



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

***INFERENCIA DEL PALEOCLIMA DE LA FORMACIÓN
MIOCÉNICA EN IXTAPA, CHIAPAS, UTILIZANDO LA
FISONOMÍA FOLIAR DE LOS FÓSILES***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

Denise Viridiana Hernández Villalva

DIRECTOR DE TESIS: Dra. Laura Calvillo Canadell





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.

ÍNDICE

RESUMEN	4
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Relación clima-vegetación.....	6
1.2. Estudio del paleoclima con la plantas fósiles.....	8
1.3. Trabajos Paleobotánicos del Mioceno en Mexico.....	10
II.OBJETIVO	11
III. HIPÓTESIS	11
IV.MATERIALES Y MÉTODOS	
5.1. Sitio de estudio	12
5.2. Colecta del material fósil	16
5.3. Análisis estadístico	17
V. RESULTADOS	21
a) Análisis con CLAM.....	21
b) Abundancia de tipos de morfología en fósiles de Ixtapa, Chiapas.....	22
c) Descripciones	26
VI.DISCUSIÓN	37
VII. LITERATURA CITADA	46

RESUMEN

La relación que existe entre la vegetación actual y el clima representa un proxy paleoclimático, con el cual se puede hacer actualismo biológico. Las hojas son los órganos más susceptibles e importantes de las plantas, que responden a las exigencias del medio en el que se establecen. Es así como surgen distintas inquietudes al respecto, realizándose estudios para demostrar la fuerte correlación entre el clima, los genes y el fenotipo; esta correlación se ve reflejada en la fisonomía de la hoja. El objetivo de este trabajo es inferir los parámetros climáticos bajo los cuales se desarrolló la flora miocénica de Ixtapa, Chiapas. Con base en características foliares, se reconocieron 126 morfotipos que fueron analizados con la metodología CLAMP, que permite comparar a la flora fósil con 173 sitios actuales. El estudio realizado sugiere que en Ixtapa, Chiapas, durante el Mioceno Medio tardío (12.53 a 15.25 millones de años), se presentó un clima semifrío húmedo. Este resultado, comparado con los climas que se han descrito en la actualidad de México, sugiere que en la región probablemente se desarrolló un Bosque Mesófilo de Montaña. La fisonomía predominante de las hojas fósiles incluye características como el tamaño micrófilo, margen entero, base no lobadas y ápice agudo. Dentro de los 126 morfotipos distintos se describieron dos ejemplares relacionados con las familias Moraceae y Sapindaceae. El resto de los morfotipos fósiles, aún no identificados, sugieren por su morfología, que representan un tipo de vegetación estacional tropical con la alternancia de periodos húmedos y secos. Este tipo de estudios representan una oportunidad para entender la relación de los escenarios climático-ambientales como

seleccionadores de la vegetación. Ejemplo de esto es la gran diversidad florística de Chiapas, producto de sus diferentes ambientes, climas y la vegetación, que muestran una relación estrecha con la fisiografía heterogénea; esta dualidad puede observarse tanto en la actualidad cómo en el pasado.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Relación clima-vegetación.- Según Enriqueta García (1986) el clima es el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado. Existen factores como la latitud, altitud, relieve, distribución de tierras, aguas y corrientes marinas, que actúan en diversas combinaciones e intensidades, originando así distintos tipos de clima. La condición de su relación para llamarse clima, es que se presenta de manera habitual y constante basados en registros de condiciones atmosféricas de más de 30 años en un sitio dado.

Cada tipo de clima está definido principalmente por ciertos rangos de temperatura y humedad (García, 1988). El clima desempeña un papel primordial en la distribución de los tipos de vegetación. Los factores climáticos como luz, temperatura, humedad y viento, determinan un medio particular en el cual las plantas se esfuerzan para adaptarse (Huetz, 2005).

Los requerimientos ambientales que tienen las plantas se ven reflejados en ellas mismas a través de su morfología y anatomía. También es necesario considerar los contrastes topográficos ya que condicionan comunidades y especies vegetales que se instalan en cada espacio, sus posibilidades de aprovechamiento, (García,1988), su densidad y cobertura (Florinsky y Kuryakova 1996) y finalmente su evolución a lo largo del tiempo. Por lo general la bibliografía menciona la relación estrecha, entre las características y evolución del clima con la distribución y la dinámica vegetal, (Fang *et al.* 2001), otros más profundizan sobre la vinculación de la variabilidad vegetal con la precipitación y el distinto sedimento y

el tipo de suelo en el cuál se desarrollan, (Nicholson y Farra 1994). De los diversos enfoques con los que se estudia la vegetación se puede destacar que factores, como el clima y la topografía, influyen en el crecimiento y la dinámica de la distribución vegetal. Otro ejemplo es la temperatura; factor que suele limitar las áreas de distribución de diferentes especies e incluso de algunas familias de plantas (Huetz 2005). Para cada especie existe un máximo y un mínimo de temperatura más allá de los cuales no puede subsistir.

En la actualidad se puede documentar que todos los órganos que presentan las plantas son importantes y cumplen distintas funciones sin embargo, la hoja es fundamental para la sobrevivencia de la planta ya que se encarga de dos principales funciones, la producción de alimento y el intercambio de gases con el medio externo, gracias a la fotosíntesis (Huetz, 2005). La morfología de las plantas representa plasticidad en su fenotipo ligada a la información genética que contienen, su fenotipo, muestra la adaptación que sus posibilidades genéticas ofrecen ante el medio ambiente que lo rodea, (Spicer, 2009). En esta interacción morfológica-genética, el clima influye directamente en los rasgos fisonómicos que determinan la hoja, buscando establecer una eficiente obtención de recursos del ambiente (Spicer, 2009). Entonces, el fenotipo de una planta refleja caracteres morfoanatómicos que permiten sobrevivir en un ambiente determinado. El entendimiento de esta variación se puede mostrar a partir de la correlación del clima con ajustes a la fisonomía foliar (Wolfe, 1990, 1993; Kovack y Spicer, 1995; Wolfe y Spicer, 1999; Spicer 1999; 2000; 2007; 2007; 2008; Spicer et al., 2004).

Debido a la importancia de la relación planta-clima se han realizado diversos estudios. Por ejemplo, Raunkaier (1934) registró la correlación entre el tamaño de las hojas, con la distribución de las especies y el clima, además propuso una clasificación de hojas con base en el tamaño distinto que estas pueden presentar . En 1915 y 1916 Bailey y Sinnott mostraron algunos caracteres de hojas de angiospermas, los cuales eran claros representantes de su clima. Un ejemplo de esta relación carácter-clima se muestran en la tabla 1.

Tabla. 1. Relación de los caracteres morfológicos foliares con tipos de clima (Raunkaier, 1934; Bailey y Sinnott ,1916)

Carácter Morfológico de la Hoja	Tipo de Clima
Margen dentado	Climas fríos
Margen entero	Climas cálido y húmedo
Tamaño de la lámina foliar grande	Climas cálido y húmedo
Tamaño de la lámina foliar pequeña	Climas fríos con poca humedad o secos
Forma ovobada	Climas cálidos con poca humedad
Forma elíptica	Climas húmedos
Ápice agudo	Climas cálidos y húmedos

1.2. Estudio del paleoclima con la plantas fósiles.- El clima del pasado, (paleoclima) se puede reconstruir mediante la interpretación del registro fósil y la combinación de diferentes tipos de registros geológicos, ya sea de diatomeas, foraminíferos, corales, núcleos de hielo, anillos de crecimiento de árboles, sedimentos, polen, entre otros (Melendez 1999). Las transiciones temporales entre los diferentes tipos de climas pueden ocurrir a través de largos periodos. Para entender estas variaciones climáticas hay que estudiar estos variados registros orgánicos/inorgánicos en distintas escalas temporales y geográficas. La

importancia de esta tarea interdisciplinaria obedece a la estrecha relación de los sistemas bióticos y abióticos, que en conjunto son la clave para la comprensión del pasado.

En 1970 se propuso una herramienta robusta y fundamental, como son los métodos de estimaciones estadísticas, para la predicción del clima y la ecología del pasado. Con base en la aplicación de los análisis estadísticos de regresión se han implementado métodos que analizan la fisonomía de la vegetación actual, (especialmente aquellos enfocados en los que emplean la morfología de las hojas) y su relación con parámetros climáticos (Spicer, 2009). De aquí se deriva la importancia sobre los caracteres foliares que ofrecen potencial para predecir las posibles condiciones bajo las que crecían las organismos del pasado. Es así cómo el desarrollo de este conjunto de estudios, crea bajo el trabajo de Jack Wolfe y Spicer el método de análisis climático llamado CLAMP (Climate Leaf Analysis Multivariate Program) (Wolfe, 1990, 1993; Kovach and Spicer, 1995; Wolfe and Spicer, 1999; Spicer, 1999; 2000; 2007; 2008; Spicer et al., 2004). El método estadístico usado en CLAMP es el Análisis de Correspondencia Canónico (CANOCO) (Ter Braak, 1986, Spicer 2010). Es un método de ordenación directo, usado en la ecología de plantas, donde se requiere de ordenar muestras, en este caso sitios de vegetación, basado en un conjunto de atributos (7 caracteres con 31 estados de carácter para las hojas). El Análisis de Correspondencia Canónica (CANOCO) y una ecuación de regresión múltiple desarrollada por Herman y Spicer 2004, estima ocho parámetros que describen el paleoclima del sitio (*i.e.*, la temperatura media anual, la temperatura media del mes más cálido, la

temperatura media del mes más frío, el número de meses de la estación de crecimiento, la precipitación media durante la estación de crecimiento, la precipitación media mensual durante la estación de crecimiento, la precipitación de los tres meses consecutivos más húmedos, y la precipitación de los tres meses consecutivos más secos). CLAMP se ha aplicado eficazmente a las floras fósiles de hasta hace 100 millones de años (Herman y Spicer, 1996), pero también es fiable para muestras de finales del Neogeno (Wolfe, 1995; Spicer, 1999) y el Cuaternario (Spicer 2009).

Trabajos Paleobotánicos del Mioceno en Mexico.- En México, se ha estudiado parte de la flora fósil del Mioceno que se encuentra representada por distintos órganos de diferentes plantas como:

-Las flores de Simojovel de Allende, Chiapas (Calvillo-Canadell *et. al.* 2010).

-Las maderas de Panótlá Tlaxcala y Las Guacamayas (Chiapas), por Castañeda Posadas *et. al.*, (2009), en esta investigación permitió reconocer la presencia de condiciones cálido-húmedas en ambas localidades, en donde aparentemente se desarrollaron selvas semejantes a las perennifolias actuales.

- Estudio de hojas fósiles (Hernández-Demian, 2010), en San Esteban Tizatlán, Tlaxcala, de donde se confirma la presencia de plantas de las familias Anacardiaceae, Rhamnaceae y del género *Lonchocarpus* (Leguminosae).. También se han colectado hojas fósiles en la localidad de Ixtapa, Chiapas que incluyen a plantas de las familias Myrtaceae, Dilleniaceae y Leguminosae (Peralta-Medina 2010) y se ha interpretado que estas familias se presentaban en una vegetación

tropical (cálido húmedo) aunque no hay evidencia más amplia y contundente que respalde esta aseveración.

- Estudios palinológicos en la parte Norte de Chiapas se realizaron estudios por Rzedowski, (1993) en los que se reporta polen para los géneros *Picea*, *Pinus* y *Quercus*, registrándose también microsporas de muchos otros géneros, en su mayoría propios de la vegetación de climas templados y fríos (Rzedowski 1993).

II. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es inferir el paleoclima de la formación Miocénica Ixtapa, Chiapas, a partir de la fisonomía foliar fósil. Asimismo, describir la arquitectura foliar de dos ejemplares bien preservados de hojas fósiles .

III. HIPÓTESIS

Los estudios geológicos y taxonómicos sugieren que la Formación Ixtapa, Chiapas, se depositó bajo un clima predominantemente cálido húmedo (Martínez, 1992; Ferrusquía, 1996); así como las hojas fósiles recolectadas y sus características morfológicas con margen entero y lámina micrófila, permiten anticipar que el paleoclima cálido y húmedo se afirma.

IV. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Sitio de Estudio.- El área del Municipio de Ixtapa, se encuentra en la región central del estado de Chiapas, entre los 16°45' - 16°55' N y los 92°50' -93°00' W, a unos 28 km de Tuxtla Gutiérrez (Ferrusquía, 1996). El área de estudio corresponde a la porción sudoccidental de la Provincia Sierras Plegadas Norteñas y en ellas se conforma la subprovincia de la depresión de Ixtapa. La forma terrestre dominante es la planicie, a la que se le designa con el nombre Meseta Ixtapa, que se sitúa entre los 600 y 1200 m s.n.m. El municipio Ixtapa forma parte de las regiones fisiográficas de los Altos de Chiapas y la Depresión Central (Ferrusquía,, 1996) (Figura 1).

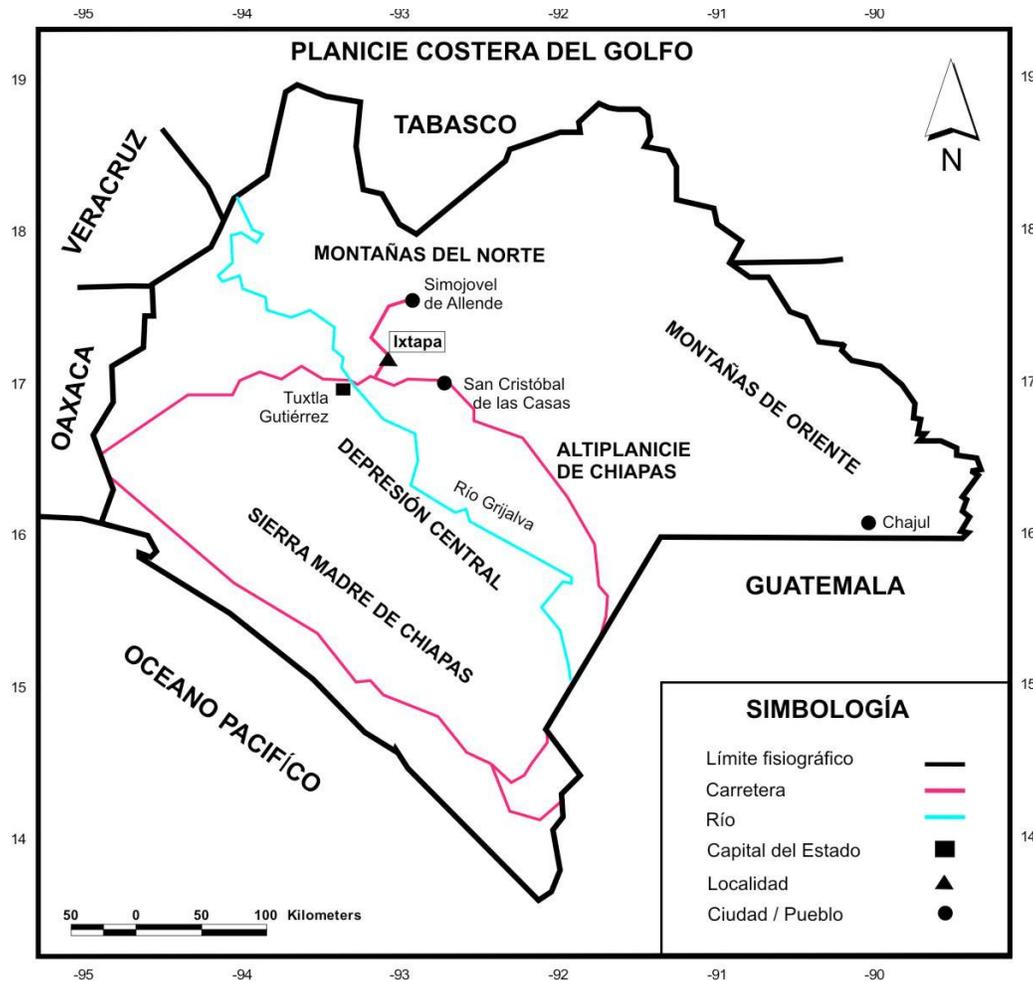


Figura 1. Mapa del estado de Chiapas, mostrando la ubicación de Ixtapa (Peralta, 2009).

El clima predominante es Cf (m) (cálido subhúmedo con lluvias en verano) convirtiéndose en semicálido en altitudes mayores; en la cabecera municipal la temperatura media anual es de 21.5 °C y presenta una precipitación pluvial acumulativa anual de 1,273 mm..

La mayor parte del Municipio Ixtapa está cubierta por un bosque templado y tropical estacional, estos se ven afectados por actividad de la agricultura, la construcción de carreteras y asentamientos urbanos .

La interpretación geológico-ambiental de la Formación Ixtapa para el Mioceno Medio Tardío muestra variaciones volcaniclásticas y epiclásticas que indican una sedimentación continental en ambientes fluviolacustres, de energía baja y gran aporte de sedimentos inmaduros. En un estudio radioisotópico de K-Ar de la localidad con muestras líticas (de las cuales se extrajeron minerales aislados, biotita y plagioclasa), se obtuvieron edades que coloca a la Formación Ixtapa en un lapso de la parte Tardía del Mioceno Medio y la temprana del Mioceno Tardío, hace aproximadamente 12.53 a 15.25 ± 0.35 millones de años (Ferrusquía, 1996).

Los análisis hechos en el sitio de estudio mostraron una compleja historia geológica que va desde el Cretácico al Cenozoico temprano, presentándose un ambiente primariamente marino epicontinental que incluye zonas de litoral y que transita hacia secuencias que indican ambientes continentales. La presencia de dinoquistes y polen de mangle en algunos estratos delgados de esta unidad indican la persistencia efímera de un ambiente transicional lagunar en un marco continental (Martínez, 1992). La presencia de abundantes interestratos de tobas, denotan actividad volcánica silícica explosiva cercana al área (Ferrusquía, 1996). En el trabajo *Contribución al Conocimiento Geológico de Chiapas*, (Ferrusquía Villafaranca, 1996) se mencionan aspectos de la actividad tectónica de la región, destacándose que para el inicio de la parte tardía del Mioceno Medio, se dio un levantamiento regional, que se relaciona con la formación de un relieve abrupto sujeto a alta erosión. Este proceso disectó la formación y expuso a la secuencia Terciaria de Ixtapa. La Formación Ixtapa se encuentra sobreyaciendo al grupo Río

Hondo, de edad Mioceno Medio e infrayaciendo a la Formación Punta de Llano del Plioceno Superior-Pleistoceno (Ferrusquía, 1996, Peralta, 2009) (Figura 2).

Terciario	Plioceno Superior-Pleistoceno	Fm. Punta de Llano
	Mioceno Medio-Tardío	Fm. Ixtapa Grupo Río Hondo (Conglomerado Zapotillo y Lutita Zapotal Viejo)
	Eoceno Medio	Fm. San Juan
	Paleoceno	Fm. Soyaló
Cretácico	Albiano-Santoniano	Fm. Angostura

Figura 2. Contexto Geológico de la Formación Ixtapa (Peralta, 2009).

Se ha sugerido que México tenía en aquel momento su superficie una estructura continental expuesta, con forma de “semipenínsula” en dónde cadenas montañosas se extendían a lo largo de sus flancos Este y Oeste, (Cevallos-Ferriz y González-Torres, 2005). En el Este se levantaba la Sierra Madre Oriental, al tiempo que había el retroceso de aguas del Golfo de México; del lado Oeste, se desarrolló la Sierra Madre Occidental. En la parte central de México comenzaba la formación de la Faja Volcánica Transmexicana y en la parte sur se comenzó a formar la Sierra Madre del Sur (Cevallos-Ferriz y González-Torres, 2005). Cuando México iba formando su alta heterogeneidad fisiográfica actual no se encontraban

unidas América del Norte y América del Sur, por lo que no existía un muro continental que interrumpiera la circulación y conexión entre los océanos Atlántico y Golfo- Pacífico (Cevallos y González, 2005).

4.2. Colecta del material fósil.- El material fósil foliar fue recolectado durante seis visitas realizadas a Ixtapa, Chiapas, desde el 2006 hasta el 2011. Este material se llevó al laboratorio de Paleobotánica del Instituto de Geología (UNAM), para clasificar y limpiar. Los fósiles que se eligieron para el análisis de CLAMP fueron aquellos que presentaron mejor preservación y en los que los se presentaran completos los caracteres foliares. Para su limpieza se utilizó un percutor (*Dremel® 290-01*) y una sierra de disco de diamante (*Buehler® modelo isomet*), con el objetivo de disminuir el volumen del sedimento y observar mejor los caracteres foliares. Para observar los caracteres morfológicos de los fósiles, se utilizaron microscopios estereoscópicos Karl Zeiss Stemi DV4, estos caracteres se midieron y se esquematizaron.

De un total de 7100 ejemplares se registraron 126 morfotipos, elegidos por tener los caracteres necesarios que requieren para desarrollar la metodología del CLAMP diferenciados entre todos los ejemplares fósiles por sus caracteres establecidos en CLAMP ,como la forma de la hoja, ápice, base, margen, entre otros, (Wolf, 1993) (Anexo 1). Para los ejemplares que presentaron dificultades para establecer límites entre morfotipos, debido a que morfológicamente eran similares los ejemplares pero al observarlos al microscopio se podía observar una distinta arquitectura folia, por ello se utilizaron criterios del Manual de Arquitectura Foliar (Leaf Architecture Working Group, 1999) para establecer distintos

morfotipos objetivamente . Cada ejemplar fue fotografiado con una cámara modelo *Sony® Cyber-Shot D500* y una *Nikon D5100*. De los 120 morfotipos se eligieron dos ejemplares para describir su arquitectura foliar.

4.3. Análisis estadístico.- Para el estudio Paleoclimático de la localidad de Ixtapa, Chiapas, se utilizó la metodología de CLAMP, (Wolfe, 1990, 1993; Kovach and Spicer, 1995; Wolfe and Spicer, 1999; Spicer, 1999; 2000; 2007; 2008; Spicer et al., 2004). En las recientes versiones de CLAMP se cuenta con una base de datos meteorológicos y morfológicos climáticos de comunidades vegetales, actuales, principalmente del Hemisferio Norte. A este conjunto de datos actuales se le agregó la información obtenida de la formación Ixtapa, para después ser examinados con el programa estadístico CANOCO for Windows 4.0. Este estudio se realizó mediante un análisis multivariado que codifica la señal climática con base en la fisonomía de las hojas del registro fósil, ordenando en un espacio multidimensional a los sitios con datos meteorológicos, la información climática y los caracteres morfológicos, (Wolfe, 1990, 1993; Kovack and Spicer, 1995; Wolfe and Spicer, 1999; Spicer, 1999; 2000; 2007; 2008; Spicer et al., 2004).

Para importar los datos, del registro fósil, a CLAMP se generó una matriz que toma en cuenta diferentes caracteres para las hojas fósiles propuestos por el mismo CLAMP; entre los caracteres se incluye el tipo de margen, el tamaño de la lámina, el tipo de ápice, la forma de la base, la relación largo-ancho y la forma de la lámina. Se analizaron para la localidad de Ixtapa, Chiapas 126 morfotipos fósiles. De cada uno se obtuvieron 31 diferentes estados de carácter, 7 estados para el tipo de margen, 9 estados para el tamaño de lámina, 4 estados para el tipo

de ápice, 3 estados para la forma de la base, 5 estados para la relación largo ancho, y 3 estados para la forma de la lámina. Los estados de carácter se capturaron en una matriz de datos de presencia y ausencia (Anexo 1 y 2). Algunos de los estados de carácter representa fracciones sobre su presencia y ausencia, con valores como 0.5, 0.33 y 0.25, los cuales son utilizados en el caso de que un morfotipo presente más de un ejemplar y no presenten similitud exacta entre sus caracteres, estos estados de carácter no fueron utilizados debido a que solo se tomaron en cuenta morfotipos únicos. La base de datos de CLAMP son tomados de información fisionómica de la vegetación actual y las características meteorológicas de cada uno de los 173 sitios actuales calibrados por CLAMP. Es importante destacar que hay registradas localidades de estados de México, por ejemplo de Sonora y Baja California de la localidad fosilífera a estudiar solo se adicionan datos de la fisionómica fósil foliar, y los datos meteorológicos que no se conocen, el paleoclima se inferirá en base a la información de las localidades actuales que se tiene registradas.

En el estudio estadístico se reconoció la ausencia de algún estado de carácter de manera estricta, para evitar la subjetividad de la interpretación. Si no se presentó un carácter en el material fósil, en la matriz se codificó como *missing data* (sin dato), es decir se registró como ausencia. El programa permite considerar los *missing data* sin generar errores o alterar los resultados, ya que los valores para cada carácter son calculados del número total de morfotipos menos el número del morfotipo del grupo del estado de carácter al que se está refiriendo, este cálculo previene que los *missing data* sean tomados como cero en el porcentaje final que

se calcula por cada carácter (Spicer 2009). Se trabajó con varias matrices de datos, con el objetivo de observar las posibles diferencias o problemas que causaban los *missing data*. Dos de las tres matrices realizadas, contenían caracteres inferidos, es decir que se codificaba información que no se encontraba de manera explícita en el ejemplar fósil. Por ejemplo, si un morfotipo no tenía ápice, pero se podía inferir su morfología con el resto del fósil, se añadía el estado de carácter de un tipo de ápice que se infiere a través de la interpretación del material fósil. Los resultados entre estas matrices con caracteres inferidos y la que se tomó en cuenta para este estudio, una matriz sin caracteres inferidos, no presentaron diferencia notables, corroborando así la confiabilidad y robustez de los resultados de la matriz que contenían *missing data*. Es por ello que solo se está tomando en cuenta una matriz de datos sin caracteres inferidos y que presenta claramente los caracteres de los 120 morfotipos de hojas fósiles. Las diferentes matrices que se desarrollaron fueron con el fin de entender y discernir que puede ocurrir con los resultados que arroja CLAMP si el material fósil no se encuentra con buen estado.

Los resultados arrojados por CLAMP se compararon con la guía para clasificar el clima según el sistema de Köppen modificado por Enriqueta García, para obtener el paleoclima de la Formación Ixtapa, Chiapas. El motivo de la elección de esta guía, fue por la modificación que realiza Enriqueta García, la cual se ajusta a las características climáticas propias de la República Mexicana. Los climas que determina Enriqueta García en 1986, están valorados por las temperaturas medias

de los meses más fríos y más cálidos, así como por valores de precipitación (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los climas A (cálido húmedo) y C (templado húmedo) de Köppen y modificados por de E. García, (1986).

GRUPO DE KÖPPEN	SUBDIVISIONES DE E. GARCIA
A (Cálido húmedo)	A Cálido (Temperatura media anual mayor de 22°C) A (C) Semicálido (Temperatura media anual entre 18° y 22°C) (A) C Semicálido (Temperatura media anual mayor de 18°C)
C (Templado húmedo)	C Templado (Temperatura media anual entre 12° y 18°C) C(E) Semifrío (Temperatura media anual entre 5° y 12°C)

La identificación y descripción de las hojas fósiles se realizaron consultando la colección de hojas aclaradas del Instituto de Geología , bajo el criterio del Manual de Arquitectura Foliar (Leaf Architecture Working Group, 1999) y bibliografía relacionada con el tema.

V. RESULTADOS

a) **ANÁLISIS CON CLAMP.**- los resultados obtenidos del análisis estadístico siguiendo la metodología de CLAMP se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la estimación climática para la Formación Miocénica, Ixtapa Chiapas. TMA= temperatura media anual, TMCC= temperatura media del mes más cálido; TMF= temperatura media del mes más frío; MMEC= número de meses de la estación de crecimiento; P MEC= precipitación media durante la estación de crecimiento; PMMEC= precipitación media mensual durante la estación de crecimiento; PMH-3= precipitación de los tres meses consecutivos más húmedos; PMS-3= precipitación de los tres meses consecutivos más secos, HR= humedad relativa, ENTALPIA= entalpía.

Parámetros paleoclimáticos para Ixtapa		Desviación Estándar
TMA (°C)	10.48	1.62
TMCC	19.77	1.78
TMF (°C)	1.86	2.10
MMEC (mes)	6.41	0.76
PMEC (m)	111.91	19.33
PMMEC (m)	13.39	2.52
PMH-3 (cm)	64.53	13.14
PMS-3 (cm)	16.01	3.55
HR	67.24	6.35
HS	6.74	1.00

Para la Temperatura Media Anual considerando el intervalo de incertidumbre se obtuvo un valor que varía entre los 8.86°C hasta 12.1°C, la temperatura media del mes más cálido varía de 17.99°C hasta 21.55°C y la temperatura media del mes más frío se encuentra entre los 0.24°C hasta 3.94°C, respecto a la precipitación media se obtuvo un valor de 111.91m. y estos datos en conjunto según la

b) PREDOMINANCIAS DE LA MORFOLOGÍA FÓSIL FOLIAR.- De las observaciones morfológicas presentadas en la matriz de datos se resaltan algunos caracteres dominantes entre los morfotipos analizados (Figura 7-11).

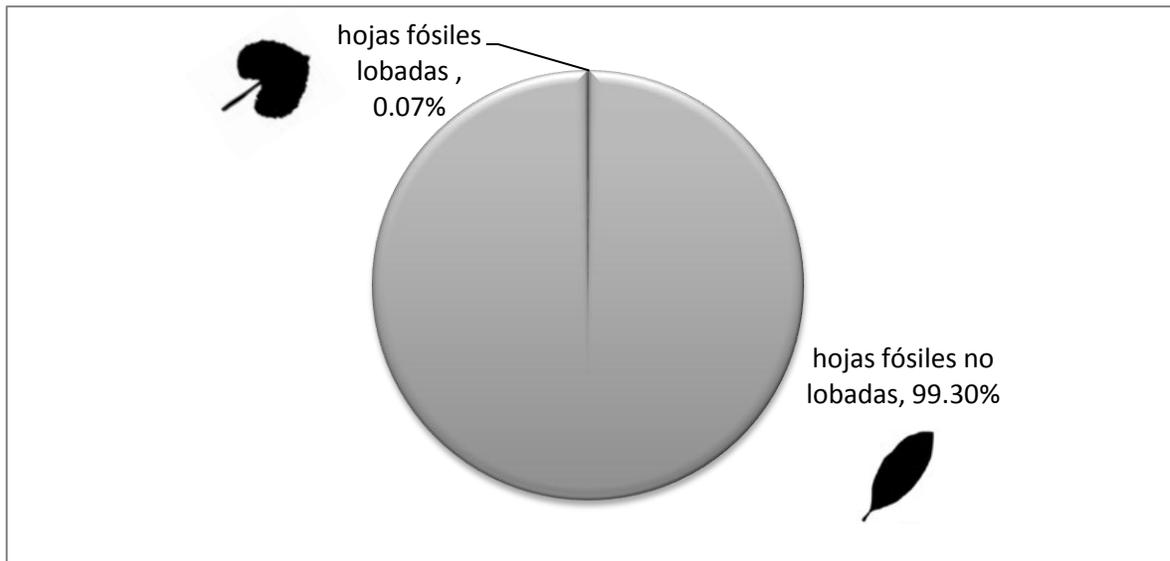


Figura 7. Fisonomía foliar que predomina respecto a la forma de la base $N = 120$. Se observó que del total de 120 morfotipos tan sólo el 0.07% presentó base lobada. Este carácter se encuentra muy relacionado con climas de vegetación decidua y fría (Figura 7).

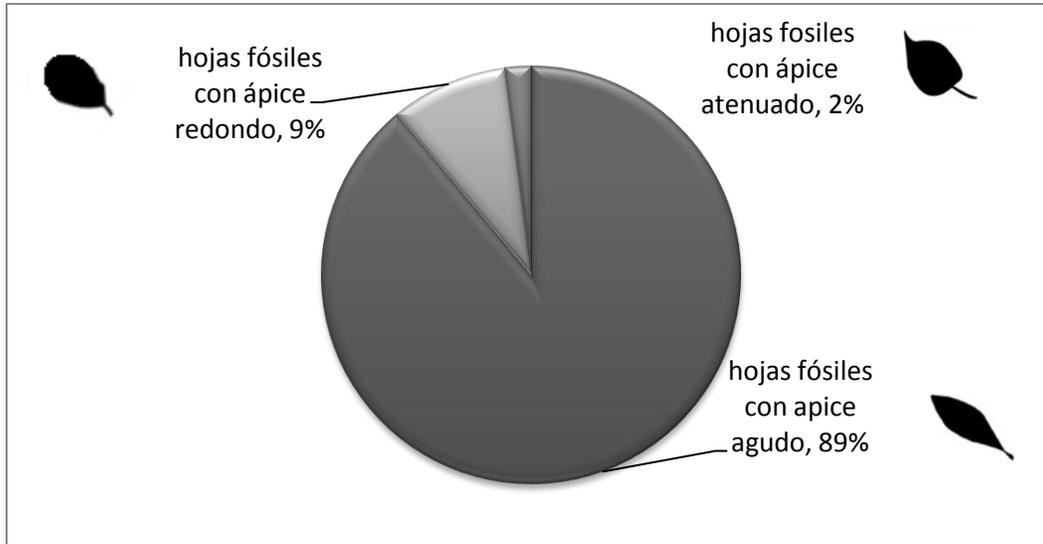


Figura 8. Tipo de fisonomía foliar que se registró respecto a las del formas de ápice en las hojas fósiles, N= 120.

De los tres tipos de clasificación de ápice que utiliza CLAMP, el que más predomina fue el ápice agudo. La hoja muestra su eficiencia para liberar el agua por medio del goteo, a través del ápice agudo, la relación con el ápice agudo siempre se verá relacionado con condiciones de humedad, en contraposición a la forma del ápice redondo (Figura 8).



Figura 9. Tipo de margen, N=120.

La clara tendencia por presentar margen entero en los 120 distintos morfotipos fósiles representa, una de las relaciones más fuertes en el clima cálido (Figura 9).

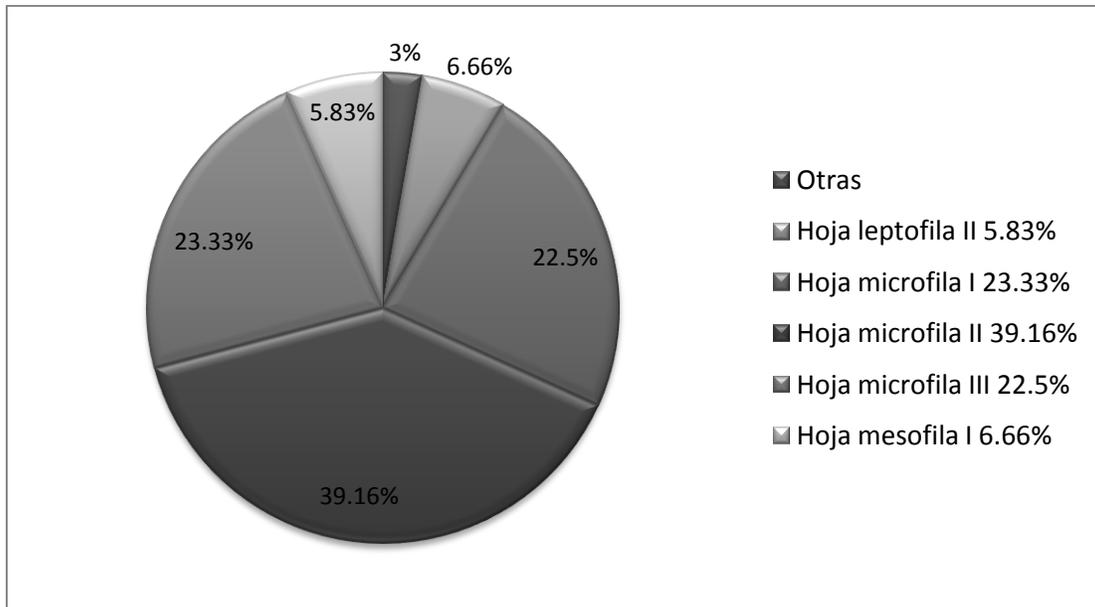


Figura 10. Tamaños de hojas, N = 120.

Con base a su tamaño las hojas se agruparon según CLAMP, en hoja leptófila, hoja nanófila, hoja micrófila y hoja mesófila. Existen categorías, para leptófilas, I y II, para micrófilas, I, II y III, para mesófilas, I, II y III (Spicer, 2010) (Figura 10 y 11). El tamaño predominante, entre los 120 ejemplares analizados, es el tamaño micrófilo II, seguida de micrófilo I; mientras que la porción mínima la representan las leptófilas I y las nanófilas.

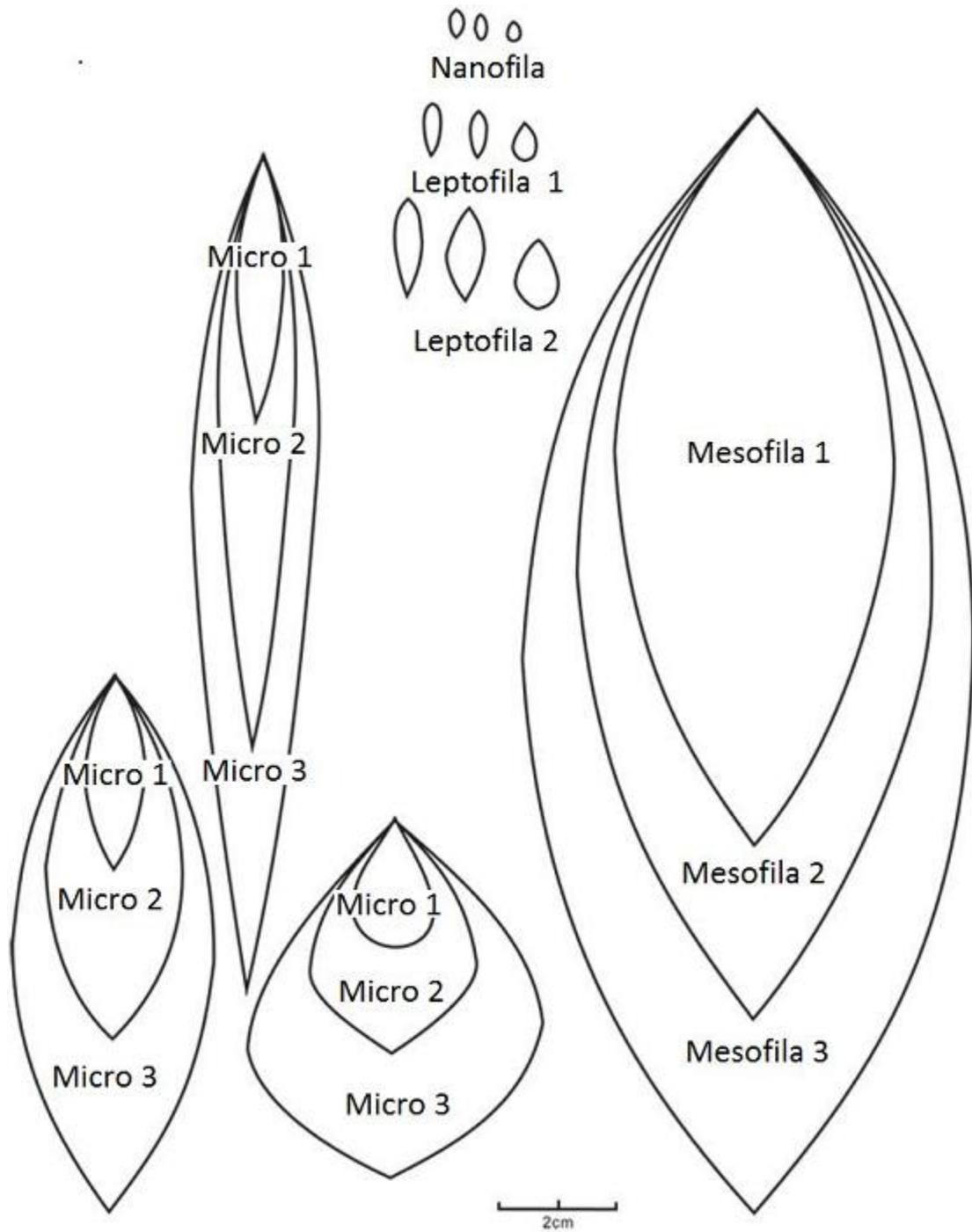


Figura 11. Tamaños foliares. (Tomado de <http://www.open.ac.uk/earth-research/spicer/CLAMP/Clampset1.html>).

De las gráficas anteriores se observa que la morfología foliar predominante, para la Formación Ixtapa, Chiapas, en el Mioceno, son hojas de tamaño micrófilo, margen entero, base no lobadas y ápice agudo.

c) DESCRIPCIONES

Se registraron un total de 126 morfotipos, dos de ellos se describieron y asignaron taxonómicamente siguiendo la clasificación del APGII a las familias *Sapindaceae* y *Moraceae*, los cuales se describen a continuación:

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Sapindaceae

Género: *Serjania*

Holotipo: Hoja (no.94)

Número de ejemplares estudiados: tres

Estratigrafía: Formación Ixtapa

Edad: Mioceno Medio Tardío

Diagnosis: Lámina elíptico oblonga asimétrica, de tamaño micrófilo; margen dentado. Ápice agudo formando un ángulo recto, ángulo de la base agudo con forma cóncava-recta; venación de primer orden pinada; venación de segundo orden caspedódroma y se une las venas secundarias mayores decurrentemente; venación de tercer orden percurrente alterna mixta; venación de cuarto orden reticular al azar; presenta venas agróficas simples y areolas bien desarrolladas de 4 a 5 lados.

Descripción: Hoja completa (Figura 3. 4a) forma elíptico-oblonga, asimétrica, de tamaño micrófilo 4.5 cm de largo y 2.5 cm de ancho (Figura 3. 1a y 2^a), con superficie laminar promedio de 8.43 mm². Margen dentado. El ápice es agudo con ángulo recto de 30° y la base con forma cóncava formando un ángulo de 28°. Venación primaria pinnada. Venación secundaria caspedódroma decurrente. El espaciamiento de las venas secundarias aumenta hacia la parte proximal y la unión de estas con respecto a la vena media es decurrente. El ángulo de las venas secundarias con respecto a la vena media a lo largo de la lámina son agudos e inconsistentes de aproximadamente 60° van decreciendo proximalmente (Figura 4. 3a). La venación de tercer orden es percurrente con curso sinuoso de ángulo obtuso con respecto a la vena media. Las venas epimediales terciarias son alternadas percurrentes. La venación de cuarto orden son percurrentes alternas. Presenta areolas bien desarrolladas de 4 a 5 lados. Muestra una venación agrófica simple y sus venas secundarias menores son broquidódromas. Margen dentado. Los dientes se presentan en la parte distal de la lámina distribuidos irregularmente solo en la parte distal de la lámina. El número de órdenes de dientes es de tres y varían de uno a dos dientes por centímetro. El sinus es angular y forma de los dientes varía de cóncavo-cóncavo a convexos-retroflexos. Las venas de primer orden entran al diente y terminan hasta el ápice de este. Como rasgo especial en el ápice del diente hay un tejido que termina donde se encuentra la vena principal, a esta característica se le nombra “cassidate”.

Se realizó la comparación del ejemplar fósil (Figura 4), con taxa actuales de la familia Sapindace con el banco de hojas aclaradas del Instituto de Geología. El principal carácter que resalta taxonómicamente dentro de la familia es el margen dentado irregular, venación secundaria caspedódroma y la presencia de venas agróficas. Las similitudes morfológicas de la hoja fósil se acercaron a la morfología con hojas del género *Serjania* bajo los criterios del Manual de Arquitectura Foliar (Leaf Architecture Working Group, 1999) (Figura 3). Cabe señalar que para la especie, *Serjania perulacea* y *Serjania paludosa* la hoja es compuesta, el tamaño de la hoja y la forma de la base cóncavo-recto, permite sugerir que el ejemplar fósil pertenece a un foliolo. (Tabla 3)

Tabla 3. Comparación del morfotipo fósil M94 con dos foliolos de especies actuales del género *Serjania*.

M94	<i>Serjania perulacea</i>	<i>Serjania paludosa</i>
Lamina elíptica-oblonga	Presente	Presente
Ápice recto con ángulo agudo	Presente	Presente
Base cóncava-recta	Presente	Presente
Margen dentado	Presente	Presente
Venación secundaria caspedódroma	Presente	Presente
Venas agróficas	Presente	Presente
Venas terciarias percurrentes, sinuosas y de ángulo obtuso	Presente	Ausente
Venas cuaternarias percurrentes alternas	Presente	Ausente
Dientes cóncavo- cóncavo	Ausente	Ausente
Venas de primer orden entran al diente y terminan hasta el ápice	Presente	Presente
Sinus angular	Presente	Presente
Presenta un tejido esferular en	Presente	Presente

el ápice del diente (cassidete)		
Tres órdenes de dientes	Presente	Presente

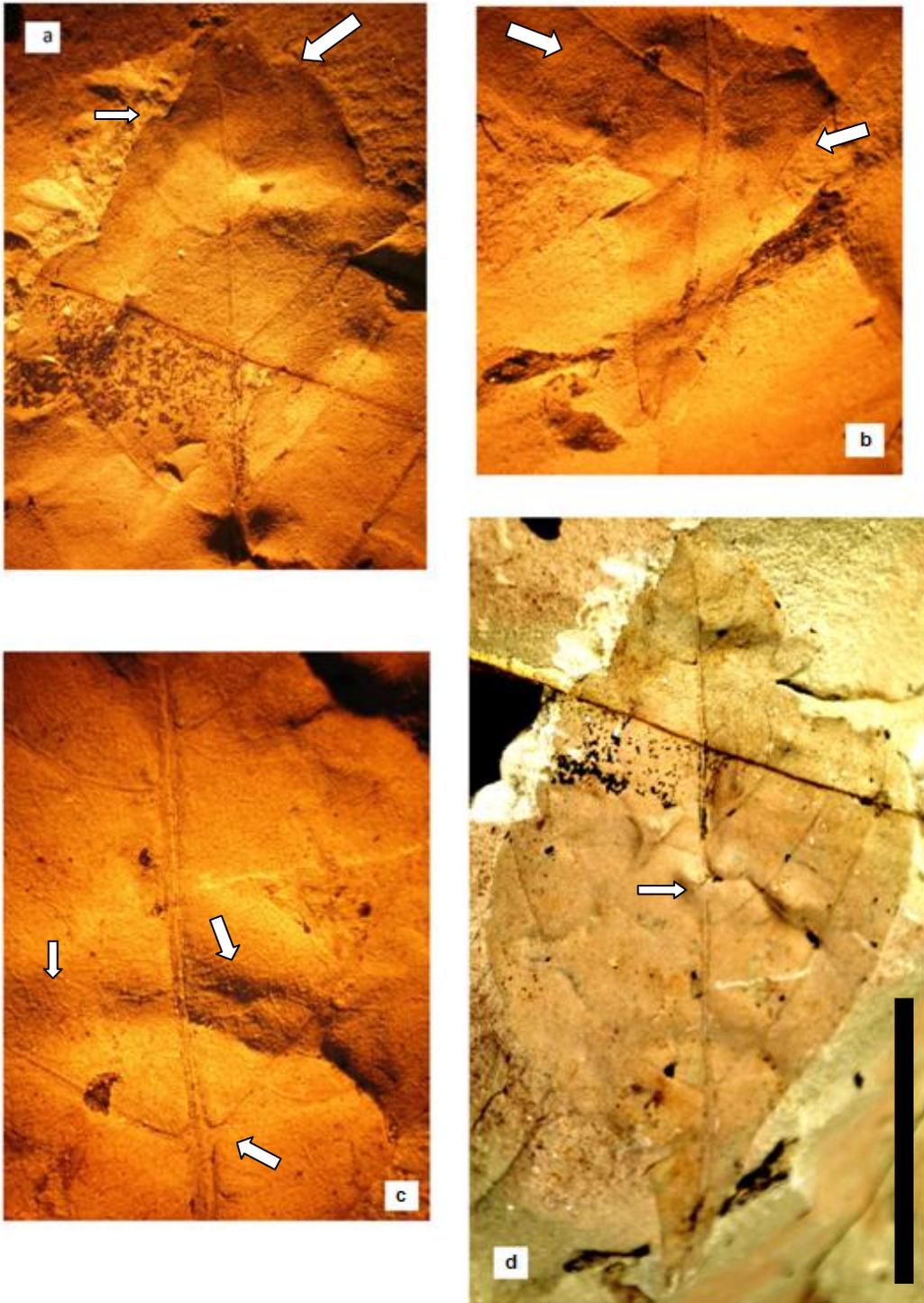


Figura 3. Morfortipo 94 relacionada con el género *Serjania*. a acercamiento al ápice del foliolo, dónde se señala la venación secundaria caspedródoma, esta termina hasta el ápice del diente, el diente presenta un tejido esperular en la parte apical. b Acercamiento a la base cóncavo-recta del foliolo y presencia de venas agróficicas. c Acercamiento de la vena media donde la vena secundaria se une decurrentemente; venación de tercer orden percurrente respecto a la vena media; vena cuaternaria percurrente alterna . d Lamina del foliolo con venación pinnada. Escala= 2cm.

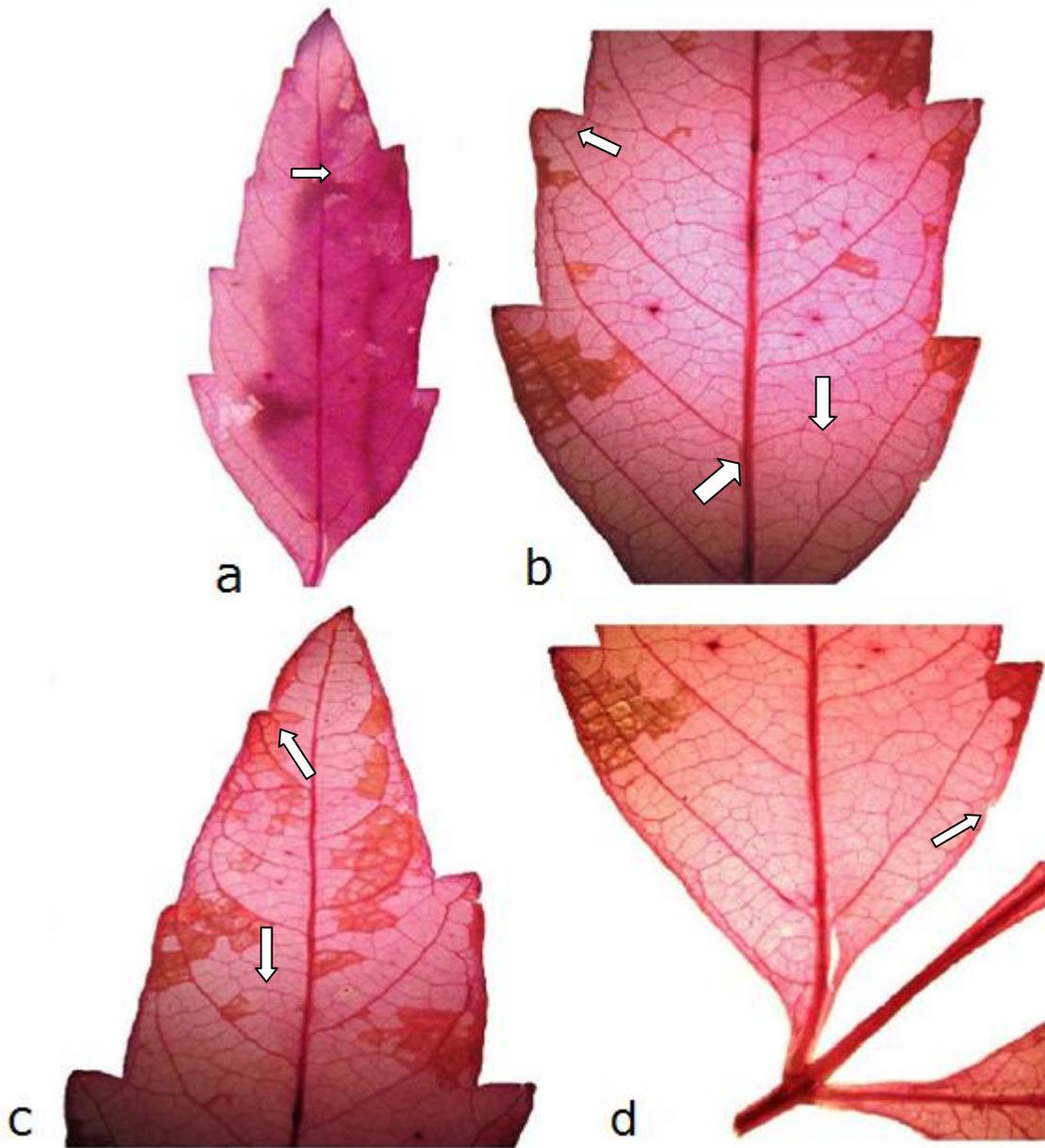


Figura 4. a. Foliolo de hoja aclarada de *Serjania perulácea* donde se señala una venación pinada. b. Acercamiento de la lámina media del foliolo aclarado de *Serjania perulácea*, se muestra la vena secundaria caspedódroma que termina hasta el ápice del diente y su unión respecto a la vena media es decurrecurrente, y una venación de tercer orden es percurrente respecto a la vena media. c. Acercamiento del ápice de hoja aclarada de *Serjania perulácea*, se señala la vena cuaternaria percurrente alterna y la presencia de un tejido esferular en el ápice de los dientes. d. Acercamiento de la base cóncavo-recta de la hoja aclarada de *Serjania perulácea*, también se puede observar las venas agróficas.

Ejemplar fósil no identificado

Familia (Posible afinidad): Moraceae

Género: ?

Holotipo: 79

Número de ejemplares estudiados: uno

Estratigrafía: Formación Ixtapa

Edad: Mioceno Medio Tardío

Diagnosis: Lámina elíptico-oblonga simétrica, de tamaño micrófilo; margen dentado. Ápice agudo formando un ángulo recto, ángulo de la base agudo con forma recta; venación de primer orden pinada; venación de segundo orden caspedódroma y se une las venas secundarias mayores excurrentemente; presenta venas intersecundarias; venación de tercer orden percurrente mixta; venación de cuarto orden es mixta; venación de quinto orden forma areolas bien desarrolladas de 4 a 5 lados.

Descripción: Lámina elíptica-oblonga, simétrica, micrófila de 6 cm de largo y 3 de ancho, el margen es dentado para el primer tercio de la lámina. Venación primaria pinnada. Venación secundaria craspedódroma, las venas secundarias mayor forma un ángulo agudo con respecto a la vena media y se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la lámina. El ángulo de la inserción de las venas secundarias mayores con la vena media se insertan de manera excurrente y su espaciamiento entre cada vena secundaria disminuye distalmente. Presenta venas intersecundarias bien desarrolladas, su curso es paralelo a las venas secundarias mayores y su longitud es menor del 50% a la secundaria subyacente. La venación de tercer orden es percurrente mixta con un curso tipo chevbrón y

sinuoso, aunque algunas llegan a presentar curso sinuoso y convexo. Las venas epimediales terciarias se unen a la vena media percurrentemente. En la parte basal de la lámina el curso de la venación exterior terciaria forma arcos. La venación de cuarto orden tiene patrones mixtos que forma un retículo al azar y otras veces es regular. Las vénulas se dicotomizan; presenta areolas bien desarrolladas conformadas por venas de quinto orden. Areolas bien desarrolladas formadas de 4 a 6 lados. La venación última margina la forma el cuarto orden de venación y terminan en el marco de la lámina formando arcos. Los dientes se distribuyen de manera que tienen espacios irregulares, presenta solo un orden de dientes y el número por centímetro es de uno a dos. El diente tiene forma cóncavo-convexo y su sinus es angular, la vena principal del diente proviene de la venación secundaria y termina hasta el ápice del mismo. (Figura 5-6).



Figura 5. Morfotipo 79, parte (a) y contraparte (b) del fósil. Escala= 1cm.

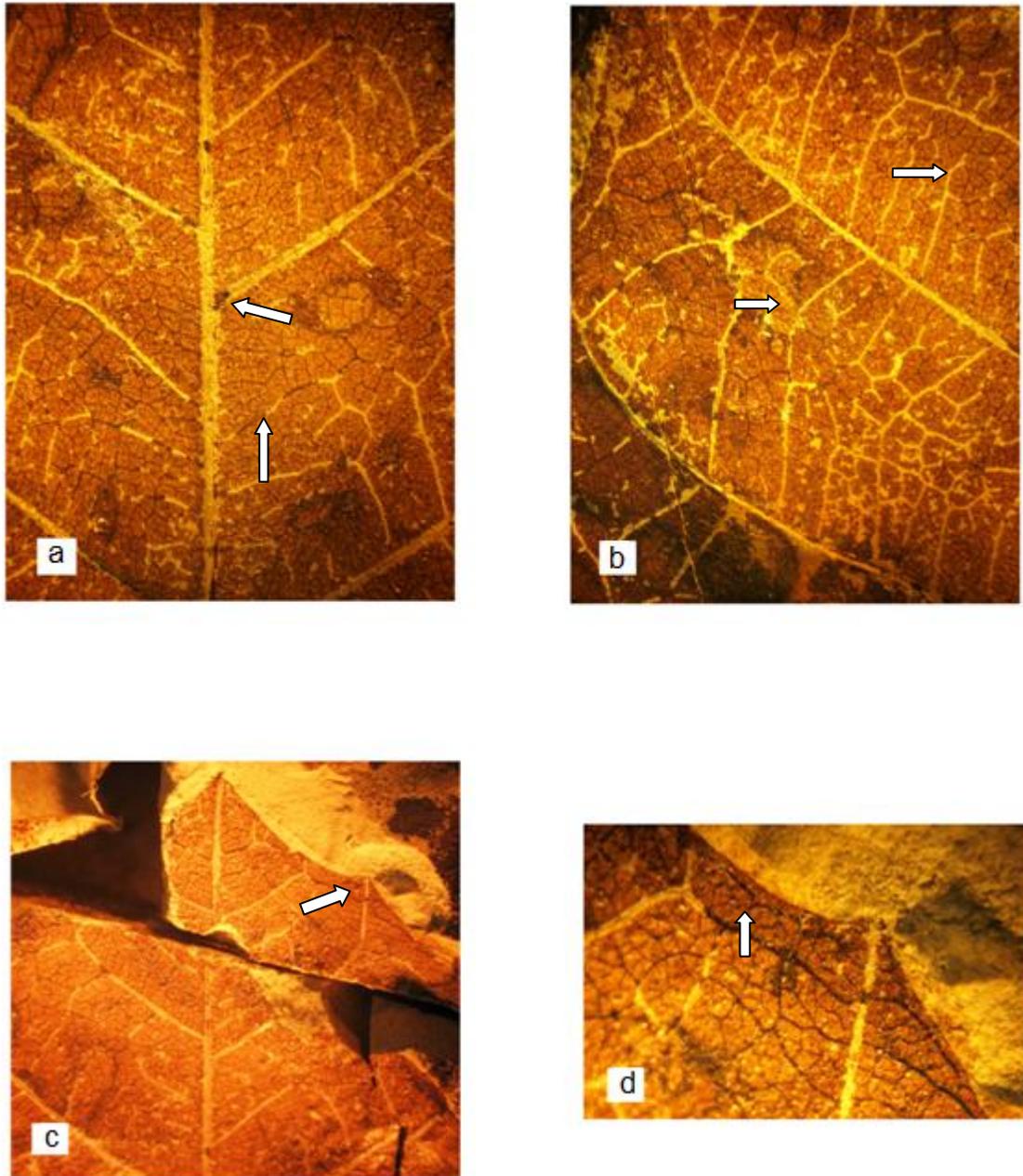


Figura 6. Acercamientos a la venación del fósil, morfotipo 79. a. Venación secundaria caspedródoma que se une a la venación primaria excurrentemente. b. Venas de tercer orden percurrente mixta con curso de chebrón a sinuoso; venación de cuarto orden de patrón mixto con retículo al azar y areolas formadas por una venación de quinto orden que se dicotomiza. c. Ápice de la lámina donde se observa la vena secundaria que llega hasta el sinus del diente. d. Venación exterior terciaria formando arcos.

Se realizó la comparación del ejemplar fósil del morfotipo 79 (Figura 5), con taxa actuales de la familia Burseraceae (género *Commiphora*) y Moraceae (género *brosimum*) (Figura 7 y 8), el principal carácter que resalta taxonómicamente dentro de estas familias , es la venación secundaria caspedódroma y se unen a la vena media excurrentemente y presentan venas intersecundarias. Sin embargo las similitudes morfológicas de la hoja fósil no permitían aseverar un género debido a la presencia del margen dentado y el tipo de diente específicamente.



Figura 7. *Brosimum paranoides* y *Brosimum alicastrum* (Tomado de: <http://web.science.uu.nl/amazon/vtgg/Moraceae/Brosimum/slides>).



Commifora guillauminii

Figura 8. *Commifora guillauminii* (Tomado de: <http://dsipho.mnhn.fr/sonnerat/apiJOIN/JB/JB20041013/> jpg)

VI. DISCUSIÓN

Entre los 120 ejemplares registrados tomando los datos porcentuales, con la observación morfológica de nuestros morfotipos, el tamaño de las hojas micrófilas predominan, esto nos permite hacer una correlación climática a sitios templados. Excluyendo sitios extremos, como por ejemplo los desiertos, con vegetación que suele estar representada por hojas pequeñas (leptófilas y nanófilas); o selvas tropicales con vegetación representada por hojas de tamaño grande (mesófilas), por otra parte el 98% de las hojas con margen entero permite alejarse de la posibilidad de considerar que la vegetación de Ixtapa, Chiapas, creció bajo un clima con bajas temperaturas, ya que tan solo el 2% representa hojas son dentadas, además de que en virtud de que el ápice agudo está representado en un 89%, la vegetación se relaciona con climas húmedos. En conjunto los caracteres de hojas micrófilas, de margen entero y ápice agudo permiten inferir que probablemente la vegetación miocénica de Ixtapa, Chiapas, creció bajo un clima de características templado-húmedo a cálido-húmedo.

El análisis estadístico con CLAMP obtiene datos distintos, los estudios con CLAMP señalan un clima semifrío-húmedo, estos resultados cuantitativos implican la correlación de un mayor número de caracteres, morfológicos, que con la simple observación de ellos no se podrían valorar con la misma certeza, las herramientas estadísticas nos brindan mayor fundamentos y por lo tanto mayor confiabilidad en el estudio del paleoclima. Cabe señalar que la dominancia en cuanto a la

diversidad, el número de piezas fósiles de un morfotipo en especial, no es parte de los valores de la matriz de datos de CLAMP, la importancia de que la dominancia si se encuentre dentro de los datos, radicaría en poder saber más información sobre la paleoecología, inclusive la dominancia de algunos géneros podría ser pieza clave de la definición de un tipo de vegetación.

Realizar la matriz de datos, con base en los caracteres definidos por CLAMP, con ejemplares que carecían de ápice, base, o bien aquellos que pudieran tener caracteres que no empatan en cuanto a la similitud con los propuestos en CLAMP, significaban un problema sistemático para la realización de la misma matriz. Se cree necesario establecer una forma más diversa la codificación para los parámetros de los caracteres morfológicos foliares que se establecen en CLAMP, debido a la gran variedad de morfologías que pudiera presentar las hojas, ya sea formas complejas o poco usuales, esto nos sugiere que los fósiles pueden aportar caracteres que en la actualidad no se encuentran registrados, y no pueden ser codificados los caracteres en la matriz verazmente. Se reconoce que la tarea de clasificar metódicamente la naturaleza siempre será una tarea compleja, aún más cuándo se estudia el pasado de una comunidad vegetativa. En los estados de caracterer estipulados por CLAMP, las puntuaciones fraccionarias, que son utilizadas para los casos en los que se presenta más de un ejemplar por morfotipo, no fueron utilizadas debido a que los fósiles difícilmente cuentan con más de un ejemplar por morfotipo, solo se tomaron en cuenta la puntuación de uno o cero, tenía o no tenía un carácter presente, además de que se considera arbitrario considerar fracciones para la presencia de un carácter del fósil.

Los resultados del análisis paleoclimático presentado nos indican que la localidad Ixtapa Chiapas, se caracterizaba por tener temperaturas bajas y alta humedad. Estos análisis revelaron lo contrario a lo esperado en nuestra hipótesis, en la que se esperaba encontrar un clima cálido-húmedo, por ello se rechaza la hipótesis propuesta. El parámetro de la temperatura media anual sugerida por CLAMP, de 8.86 °C hasta 12.1 °C , por sí sólo se rechaza la hipótesis de la existencia de un clima cálido-húmedo. Sin embargo esto sugiere que algo, diferente estaba ocurriendo respecto a la distribución de las plantas, el clima y la geología, en el Mioceno de Ixtapa, Chiapas, al resto del país.

El tipo de paleoclima que obtuvimos con CLAMP, semifrío húmedo, en la actualidad en México pueden albergar vegetación del Bosque Mesófilo de Montaña. Es interesante que este tipo de vegetación ocupe una extensión reducida, y que contenga la mayor diversidad de especies de flora y fauna en relación a su área (Challenger 1998, CONABIO, 2010); alrededor de 2500 a 3000 especies de plantas vasculares habitan exclusiva y preferentemente en estos bosques (Rzedowski 1996, CONABIO, 2010). En México se caracteriza por presentar en su dosel una composición de especies donde predominan árboles caducifolios de clima templado (de afinidad holártica), por ejemplo el liquidambar (*Liquidambar*), encinos (*Quercus*), hayas (*Fagus*) y pinos (*Pinus*). Mientras que el sotobosque está conformado principalmente por especies tropicales perennifolias (de afinidad neotropical), por ejemplo arbustos de las familias Acanthaceae, Rubiaceae y Myrsinaceae, y en las copas de los árboles abundan las epífitas de

las familias Orchidaceae, Bromeliaceae, Piperaceae y Araceae (Challenger, 1998; Rzedowski, 2006; CONABIO, 2010).

El Bosque Mesófilo de Montaña suele presentarse en la República Mexicana con una alta humedad y baja temperatura debido a su ubicación geo-orográfica en sitios de altitud superior a los ecosistemas tropicales que se encuentra hasta los 400m (Challenger, 1998; Rzedowski, 2006; CONABIO, 2010). Este tipo de vegetación se distribuye en : San Luis Potosí, Sierra de San Juan en Nayarit, Mesófilos del Noroeste de Hidalgo a Huayacocotla en los estados de Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, San Sebastián – Talpa Mascota, Sierra de Cacoma en Jalisco, Huautla – Zongolica Veracruz, Sierra Mixe de Oaxaca, Cuenca La Antigua en Puebla y Veracruz, Cuenca alta del Río Amacuzac del Distrito Federal, Guerrero, Estado de México, Morelos y Puebla, Sierra de Santa Marta en Veracruz, Centro de Guerrero, Sur de Chimalapas en Chiapas, Oaxaca y Veracruz, Archipiélago Selva Negra en Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Veracruz), Montañas de los Choles Chiapas, Tabasco y Cañadas Tzeltales en Chiapas, (CONABIO, 2010).

Estudios paleoclimáticos y taxonómicos realizados para localidades miocénicas en México muestran la presencia de distintas comunidades vegetales que se desarrollan en distintos climas cálidos y húmedos. El estudio taxonómico de la descripción e identificación de hojas fósiles de Anacardiaceae, Rhamnaceae y el género *Lonchocarpus* (Leguminosae) en San Esteban Tizatlán (Hernández, 2010) y un análisis con CLAMP de un total de 70 morfotipos (Domínguez, com. pers. 2012) refuerza la presencia de una comunidad vegetal de selva alta perennifolia

(Castañeda-Posadas, 2004). Para el Este de Oaxaca Cevallos y Ramírez, (2004), Hernández, (2010) proponen elementos florísticos relacionados con un bosque tropical perennifolio. Para Chiapas se han encontrado plantas fósiles afines a Meliaceae y Leguminosae en Simojovel de Allende (Castañeda-Posadas, 2007, y Calvillo-Canadell *et. al.*, 2010, Hernández, 2010); en contraste de Ixtapa, Chiapas, en donde se han identificado a *Eugenia* (Mirtaceae) y *Tetracera* (Dilleniaceae), ambas relacionadas a un clima cálido y húmedo, aunque tienen una distribución cosmopolita. Los estudios sobre este tipo de géneros nos permite saber que existen elementos de climas cálidos y húmedos, los cuales pudieron haber accedido a ecosistemas distintos de mayor altura, y bajas temperaturas, recordando la compleja interacción y distribución de la vegetación en México. Sumando la identificación de otra hoja fósil que se presenta en esta tesis, relacionada con el género *Serjania*, reafirma el conocimiento sobre la gran diversidad de las morfocaracterísticas que presenta nuestra flora fósil de la Formación Ixtapa y de cómo podemos visualizar el escenario climático y geológico. El género *Serjania* suele distribuirse en las zonas de los trópicos, de hábito herbáceo y perene, por lo general con forma de enredadera y se desarrollan creciendo en la búsqueda de la mayor captación de luz, (Zampieri-Noguera 1995), De esta manera los morfotipos fósiles representantes de Ixtapa, Chiapas, reflejan un tipo de vegetación tropical perenne. La relación entre los fósiles y el clima sugiere un escenario de transición, donde las floras de climas tropicales se encuentran y ceden por cambios climáticos-ambientales que están produciendo climas a sitios templados. Esto contrasta en la presencia de sitios más cálidos de edad semejante como Simojovel de Allende, Chiapas. Como un panorama general, hablando del

Mioceno de México podemos relacionar para la parte central y sur de México climas cálidos y húmedos donde se ve que se desarrollaba un tipo de vegetación propia de bosques y selvas, algunas porciones de México se encontraban al nivel del mar, algunas evidencias de invertebrados marinos de Simojovel de Allende nos cerciora tal acontecimiento, la ausencia de tal evidencia para la Formación Ixtapa provoca sugerir que en esta zona estaba retirada del mar y/o sufría elevaciones lo que propicia el cambio de clima y con el tiempo la selección e incorporación de elementos templados a partir de la vegetación calido-humeda que se estableció en la región antes del Mioceno medio.

Tanto en el pasado como en la actualidad, Chiapas se caracteriza por una alta complejidad geográfica y biológica, el cambio de condiciones geológicas llevan de la mano cambios y fuerzas selectivas de las comunidades vegetales originales a través del tiempo. Gracias al trabajo que se realizó con las seis colectas del material, se observó que este depósito fosilífero es altamente diverso, reflejo de la misma vegetación que presentaba Chiapas en el Mioceno, y la vasta diversidad que se sigue presentando actualmente. Es por ello que es necesario un estudio taxonómico más a fondo, para el material de la Formación Ixtapa, que permita de manera certera referir a algunas familias y géneros de plantas que podrían ser claros indicadores de ciertos tipos de vegetación. Cabe destacar que se han encontrado aunados a los registros foliares, la impresión de un fruto aparentemente de una leguminosa, una semilla y una bráctea, estos registros también podrían ser parte clave del desarrollo de mayor información taxonómica para esta localidad. (Anexo 2)

Aunque este trabajo, reporta el paleoclima a nivel local y no a nivel regional, por que se estudia una pequeña porción de la Formación de Ixtapa, Chiapas, es interesante la sugerencia de que la actividad tectónica con el vulcanismo estaban modificando el relieve de Ixtapa. Al suceder esto, la vegetación afronta nuevas condiciones climáticas y ambientales, por lo que el paleoclima que se deduce en esta localidad con rasgos cálido-húmedos, que en un inicio parece ser semejantes a un bosque tropical.. Entonces, a partir del Mioceno medio de Ixtapa, Chiapas, se inicia la selección de la vegetación para dar lugar a un mesófilo que responde a las condiciones de altitud y humedad que surgen al modificarse los límites continentales que prestaba en la parte sur de México.

Este análisis paleoclimático es el punto de partida para la realización de diversos trabajos futuros a nivel taxonómico que podrán corroborar resultados a cerca del paleoclima y que ayudarán a comprender lo que ocurría en el Mioceno de Ixtapa. Así mismo es importante el entendimiento y conocimiento del pasado como del presente en la actualidad, sobre los diferentes patrones de distribución y composición florística de México, esto nos ayudará a desarrollar mejores estrategias para la conservación de los mismos en un presente y en el futuro.

VII. LITERATURA CITADA

Calvillo-Canadell L, Cevallos-Ferriz S.R.S, Rico-Arce L. 2009. Miocene Hymenaea flowers preserved in amber from Simojovel de Allende, Chiapas, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 160, 3-4:126-134.

Capeiel-Molina J.J. 2006. *La humedad Relativa en los Estados Unidos Mexicanos*. Departamento de Geografía. Universidad de Granada. Colegio Universitario de Almeida.

Castañeda-Posadas C. 2007. Modelo paleoclimático basado en los caracteres anatómicos de la madera de las rocas miocénicas de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul Chiapas. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de México. México, D.F. 160 pp.

Cevallos-Ferriz S. R. S. y González-Torres, E. A. 2005. Geological setting and phytodiversity in México En: Vega F. J., Nyborg, T.G., Perrilliat, M.C., Montellanos Ballesteros, M., Cevallos- Ferriz, S.R.S y Quiroz-Barroso, S.A. *Studies on Mexican Paleontology. Springer*. Netherlands.

CONABIO. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F., México. 197 p.

Conde C. 2007. México y el cambio climático Global. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. 3-26.

Ferrusquía-Villafaranca I. 1996. Contribución al conocimiento geológico de Chiapas. El área Ixtapa-Soyaló. Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, *Boletín* 109:1-135.

Florinsk J. *et. al.* 2002. Interannual variability in net primary production and precipitation. *Science*. 293:123-141p.

García-Miranda E.1986. Apuntes de Climatología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 155p.

García R. J. M. 1988. Los recursos hídricos superficiales. Colección de Estudios Altoaragoneses. Huesca. 2: 224p.

Hernández-Damian Ana Lilia, 2010. Diversidad foliar en el Mioceno de San Esteban Tizatlán Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 69pp

Huetz de Lempis, A. 2005. La vegetación de la Tierra. Akal. Madrid. 268p.

Kasting, J. F. Owen, P. Pollack, J. 1988. Evolución del clima en los planetas terrestres. En *Scientific America*.

Kovach, W. L Spicer, R. A. 1995 Canonical Correspondence Analysis of Leaf Physiognomy: a Contribution to the Development of a New palaeoclimatological Tool. *Palaeoclimates* 1: 125-138

Leaf Architecture Working Group. 1999. Manual of leaf architecture: morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms. Smithsonian Institution, Washington, D.C. 189p.

Marínez-Hernández, E. 1992. Caracterización ambiental del terciario del terciario de la región de Ixtapa, del estado de Chiapas un enfoque palinoestratigráfico, Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 10(1): 54-64.

Miranda F. 1953. Desarrollo y alcance de los trabajos del Instituto de Botánica de Chiapas. Memoria del Congreso Científico Mexicano. VI Ciencias Biológicas. México. 195-199 pp.

Rzedowski J. 1966. Datos biográficos de Faustino Miranda. *Ciencia*. México, 24: 5-6, 171-175.

Rzedowski J. 1993. Diversity and origins of the Phanerogamic flora of Mexico. In: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A. and Fa, J. (eds). *Biological Diversity of Mexico; Origins and distribution*. Oxford University Press, New York 129-144.

Royer D. L. McElwain J. C. Adams J. M. Wilf P, 2008, Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer Rubrum* and *Quercus Kelloggi*. *New Phytologist*, 1(179):808-817.

Royer D. Wilf P. Janesko D. A. Kowalski E.A. 2005. Correlation of climate and plant ecology to leaf size and shape: potential proxies for the fossil record. *American Journal Botany*. 92(7):1141-1151.

Spicer, R.A. *et.al.* 2004. The Foliar Physiognomic Record of Climatic Conditions During Dormancy: CLAMP and the Cold Month Mean Temperature. *Journal of Geology*. 112: 685-702.

Nicholson S. E. y Farrar T.J. (1994). The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall and soil moisture in semiarid Buts wand I. NDVI response to rainfall. *Remote Sensing f Environment* 50:107-120p.

Melendez A. 1999. Indicios Geológicos de los cambios climáticos a lo largo de los mil últimos millones de años. *Revista Real Academia de las Ciencias Exactas Físicas Naturales*. España. 93(1).

Peralta M. E. 2009no. Arquitectura Foliar de hojas fósiles de Ixtapa, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 78pp.

Spicer, R. A. 2000. Leaf Physiognomy and Climate Change. In: Culver SJ and Rawson P (ed) Biotic Response to Global change: the Last 145 Million Years. Cambridge University Press, Cambridge,. 244-264p

Spicer, R. A., Bera, S., De Bera, S., Spicer, T. E. V., Srivastava, G., Mehrotra, R., Mehrotra, N., and Yang, J. 2011 Why do foliar physiognomic climate estimates sometimes differ from those observed? Insights from taphonomic information loss and a CLAMP case study from the Ganges Delta. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 302: 381-395

Velasco de Leon P.M. 1999. Estudio Paleoecológico de una comunidad del Terciario en el Estado de Puebla. Tesis de Doctorado, Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 87p.

Wolfe J 1991. CLAMP: A method of accurately estimating paloclimatic parameters from leaf assemblages. Geological Society American Annual Meeting Abstracts.

Wolfe J.A. 1993. A method of obtaining climatic parameters from leaf assemblages. U.S. Geol. Surv. Bull.

Wondeicki K. M. 2000. Relationships between leaf morphology and climate Bolivia implications for estimating paleoclimate from fossil floras. *Paleontological Society*. 26(4): 668-688p.

Zampieri N.C. *et. al.* 1995. Karyotypic study of some species of *Serjania* and *urvillea* (Sapindaceae; Tribe Paullinieae). *American Journal of Botany*. 82(5):646-654. I.V.

Documentos electrónicos

Spicer, R. A. 2011. Clamp on line. <www.open.ac.uk/earth-research/spicer/CLAMP/Clampset1.html> (Consultado 20 julio 2011).

Spicer, R. A. 2011 Clamp on line. <<http://clamp.ibcas.ac.cn/>> (Consultado septiembre 2011 a Julio 2012).

Página oficial de Chiapas . < [www. Ceieg.chiapas.gob.mx](http://www.Ceieg.chiapas.gob.mx)> (Consultado abril 2011).

CONABIO . Tipos de vegetación <<http://www.conabio.gob.mx/mapaservidor/incendios/modis/tablas2004/mayo/diurnas/terra/paso1/t1.040511.1623.html>> (Consultado 15 mayo 2011).

Anexo 1. Asignación de los valores y descripción de los diferentes caracteres foliares para llevar a cabo el análisis de CLAMP.

• **Hoja con base lobada**

0 si no son hojas lobadas

*0.5 si algunas hojas son lobadas y algunas no son lobadas

1 si todas las hojas son lobadas

• **Margen de la hoja**

0 si los dientes no están presentes en todas las hojas

*0.5 si algunas hojas son dentadas y otras no

1 si las hojas son dentadas

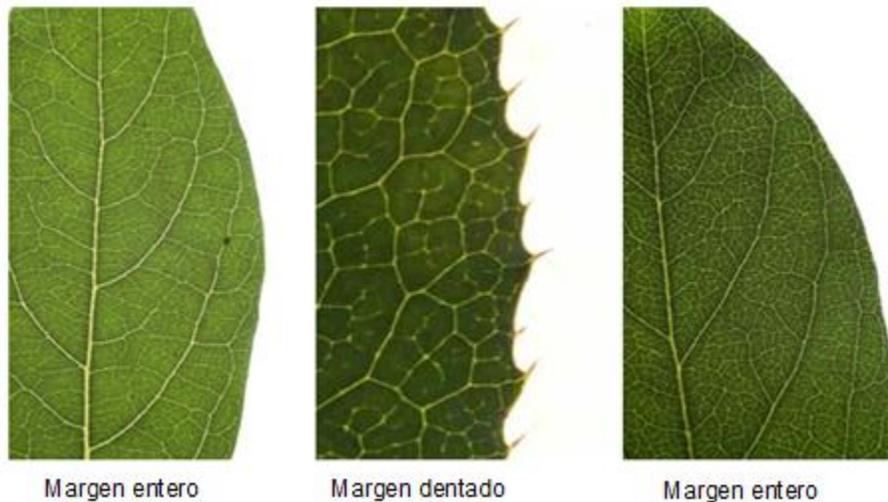


Fig.2 Ejemplo de márgenes foliares.

(Tomado de <http://www.open.ac.uk/earth-research/spicer/CLAMP/Clampset1.html>)

* Valores no tomados en cuenta para la matriz de datos.

• **Tamaño de la hoja.**

- 1 si una especie tiene las hojas de la categoría de tamaño único que recibe puntuación de 1 en esta categoría
- *0.5 si una especie se distribuye a través de dos categorías de tamaño que recibe una puntuación de 0.5 en ambas categorías
- *0.33 si una especie se distribuye a través de tres categorías de tamaño que recibe una puntuación de 0,33 en cada categoría

• **Ápice emarginado**

- 1 si algunas hojas son de ápice emarginado
- 0 si no hay hojas son de ápice emarginado

Las siguientes tres categorías tienen una puntuación acumulada de 1 para cada especie.

• **Ápice redondo**

Un ápice es redondo si el cuarto apical de la lámina tiene un margen que se curva convexamente y las dos partes se reúnen para formar una curva.

• **Ápice agudo**

El ápice es agudo si el cuarto apical de la lámina tiene un margen que es recto y los dos lados forman un punto.

• **Ápice atenuado**

Un ápice es atenuado si, en el cuarto apical de la lámina, el margen de los cambios en ambos lados de un margen lineal o convexa a un margen cóncavo y el borde cóncavo se extiende por una distancia de por lo menos un centímetro.

* Valores no tomados en cuenta para la matriz de datos.

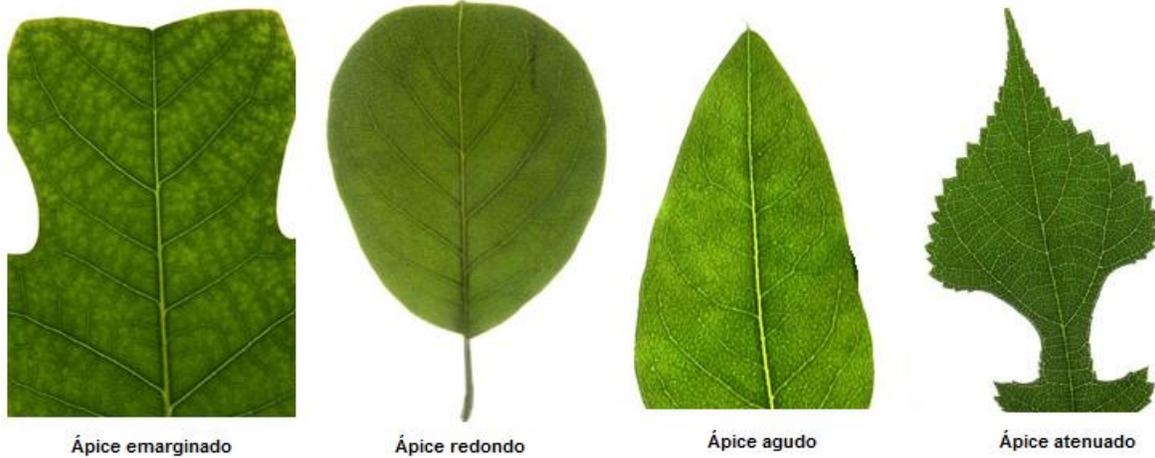


Fig. 3 Ejemplo de ápices que puede presentar una hoja.
(Tomado de <http://www.open.ac.uk/earth-research/spicer/CLAMP/Clampset1.html>)

Los siguientes tres categorías tienen una puntuación acumulada de 1 para cada especie.

- **Base cordada**

Una base es cordada si las partes basales de la lámina basal se extienden (abajo) más allá de la unión del pecíolo y la lámina.

- **Base redonda**

Una base es redonda si la mayoría de cuarto basal de la lámina tiene un margen convexo.

- **Base aguda**

Una base es aguda si la mayoría de cuarto basal de la lámina tiene un margen de recta o cóncava.



Fig.4 Ejemplo de formas de base presentados en una hoja.
(Tomado de <http://www.open.ac.uk/earth-research/spicer/CLAMP/Clampset1.html>)

Proporciones entre el largo y ancho

Las cinco categorías de longitud y anchura tienen una puntuación total de 1 para cada especie. Una especie se obtuvo por su amplia gama de variación en la longitud a la anchura.

Los siguientes tres categorías tienen una puntuación acumulada de 1 para cada especie.

- **Forma obovada**

La hoja es **obovada** si es mayor en el tercio apical la mayor parte de la lámina.

- **Forma elíptica**

Una hoja es **elíptica** si es mayor en el tercio medial de la lámina.

- **Forma ovada**

Una hoja es **ovada** si es más amplia en el tercio basal mayor parte de la lámina.

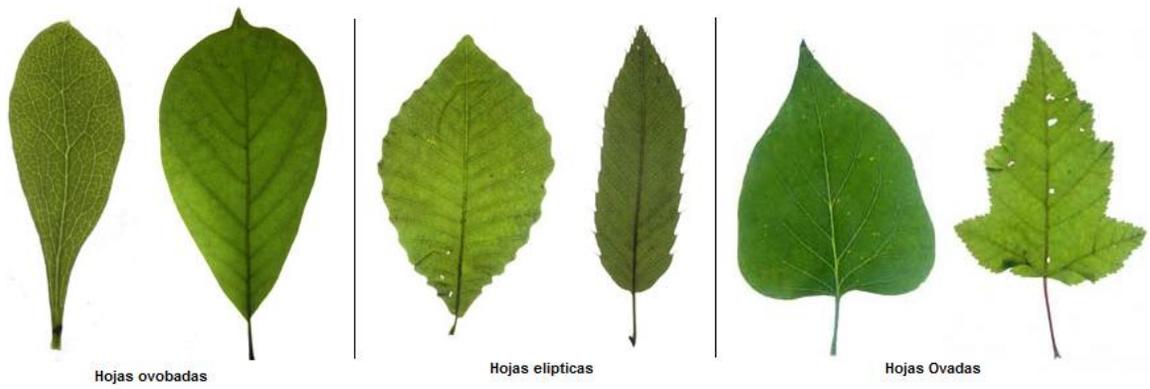


Fig. 5 Ejemplo de forma de hojas.
(Tomado de <http://www.open.ac.uk/earth-research/spicer/CLAMP/Clampset1>)

Anexo 2. Morfotipos analizados en el análisis con CLAMP e imágenes de una bráctea, una semilla y un fruto encontrados bajo la misma localidad. Por número de lámina se presenta:

Lámina 1. M= Morfotipo del 1 al 4. Escala 1cm.

Lámina 2. M= Morfotipo del 5 al 8. Escala 1cm.

Lámina 3. M= Morfotipo del 9 al 18. Escala 1cm.

Lámina 4. M= Morfotipo del 19 al 25. Escala 1cm.

Lámina 5. M= Morfotipo del 26 al 31. Escala 1cm.

Lámina 6. M= Morfotipo del 32 al 36. Escala 1cm.

Lámina 7. M= Morfotipo del 37 al 39. Escala 1cm.

Lámina 8. M= Morfotipo del 41 al 52. Escala 1cm.

Lámina 9. M= Morfotipo del 53 al 58. Escala 1cm.

Lámina 10. M= Morfotipo del 59 al 62. Escala 1cm.

Lámina 11. M= Morfotipo del 64 al 69. Escala 1cm.

Lámina 12. M= Morfotipo del 72 al 75. Escala 1cm.

Lámina 13. M= Morfotipo del 76 al 79. Escala 1cm.

Lámina 14. M= Morfotipo del 80 al 83. Escala 1cm.

Lámina 15. M= Morfotipo del 84 al 87. Escala 1cm.

Lámina 16. M= Morfotipo del 88 al 91. Escala 1cm.

Lámina 17. M= Morfotipo del 92 al 95. Escala 1cm.

Lámina 18. M= Morfotipo del 96 al 99. Escala 1cm.

Lámina 19. M= Morfotipo del 104 al 107. Escala 1cm.

Lámina 20. M= Morfotipo del 108 al 111. Escala 1cm.

Lámina 21. M= Morfotipo del 112 al 116. Escala 1cm.

Lámina 22. M= Morfotipo del 119 al 121. Escala 1cm.

Lámina 23. M= Morfotipo del 123 al 126. Escala 1cm.

Lámina 24. M= Morfotipo del 127 al 130. Escala 1cm.

Lámina 25. M= Morfotipo del 131 al 136. Escala 1cm.

Lámina 26. M= Morfotipo del 138 al 145. Escala 1cm.

Lámina 27. M= Morfotipo del 146 al 149. Escala 1cm.

Lámina 28. M= Morfotipo del 150 al MEG2. MEG= (Morfotipo, ejemplar grande)

Escala 1cm.

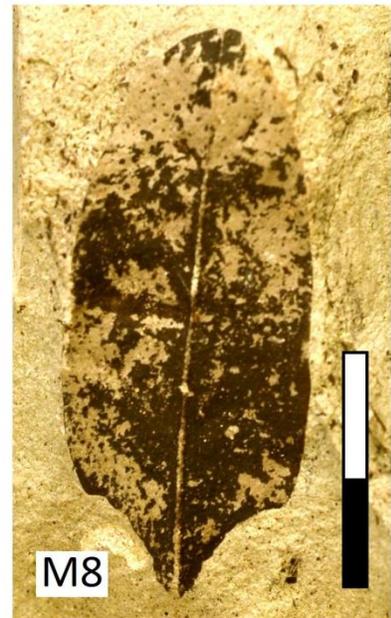
Lámina 29. M= Morfotipo del MEG3 al MEG4. MEG= (Morfotipo, ejemplar grande)

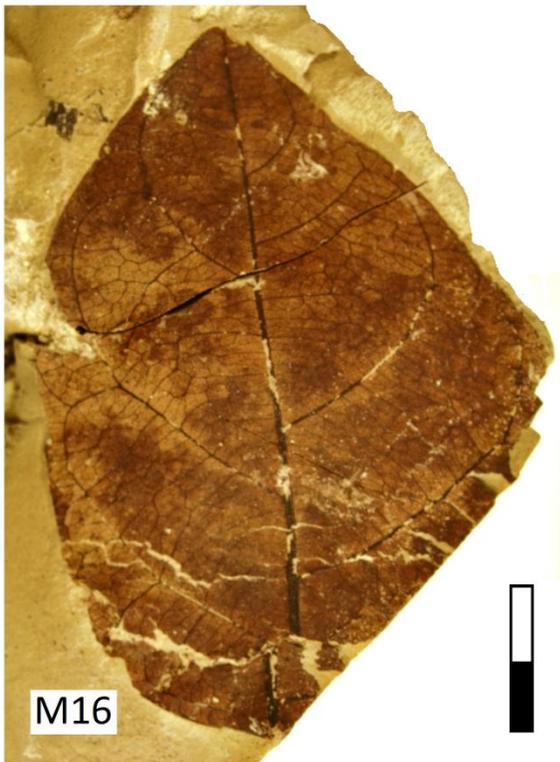
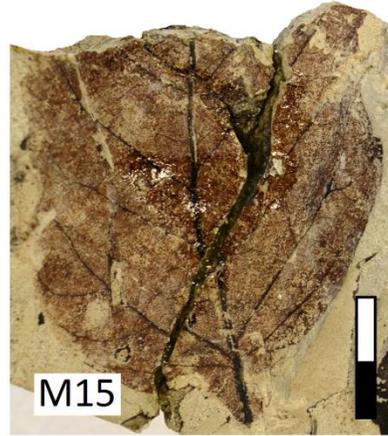
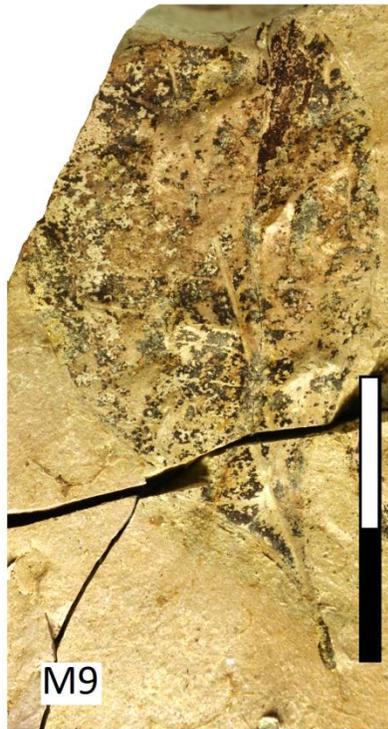
Escala 1cm.

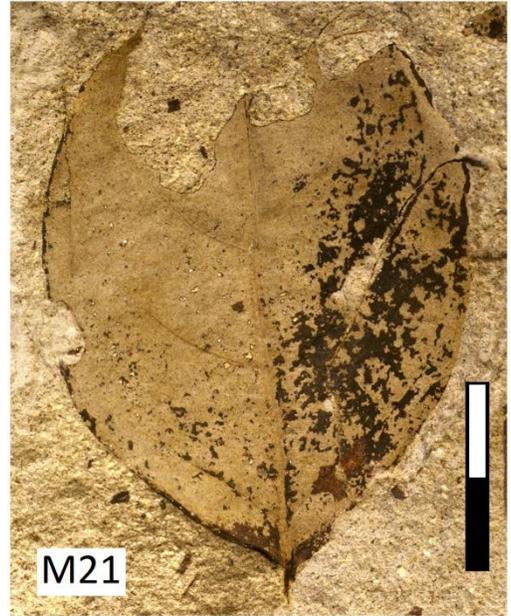
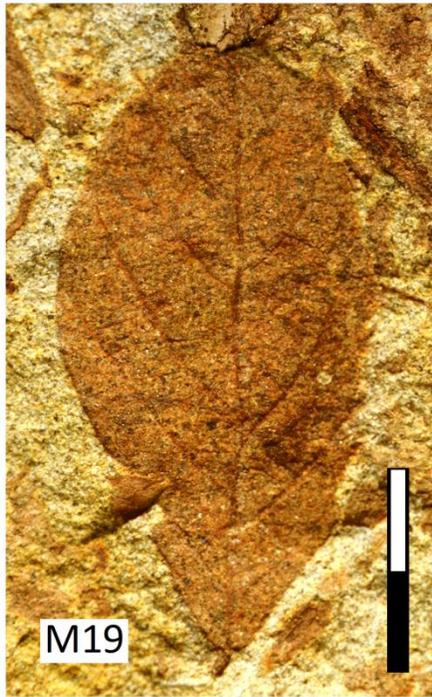
Lámina 30. Fotografías de una semilla, un fruto y una bráctea.



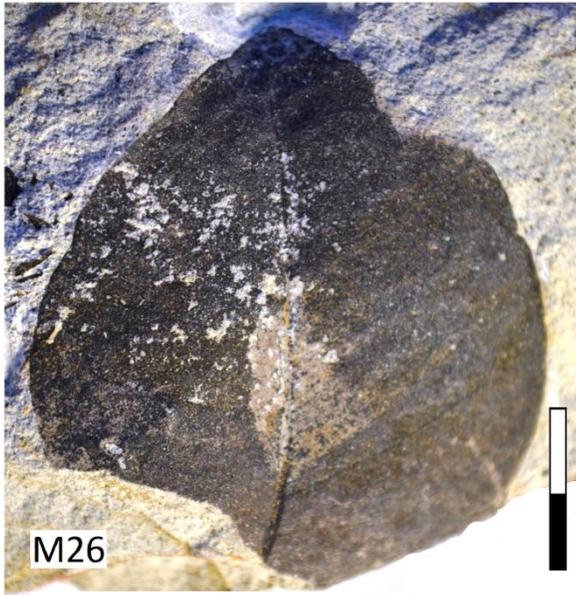
1.







4.



5.

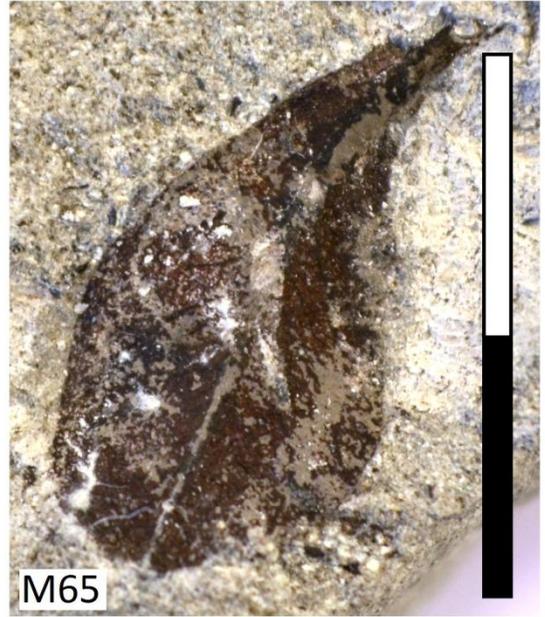














M72



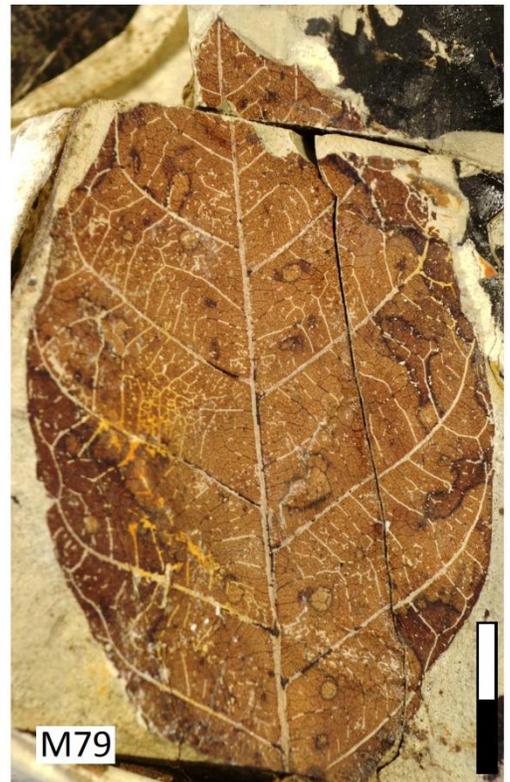
M73



M74

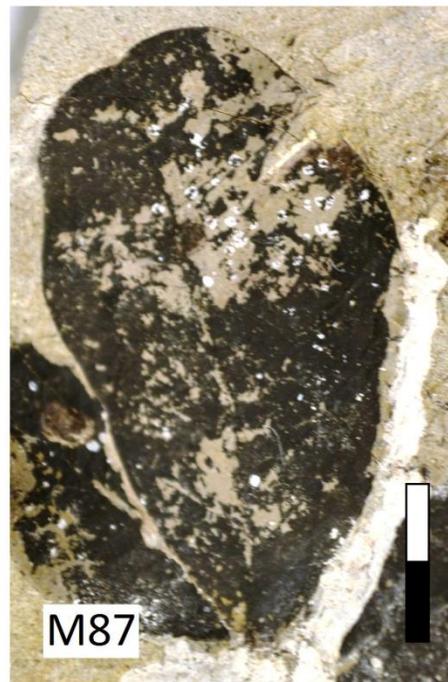
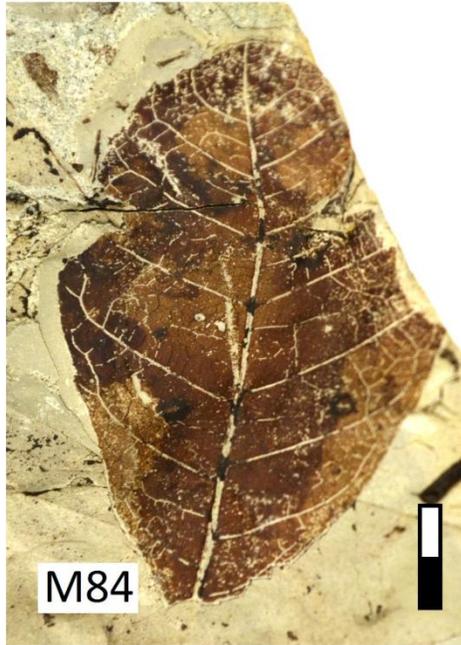


M75

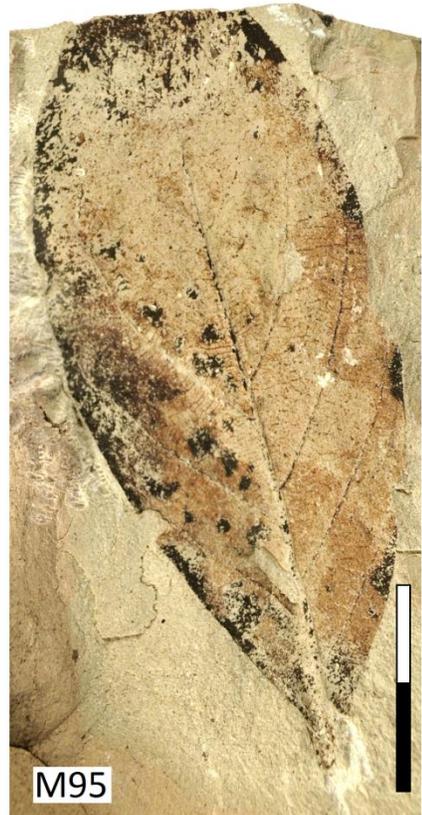
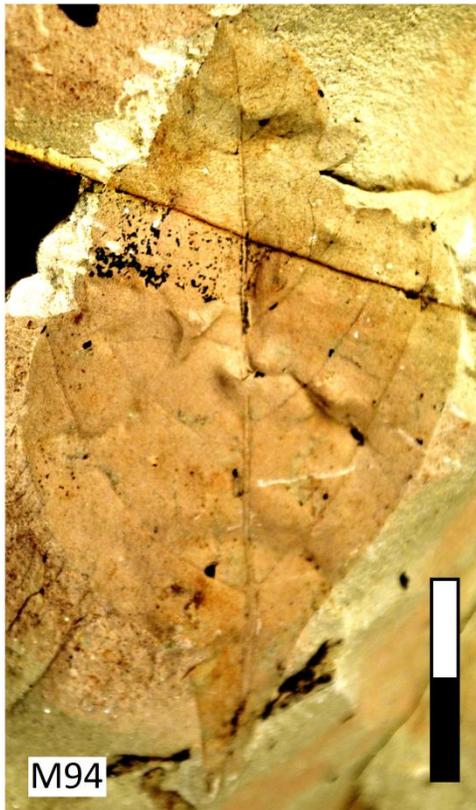


13.









17.



M96



M97



M98



M99

18.







M119



M119.1



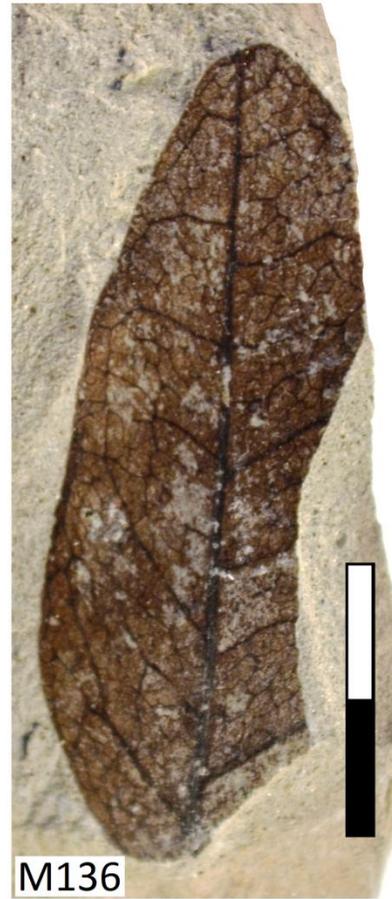
M120

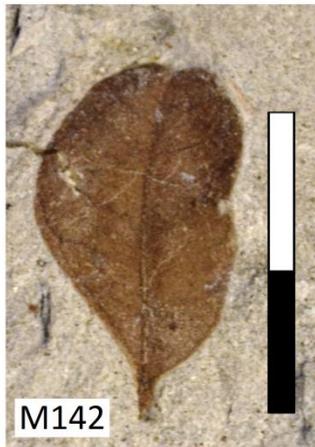
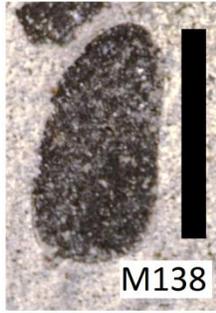


M121

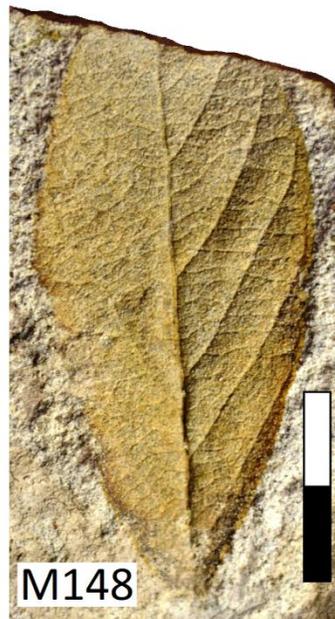








25.





M150



MEG1



MEG2

27.



