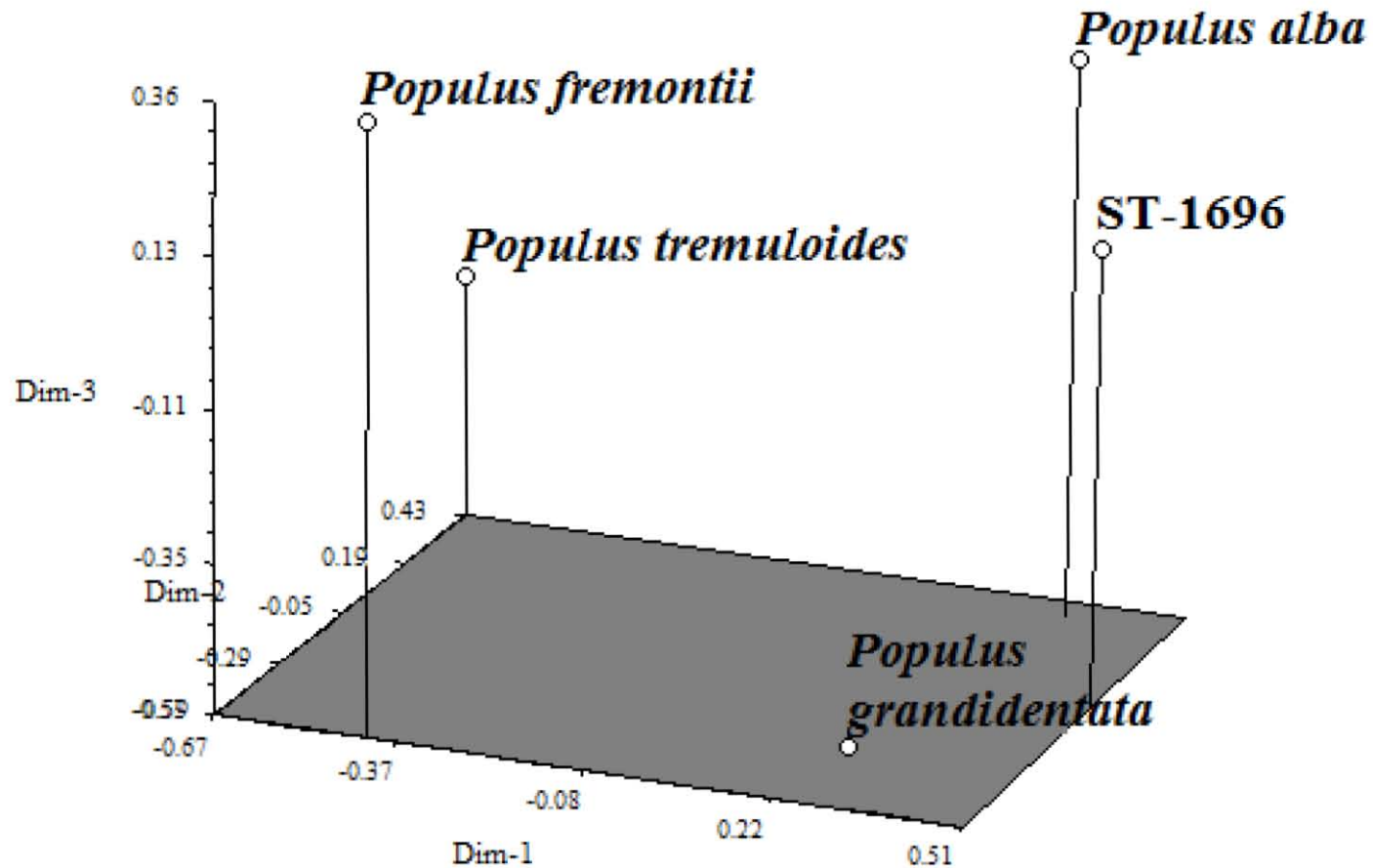


Fig. 26. Gráfica tridimensional perteneciente al ejemplar ST-1696 donde se puede observar que el agrupamiento de las OTUS corresponde al mismo que se generó en el fenograma.

La forma acuminada del ápice de la hoja, espacio regular entre los dientes, origen engrosada de la nervadura primaria, orden de venación distinguibles, una sola ramificación de las venillas y el arreglo aleatorio de la areolas, son los caracteres responsables del acomodamiento de las OTUS en el espacio y recaen en el primero y segundo componente ya que muestran los valores mas altos (Cuadro 8).

Cuadro 8. En la tabla de componentes se indica en negritas el peso absoluto que tiene cada estado de carácter. Se puede notar que recaen en el primero, segundo componente, siendo un valor promedio de 0.6 y 0.7.

CARACTERES	ESTADOS DE CRACTER	COMPONENTE 1	COMPONENTE 2	COMPONENTE 3	COMPONENTE 4
Forma de la lamina solo en la base	simétrico	0.2285	0.2655	0.2627	0.1801
	asimétrico	-0.0718	-0.4569	-0.1794	-0.3426
Longitud de la hoja	largo 3-5cm	0.3647	-0.5250	-0.3613	-0.1487
	largo 6-8cm	-0.0835	0.4298	0.4420	0.1934
Ancho de la hoja	ancho 3-5cm	0.3647	-0.5250	-0.3613	-0.1487
	ancho 6-8cm.	-0.0835	0.4298	0.4420	0.1934
Forma del ápice	agudo	-0.2774	0.0745	0.3603	-0.1154
	acuminado	0.6726	-0.1756	-0.3965	0.4419
Forma de la base	redondeada	-0.3248	0.4666	-0.0901	0.3444
	cordada	0.4818	-0.3832	0.1826	-0.2684
Margen	entero	-0.4368	-0.4813	0.0020	0.1690
	serrada	0.3355	0.0067	0.0949	-0.4416
Espacio entre los dientes	regular	0.7378	-0.0819	0.2531	0.1364
	irregular	-0.2050	0.1130	-0.3124	-0.4996
Tipo de diente	salicóide	0.3355	0.0067	0.0949	-0.4416
Desarrollo de la venacion	marginal	0.2421	0.5260	0.3254	-0.2016
	reticulado	-0.0046	-0.5047	-0.1516	0.1753
Nervadura primaria	Mas de tres	-0.4368	-0.4813	0.0020	0.1690
	Origen vena primaria engrosada	-0.2774	0.0745	0.3603	-0.1154
	Origen vena primaria no engrosada	0.6726	-0.1756	-0.3965	0.4419
Grosor de la nervadura primaria	Moderados 1.25-2%	0.4506	0.3488	-0.4497	0.0514
	Débil <1.25%	-0.1717	-0.3366	0.4944	0.0367

Ángulo de divergencia de la venas secundarias	Angosto <45°	-0.4368	-0.4813	0.0020	0.1690
	Moderado 45°-65°	0.5551	0.3255	0.1338	-0.1087
Variaciones en el ángulo de divergencia	Venas secundarias superiores mas obtusas que inferiores	0.4506	0.3488	-0.4497	0.0514
	Angulo de divergencia mas agudo en un sitio de la hoja que en otra	-0.1717	-0.3366	0.4944	0.0367
Resolución del orden superior de venación	Orden superior de venación	0.3944	0.0693	0.5411	-0.0075
	Orden de venacion distintas	0.7378	-0.0819	0.2531	0.1364
venillas	Sin venillas	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188
	Con venillas	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188
	lineares	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188
Ramificación de las venillas	Una vez	0.0441	0.6429	-0.3256	-0.1657
	Dos veces	0.1591	-0.3869	0.3055	0.0334
Arreglo de las areola	aleatoria	0.0441	0.6429	-0.3256	-0.1657
	orientada	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188
Forma de las areolas	triangular	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188
	cuadrangular	-0.3248	0.4666	-0.0901	0.3444
	rectangular	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188
	pentagonal	-0.5475	0.0359	-0.1333	-0.0188

Así mismo el cuadro 9 indica que la varianza acumulada, la cual recae en el tercer componente con un valor del 60.2760%.

Cuadro 9. Porcentajes de variación acumulada en el análisis de componentes principales de las especies: *Populus alba*, *Populus fremontii*, *Populus grandidentata*, *Populus tremuloides* y morfotipo ST-1696. El tercer componente acumula cerca del 60% del total de variación.

i	valor propio	porcentaje	acumulativo
1	6.89984686	27.7037	27.7037
2	4.67944487	18.7885	46.4923
3	3.43295939	13.7838	60.2760
4	1.90746949	7.6587	67.9348
5	1.77287027	7.1183	75.0531

Los resultados obtenidos permiten aseverar que el ejemplar ST-1696 es una especie independiente de *Populus alba* a pesar de que se relacionan con un coeficiente de similitud de 0.59 por lo que muy probablemente se trate de una especie nueva, sin embargo se sugiere comparar el ejemplar en estudio con el resto de las especies que conforman el género, aproximadamente 36 especies para saber con certeza si se trata de una especie nueva.

CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados los elementos morfológicos cualitativos y cuantitativos que constituyen la estructura de los tres ejemplares fósiles, fueron primordiales en la elaboración de esta tesis para lograr identificar el nivel taxonómico posible de cada uno de ellos, y aportar información al listado florístico de la paleocomunidad. Se incrementaron a 15 las familias registradas en los sedimentos pliocénicos de SMA.

El ejemplar ST-157 corresponde a la especie *Polygonum zuccarini* ya que aunque ésta puede establecerse en diversos tipos de hábitat generalmente prolifera en ambientes húmedos por lo que estudios previos identificaron que durante el Plioceno en la localidad de Sanctórum existió la presencia de un cuerpo de agua (paleolago), lo que originó que las condiciones ambientales fueran las necesarias para su crecimiento y proliferación, Sin embargo, en la actualidad estas condiciones han variado respecto al tiempo, y se registra un clima seco semiárido para la localidad; este evento muy probablemente imposibilitó el desarrollo de *Polygonum zuccarini* y por tanto provocó su desaparición.

Se identificó hasta nivel genérico el ejemplar fósil ST-1413, proponiendo su relación con *Hernandia*, que también se adiciona en el listado florístico existente para Hidalgo, no se asignó especie debido a que existen muy pocos ejemplares en el herbario.

Se anexan dos registros nuevos de familias Polygonaceae y Hernandiaceae al listado de fósiles de la Formación Atotonilco el Grande, para la localidad de Sanctórum.

Por ultimo, el ejemplar ST-1696 se consideró muy probablemente como una especie nueva para dicha localidad, sin embargo se recomienda compararlo con el resto de las demás especies que conforman el género para confirmar lo propuesto.

Los tres ejemplares fósiles no muestran señal de transporte ya que no se están disgregados ni muy fragmentados. Se puede decir que el enterramiento de éstos se originó en el mismo sitio de colecta y por tanto se consideran autóctonos.

LITERATURA CONSULTADA

Aguilar-Arellano F. J. y E. L. Ortiz-Martínez. 2000. Estudio paleoecológico de la flora pliocénica de Santa María Amajac, Hidalgo: inferencia del paleoclima y de la paleocomunidad. Tesis profesional (Biólogo). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.

Aguilar-Arellano F. J. y M. P. Velasco de León. 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., M. P. Velasco de León, A. Silva-Pineda, R. Salvador-Flores y F. Beltrán Romero. 2005. Origen y características geológicas del paleolago de Amajac, Hidalgo. Revista Mexicana de las Ciencias Geológicas. 22: 2. 99-211.

Becerra-Martínez, C. 2003. Estudio taxonómico de las aletas impares de los Goodeidos fósiles procedentes de Sanctórum (Formación Atotonilco El Grande), Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Tesis de licenciatura. México, D.F.

Beltrán-Romero F. y P. Luna-Gómez. 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.

Berry, E W. 1936. Miocene plants from Colombia, South America. Bulletin of the Torrey Botanical Club. 63: 2 53-66.

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 Zacualtipan (Mioceno Tardío), estado de Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Tesis de Maestría. México. D.F.

Cevallos-Ferriz, R. S. y J. L. Ramírez, Garduño. 1998. Implicaciones de los nuevos registros de fósiles de plantas con flor en México en la historia de su vegetación. *Revista Ciencias* 52: 46-57.

Cevallos-Ferriz, R. S. y J. L. Ramírez-Garduño. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Bosquejo de la evolución florística. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. 87-104.

Demant, A. 1982. Interpretación neodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. 5: 217-222.

Estrada-Millán, D. M. 2008. Estudio paleobotánico del género *Quercus* en el estado de Jalisco empleando arquitectura foliar (resumen), en XI Congreso Nacional de Paleontología, Juriquilla, Querétaro (sin publicar).

Ferrari, L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 50: 80-92.

Field T. S., N.C. Arens y T.E. Dawson. 2003. The ancestral ecology of angiosperms: emerging perspectives from extant basal lineages. *International Journal of Plant Sciences*. 164: 129-142.

Flores-Camargo, D. G., M. P. Velasco de León y E. Naranjo-García. 2009. Estudio taxonómico y paleoecológico de moluscos de agua dulce en el Plioceno del Estado de Hidalgo, México. En: (Luca Ferrari Pedraglio y Francisco J. Vega). *Memorias del XI Congreso Nacional de Paleontología, Juriquilla, Qro.* (sin publicar).

Freudenberg, W. 1992. Die säugetierfauna des Pliocäns und Postpliocäns von Mexiko: Mastodonten und Elefanten. Geologische und palaeontologische adhandlungen. 14. 103-176.

Fuentes-Guerra, E. P. y M. P. Velasco de León. 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).

García E., 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 5ª ed. Ed. Offset Larrios, México, D.F. 72-73 y 118-121.

Geyne, A. y C. Fries. 1963. Geología y yacimientos minerales del Distrito de Pachuca, Real del monte, Edo. de Hidalgo, México. Consejo de Recursos Naturales No Renovables. Publicación 5E. 220.

Hernández-Castillo, G. R. y S. R. S. Cevallos-Ferriz. 1999. Reproductive and vegetative organs with affinities to Haloragaceae from the Upper Cretaceous Huepac Chert Locality of Sonora, Mexico. American Journal of Botany. 86: 1717-1734.

Hickey, L. J. 1973. Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. American Journal of Botany. 60: 1. 17-33.

Hickey, L. J. y J. A. Wolfe. 1975. The bases of Angiosperm Phylogeny-vegetative morphology. Annals of the Missouri Botanical Garden. 62: 3. 538-589.

Martínez-Martínez P. y M. P. Velasco de León 2009. Paleobiogeografía de tres géneros de plantas acuáticas fósiles (*Thypha*, *Scirpus* y *Nymphaea*). En: Luca Ferrari Pedraglio y Francisco J. Vega. Memorias del XI Congreso Nacional de Paleontología, Juriquilla, Qro. (sin publicar).

Ortíz-Martínez, E. L. y M. P. Velasco de León. 2000. Estudio de taxonomía numérica de hojas fósiles de Santa María Amajac del Plioceno del Estado de Hidalgo. En: López

Oliva J. G. (eds.). VII Congreso Nacional de Paleontología y I Simposio geológico en el Noreste de México. Nuevo León. Libro de Resúmenes (sin publicar).

Ortíz-Martínez, E. L. 2007. Estudio Taxonómico-Ecológico de tres géneros de angiospermas fósiles de la Región de Santa María Amajac, Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Tesis de Maestría. México, D.F.

Ortiz-Martínez E. y M. P. Velasco de León 2009. Efecto del cambio climático sobre la distribución de angiospermas fósiles en la región de Santa María Amajac, Hidalgo. En: (Luca Ferrari Pedraglio y Francisco J. Vega). Memorias del XI Congreso Nacional de Paleontología, Juriquilla, Qro. (sin publicar).

Ramírez-Garduño, J. L., M. P. Velasco de León, S.R.S Cevallos-Ferriz y A. Silva-Pineda. 1998. Leaves of *Karwinskia axamilpense* n. sp. (Rhamnaceae) from Oligocene sediments, near Tepexi de Rodríguez, Puebla. Canadian Journal of Botany. 76: 3. 410-419.

Reyes-Torres, A., S. D. Vázquez-Rodríguez, A. L. Carreño y M. P. Velasco de León 2002. Ostracodos 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).

Rodríguez de la Rosa R. A. y S. R. S. Cevallos-Ferriz 1994. Upper Cretaceous zingiberalean fruits with in situ seeds from southeast Coahuila, México. International Journal Plants Science. 155: 786-805.

Rubilar, R. A. 2007., Paleontología (GL34A). Universidad de Chile. Departamento de Geología. Paleontología en Chile. 1-4.

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.

Scott R. y R. H. Marrs. 1984. Impact of Japanese Knotweed and methods of control. *Aspects of Applied Biology*. 5: 291-296.

Sneath, P.H.A. y Sokal, R.R., 1973. *Numerical Taxonomy*. Freeman, San Francisco, CA.

Soltis P. y Soltis D. 2004. The origin and diversification of angiosperms, *American Journal of Botany*. 91:10. 1614-1626.

Solórzano-Aguilera, A. 2007. Descripción de los ambystomas del paleolago de Santa María Amajac. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Tesis de Licenciatura. México, D.F.

Velasco de León, M. P. 1999. Estudio paleoecológico de una comunidad de Terciario en el estado de Puebla. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Tesis Doctoral. México, D.F.

Velasco de León, M. P. y S. Romero-Rangel. 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., J. Arellano-Gil, A. Silva-Pineda y S. Y. Guarderos. 2007. Aspectos Geológicos y Paleontológicos. En: Luna I., Morrone J. J. y Espinosa D. (eds). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana, México, D.F. (sin publicar).

Villarello, J. y E. Bosé. 1902. Criaderos de fierro de la Hacienda de Vaquerías en el estado de Hidalgo. *Boletín del Instituto Geológico Mexicano*. 16. 15-44.

Willis, K.J. y J.C. McElwain. 2002. The evolution of plants. *Annals of Botany*. 90: 878-679.

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.

http://www.regmurcia.com/servlet/s.S1?sit=c,365,m,108&r=ReP2169DETALLE_REPORTAJESPADRE (consultado 8 Junio 2010)

www.mexican-embassy.org.yu/Images/Mexico_mapa.gif (consultado 23 Junio 2010)