UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO ETNOBOTÁNICO DEL ZAPOTE NEGRO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

ROGER FABIÁN GARCÍA DÍAZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
MEXICO
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Diciembre de 2014

Chapingo, Estado de México

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO ETNOBOTÁNICO DEL ZAPOTE NEGRO

Tesis escrita por Roger Fabián García Díaz bajo la dirección del Dr. Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez y asesorada por el comité indicado, aprobado y aceptado como requerimiento parcial para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____

Ph.D. JESÚS AXAYACATL CUEVAS SÁNCHEZ

ASESOR _____

Ph.D. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

ASESOR _____

Ph.D. SERGIO SEGURA LEDESMA

ASESOR _____

M.C. FRANCISCO BASURTO PEÑA

AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer a tantas personas que han dado forma a este trabajo. En primer lugar agradezco al director de esta investigación, el colega y Maestro Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez por permitir y guiar este trabajo y por su serenidad y sabiduría en la vida misma.

Al colega y amigo, Sergio Segura, porque su experiencia en la caracterización de frutales y en Sistemas de Información Geográfica fueron determinantes en este trabajo. A la doctora TeTe por su agudeza en aspectos fisiológicos, así como por su fraternalidad y disposición en todo momento. Al maestro Francisco, por su quehacer incansable como etnobotánico y por la pertinencia y celeridad en sus revisiones.

A Daniel Zizumbo y Patricia Colunga, porque desde el comienzo hasta el final contribuyeron enormemente en las discusiones conceptuales y metodológicas suscitadas en este trabajo; por su cortesía y disponibilidad para mi corta pero provechosa estancia en el CICY.

A la maestra Ernestina Cedillo por su acompañamiento en campo y en herbario, por su ejemplo como persona e investigadora. A la maestra Emma Estrada por ampliar mi visión de la etnobotánica a la etnobiología y por su férreo compromiso por un mejor país. A Rosalinda Lemos, por la identificación de los materiales colectados y las sugerencias para el trabajo de campo. A la coordinación de posgrado, especialmente al Coordinador Juan Martínez y a Rogelio Daza, por apoyar las actividades de campo de la

mejor forma. Al Coordinador General, Rafael Núñez, por su atención y hospitalidad los primeros días y por el apoyo para asistir a eventos de divulgación científica.

Especialmente agradezco a todas las personas que compartieron una fracción de sus zapotes, su conocimiento y su forma de ver el mundo. A Luciano Malpica, el amable ermitaño. A Victor Manuel Lucho Chang por su transparencia y hospitalidad. A Nereo Zamitis, por su sencillez y amenas pláticas. A Leonardo Mora por su disposición y humildad. A Alberto Alay por enseñarme algo de Nahua y de su vida. A doña Silvia y doña Lourdes, abuelas por vocación. A Marcos Castillo por su curiosidad botánica y su banco de germoplasma *in situ*. Y por último a Celso Guzmán por su valioso conocimiento del Zapote Negro. A todos los sabedores que participaron en este trabajo, son ellos la fuente del conocimiento que aquí se interpreta.

Finalmente, al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, por el convenio de becas para estudiantes extranjeros americanos, beca 357731. Muchas gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nací el 4 de junio de 1986 en Zipaquirá, Colombia, un pueblo marcado por su pasado prehispánico y sus minas de sal. Estudié en el Colegio Nacional San Juan Bautista de la Salle donde egresé como mejor bachiller de mi generación. Obtuve uno de los mejores resultados en las pruebas para avanzar de la educación media superior a la universitaria y así fui becado por la Gobernación de Cundinamarca. Con ese apoyo viaje a Medellín para estudiar Ingeniería Biológica en la Universidad Nacional de Colombia. Paralelamente me formé en otras áreas del conocimiento asistiendo a cursos y compartiendo con colegas de artes plásticas, historia, antropología, periodismo, agronomía y ciencias forestales.

Más adelante fui profesor en el Tecnológico de Antioquia, lo que me permitió afinar mi propósito de seguir estudiando y abordar la pedagogía desde la teoría y la práctica. Posteriormente participé en cursos de agroecología de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) que me sirvieron para impulsar mi deseo de seguir labrando un cambio social desde la tierra.

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO ETNOBOTÁNICO DEL ZAPOTE NEGRO

CONTRIBUTION TO ETNOBOTANICAL KNOWLEDGE OF BLACK SAPOT

Roger Fabián García Díaz[1], J. Axayácatl Cuevas Sánchez[2]

RESUMEN GENERAL

Con el fin de explorar el potencial agrícola del género *Diospyros* (Ebenaceae) se realizaron análisis biogeográficos, climáticos y morfológicos. Los análisis geográficos permitieron identificar los lugares óptimos para conservación y aprovechamiento. Seguidamente se seleccionaron las dos especies de mayor reconocimiento para el análisis climático, *D. nigra* y *D. conzattii*, conocidas como Zapote Negro. Por último se estudió la variabilidad morfológica asociada al nivel de manejo en tres zonas de México. El centro de Veracruz y la Península de Yucatán fueron los lugares donde convergen el mayor número de especies y de secciones del género. Las adaptaciones climáticas de los zapotes negros estudiados les permiten ser cultivados comercialmente en gran parte del país. *D. nigra* reveló diferencias significativas entre los individuos silvestres, tolerados, fomentados y cultivados; asociados a la firmeza del pericarpio, el tiempo de maduración y el tamaño del arilo. Diferencias que pueden ser aprovechadas hortícolamente.

Palabras clave: Recursos fitogenéticos, *Diospyros* spp., diversificación agrícola, domesticación. México.

1 Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo. rfgarciadiaz@gmail.com

2 Profesor-Investigador C2 de Tiempo Completo, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. jaxayacatl@gmail.com

GENERAL ABSTRACT

In order to study the agricultural potential of the genus *Diospyros* (Ebenaceae), biogeographic, climatic and morphological analyzes were performed. The geographical analysis allowed identification of optimal points for its conservation and use. The two most recognized species were selected for climate analysis, *D. nigra* and *D. conzattii*; known as black sapote. Finally, morphological variability of individuals associated with level management was studied in three areas of Mexico and associated with aspects and components of the domestication process. The center or Veracruz and the Yucatan Peninsula were the places where the largest number of species and sections of the genus converge. Climatic adaptation of the studied black sapotes studied allow them to be grown commercially in a large part of the country. Significant differences were exhibited among wild, tolerated, promoted, and cultivated *D. nigra* individuals. These differences were associated with pericarp firmness, time of maturation and size of aryl and can be exploited horticulturally.

Key words: Phytogenetic resources, *Diospyros* sp., agriculture diversification, domestication, Mexico.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL....1
   OBJETIVOS....2
      General....2
      Específicos....2
   HIPÓTESIS....2
2. CAPÍTULO I: ANÁLISIS PANBIOGEOGRÁFICO DEL GÉNERO *Diospyros* (EBENACEAE) EN MÉXICO....4
   2.1 INTRODUCCIÓN....6
   2.2 MATERIALES Y MÉTODOS....8
   2.3 RESULTADOS....10
   2.4 DISCUSIÓN....15
   2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....19
3. CAPÍTULO II: POTENCIAL HORTÍCOLA DE DOS ESPECIES DE ZAPOTE NEGRO....23
   3.1 INTRODUCCIÓN....24
   3.2 MATERIALES Y MÉTODOS....27
   3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN....28
      3.3.1 Zapote negro, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. 29
      3.3.1 Zapote negro, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. 31
   3.4 CONCLUSIONES....33
   3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....35
4. CAPÍTULO III: DOMESTICACIÓN DEL ZAPOTE NEGRO, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. (EBENACEAE)....37
   4.1 INTRODUCCIÓN....38
   4.2 MATERIALES Y MÉTODOS....44
      4.2.1 Área de estudio....44
      4.2.2 Exploración etnobotánica....44

4.2.3 Análisis morfológico/morfométrico 45

4.2.3 Análisis estadísticos 48

4.3 RESULTADOS 49

4.4 DISCUSIÓN 57

4.5 CONCLUSIONES.....64

4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65

5. CONCLUSIONES GENERALES.....68

6. ANEXO 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las especies de *Diospyros*……11
Figura 2. Dendograma de provincias bieogrográficas……12
Figura 3. Trazo generalizado y nodos……13
Figura 4. Dendograma para la matriz de tipos de vegetación……14
Figura 5. Frutos en madurez de consumo, *D. conzattii* y *D. nigra*……26
Figura 6. Distribución potencial de *D. nigra*……..29
Figura 7. Distribución potencial de *D. conzattii*……32
Figura 8. Proyección de las UBC en los tres principales componentes..…53
Figura 9. Dendograma construido con variables cuantitativas y cualitativas. ……..…….55
Figura 10. Regresiones lineales de la firmeza del pericarpio……...….56
Figura 11. Frutos y árbol de Playa Escondida……..58
Figura 12. Frutos de *Gue* y *TorG*……..…59
Figura 13. Frutos de *Mar* y *Ner*……...60
Figura 14. Frutos del subgrupo B'……..60
Figura 15. Nectarios planos extraflorales ……63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz de presencia/ausencia de los trazos individuales de las especies de *Diospyros* en las provincias biogeográficas……..14

Cuadro 2. Matriz de presencia/ausencia de las especies de *Diospyros* en los tipos de vegetación…….....15

Cuadro 3. Variables bioclimáticas más influyentes en los dos principales componentes de *D. nigra*……...30

Cuadro 4. MANOVA de las características comparadas……..31

Cuadro 5. Variables más influyentes en los dos principales componentes de *D. conzattii*……32

Cuadro 6. Sitios de colecta del material vegetal…….....44

Cuadro 7. Variables cualitativas, etiquetas y rango……..47

Cuadro 8. Variables cuantitativas, etiquetas y rango…….48

Cuadro 9. Sitios de colecta de cada UBC……..50

Cuadro 10. Variación explicada por los 10 principales componentes……51

Cuadro 11. Vectores propios de los cuatro componentes principales……...52

Cuadro 12. Vectores propios de cada variable cualitativa..…….54

Cuadro 13. MANOVA de las variables significativas…….58

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Tiaui tacuati tlitlzapotl

Vamos a comer Zapote Negro

La creciente demanda de alimentos ha motivado el interés por la diversificación agrícola; la crisis ecológica ha aflorado la demanda de una producción comprometida con la conservación de los recursos genéticos; y la crisis social requiere de alternativas para las poblaciones poco competitivas en los mercados establecidos.

En este sentido, México tiene un potencial enorme para diversificar los mercados internacionales de alimentos, ávidos de nuevas variedades y especies alimenticias; los problemas ecológicos ponen en riesgo la sostenibilidad de los recursos y su vasta riqueza biocultural lo han configurado como uno de los centros de domesticación más importantes a nivel mundial. Especies como el aguacate, el maíz, el caco, el frijol, los nopales, el jitomate y tantas otras son base de la alimentación global y fueron domesticadas en México y Mesoamérica. Sin embargo, las especies comercializadas son una ínfima parte de las especies aprovechables en la alimentación y las desplazan por su poca rentabilidad; enfrentando proceso de erosión genética y cultural. En el caso de las especies frutales, se han reportado más de 600 que pueden ser usadas para contribuir a la seguridad y autonomía alimentaria, al desarrollo económico de las comunidades y a la conservación de la diversidad.

Para ello es necesario conocer aspectos tales como las áreas de mayor diversidad de las especies de interés, su adaptación climática y la variabilidad morfológica con que se cuenta para su explotación comercial y mejoramiento genético.

En este orden de ideas se analizó desde diversos enfoques el género *Diospyros* (Ebenaceae), un componente arbóreo de los ecosistemas con varias especies de interés hortícola por sus bayas comestibles, genéricamente conocidos como zapotes negros.

OBJETIVOS

General

Contribuir al conocimiento etnobotánico del Zapote Negro desde diferentes metodologías para cimentar las bases de su aprovechamiento y conservación.

Específicos

- Determinar para México las áreas de mayor diversidad y los patrones de distribución geográfica del género *Diospyros* por medio de un análisis panbiogeográfico.
- Establecer el potencial hortícola de las especies de Zapote Negro, *D, nigra* y *D. conzattii*, identificando las zonas idóneas para su cultivo en México.
- Interpretar el proceso de domesticación de *Diospyros nigra* mediante la comparación morfológica de los diferentes niveles de manejo y la exploración etnobotánica.

HIPÓTESIS

- Existen áreas de confluencia donde es posible encontrar la mayor diversidad de *Diospyros* en el menor tamaño del área.

- Las dos especies de Zapote Negro presentan una adaptación climática diferencial que permite establecer estos cultivos en gran parte del país.
- Existe un proceso de domesticación de *D. nigra* que ha alterado sus capacidades de dispersión en condiciones naturales por características de interés humano.

2. CAPÍTULO I

ANÁLISIS PANBIOGEOGRÁFICO DEL GÉNERO *Diospyros* (EBENACEAE) EN MÉXICO

PANBIOGEOGRAPHIC ANALISYS OF GENDER *Diospyros* (EBENACEAE) IN MEXICO

Roger Fabián García Díaz[1], J. Axayacatl Cuevas Sánchez[1], Sergio Segura Ledezma[2] y Francisco Basurto Peña[3].

RESUMEN

El género *Diospyros* (Ebenaceae) lo componen más de 500 especies, 120 están en América y al menos 20 en México. Este es un análisis de la distribución geográfica de los *Diospyros* mexicanos con base en 1452 coordenadas de ocurrencia de 20 especies para establecer los nodos y las provincias biogeográficas principales; aplicando un enfoque panbiogeográfico con un método combinado para el análisis de trazos y dos análisis de parsimonia de endemismos, asociados al mapa de regiones biogeográficas y al de tipos de vegetación. A partir de los trazos individuales y generalizados se obtuvieron los nodos panbiogeográficos que representan las áreas de mayor diversificación, el primero en el centro de Veracruz y el segundo en límites de Campeche y Yucatán. El análisis de parsimonia hermana a las provincias de Yucatán, Petén, Golfo de México dentro de un grupo basal con Depresión de las Balsas, Costa del Pacífico, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transversal, Sierra Madre del Sur, Oaxaca y Altiplano Zacatecano-Potosino. Los análisis de los tipos de vegetación evidencian los bosques tropicales como grupos basales. La mayoría de especies se encuentran en más de una provincia; La Costa del Pacífico, el Golfo de México y el Eje Volcánico tienen la mayor con 12 especies cada una.

Palabras clave: *Diosyros* spp., nodos panbiogeográficos, trazos generalizados, biodiversidad, México.

[1] Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, Estado de México, México. [2] CRUCO-UACh, 58170, Morelia, Michoacán, México; [3] Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, México. Correo electrónico: rfgarciadiaz@gmail.com.

ABSTRACT

The genus *Diospyros* (Ebenaceae) comprises over 500 species, there are 120 in America and at least twenty of these are in Mexico. This is an analysis of the geographical distribution of Mexican *Diospyros* based on 1452 coordinates of occurrence of twenty species to establish the principal nodes and biogeographic provinces; by applying a panbiogeographical approach with a combined method for the analysis of tracks and two parsimony analysis of endemisms associated to both, the map of biogeographic regions and the map vegetation types. From the individual and generalized tracks were obtain the panbiogeographical nodes, which represent the areas of greater diversification, the first one allocated in central Veracruz and the second one between Campeche and Yucatan limits. The parsimony analysis merges the provinces of Yucatan, Peten and Golfo de Mexico within a basal group with Depresion de las Balsas, Costa Pacífica, Sierra Madre Oriental, Eje volcánico Transversal, Sierra Madre del Sur, Oaxaca and Altiplano Zacatecano-Potosino. The analysis of vegetation types shows the tropical forests as basal groups. The majority of the species are in two or more provinces; the Costa Pacifica, the Golfo de Mexico and Eje volcanico Transversal have the higher richness, with 12 species each.

Palabras clave: *Diosyros* sp., panbiogeographical nodes, generalized tracks, biodiversity, Mexico.

2.1 INTRODUCCIÓN

El género *Diospyros* es el más representativo de la familia Ebenaceae con más de 500 especies, más de 100 en el continente americano y más de 20 en territorio mexicano. La última revisión comprensiva del género data del siglo XIX (Hiern, 1873); aunque recientemente las especies mesoamericanas han sido revisadas (Whitefoord y Knapp, 2009; Provance y Sanders, 2006, 2009, y Provence, García-Ruiz y Sanders, 2008) y actualmente se lleva a cabo una revisión de las especies netropicales (Wallnöfer, 2001, 2009, 2010, 2012, 2013 y 2014). No existe un estudio biogeográfico del género en México. La distribución principal se presenta en zonas tropicales y subtropicales; muchas de las especies del género son árboles dioicos de porte bajo y medio que crecen en bosques a bajas densidades poblacionales. Pocas especies han penetrado en zonas montañosas y templadas. Muchas de estas especies crecen en regiones húmedas, cerca de ríos o zonas inundables; así como algunas prefieren tipos de vegetación secos, sabanas y bosques caducifolios (Wallnöfer, 2001).

Este género cuenta con numerosos recursos de importancia económica; los de mayor reconocimiento son sus frutos y madera (ébano). *Diospyros kaki* es la especie más reconocida por su fruto, persimonio o kaki, producido a gran escala por múltiples variedades en Asia Oriental, China, Japón y Korea (Singh y Joshi, 2011). En México, la especie más aprovechada es *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. (*D. digyna* Jacq.), que se conoce como Zapote negro o Tlilzapotl en idioma Nahua; existiendo otras de importancia restringida a nivel local, como en el caso de *Diospyros conzattii* Standl. nombrada también como Zapote negro (Whitefoord y Knapp, 2009; Provance *et al*., 2013).

De acuerdo a Raven y Axelrod (1974) la familia se originó en el Cretáceo en Gondwana occidental y presumen que se estableció y diversificó en Eurasia y América del Norte en el Paleoceno. Sin embargo, no hay un estudio panbiogeográfico congruente con esta teoría. Dada su presencia en todos los trópicos del mundo, se espera que en México haya tenido oportunidad de adecuarse a una gran variedad de condiciones ecológicas, tanto tropicales como templadas. Para probar lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el patrón de distribución de *Diospyros* en México, así como las provincias que se pueden considerar como áreas endémicas de importancia para su conservación y aprovechamiento.

Con el fin de trazar los patrones de distribución de las especies, seguiremos las agrupaciones propuesta por Provance y Sanders (2006, 2009) y Provence, García-Ruiz y Sanders (2008), basados en análisis taxonómicos convencionales, a continuación se describen las características diferenciales de cada complejo con los *taxa* aceptados y reportados en México:

Complejo *Diospyros rosei* (Provance, García-Ruiz y Sanders, 2008): Peciolos ligeramente alados y venación arcolánguida, en donde las principales venas laterales casi forman bucles con las venas superadyacentes. *D. rosei* Standl., *D. oaxacana* Standl., *D. palmeri* Eastwood, *D. californica* LM. Johnston, D. sonorae Standl., *D. texana* Scheele, D. conzatiii Standl., *D. rekoi* Standl.. *D. xolocotzi* Madrigal & Rzedowski presenta sinonimia con *D. johnstoniana* Standl & Steyerm, pero este nombre conforma también el siguiente complejo.

Complejo *D. tetrasperma* (Provance y Sanders, 2006): Flores femeninas solitarias, débilmente acrescentes, 4-5 lobuladas, cáliz no mitriforme persistente en el fruto.

Fruto +/- gelatinoso. *D. tetrasperma* Sw., *D. anisandra* Blake, *D. johnstoniana* Standl. & Steyerm., *D. bumeloides* Standl.. y *D. yatesiana* Standl. Ex Lundell.

Complejo *D. salicifolia* (Provance y Sanders, 2006): Flores femeninas solitarias, marcadamente acrescentes, 3-4 lobuladas, cáliz mitriforme persistente en el fruto. *D. salicifolia* Humb & Bonpl ex Wild, *D. acapulcencis* Kunth, D. aequoris Standl., y *D. intricata* (A. Gray) Standl.

Complejo D. campechiana (Provance y Sanders, 2009): Inflorescencias femeninas de 1-4 flores; cáliz débilmente unido al fruto que permanece en el pedicelo. *D. camepchiana* Lundell.

D. nigra (Gmel.) Perr., la especie de mayor distribución en la república mexicana, silvestre y cultivada, no se encuentra agrupada en ninguno de los complejos publicados; si bien tiene características propias del grupo de *D. tetrasperma*, el tamaño de los frutos y la distribución geográfica no son consecuentes; además según Duangjai *et al.*, 2006, basándose en la secuenciación de regiones de ADN de los plastidios, relacionan más esta especie con especies suramericanas como *D. cayennensis* y *D. guianensis* que con las especies del complejo *D. tetrasperma* y del complejo *D. rosei*.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyó una base de datos de la distribución de las especies de Diospyros a partir de los registros integrados en la Global Biodiversity Information Facility (GBIF), y se verificó su identidad taxonómica aceptada; los individuos que presentaron coordenadas de distribución geográfica completa, latitud, longitud, estado y municipio, fueron tenidos en cuenta. Las coordenadas de distribución de cada especie se conectaron de tal forma que la distancia entre los puntos fuese mínima,

teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra, así se obtienen las redes de tendido mínimo según la teoría panbiogeográfica. Este procedimiento se realizó con el programa PASSaGE 2 (Rosenberg y Anderson, 2011) y Quantum-GIS 2.4 ‘Chugiak’ (Sherman *et al*., 2007), aplicando el método combinado propuesto por Liria (2008). Los trazos individuales obtenidos de cada especie se intersectaron con los demás de su complejo o grupo para generar los trazos generalizados. Estos trazos del grupo se superpusieron entre sí para obtener los nodos panbiogeográficos.

En el Análisis de Parsimonia de Endemismos (APE) se elaboró una matriz de presencia/ausencia con los trazos individuales de cada especie sobre las provincias biogeográficas (CONABIO, 1997) escala de 1:4000000; además, las coordenadas de presencia se asociaron a los tipos de vegetación definidos por Rzedowsky (1990, 2006) digitalizados por CONABIO (2014) con escala de 1:4000000. En el primero las columnas corresponden a las provincias biogeográficas y las filas el trazo individual de cada especie; la presencia se registró con 1 y la ausencia con 0. Con el fin de enraizar el dendograma se incluyó un área hipotética codificada con ceros. El APE permite relacionar las subregiones con base en los taxa compartidos y así dilucidar los elementos bióticos ancestrales fragmentados por eventos tectónicos o geológicos; los clados resultantes pueden interpretarse como trazos generalizados (Escalante, 2005; Andrés *et al*., 2006). El análisis de parsimonia se llevó a cabo con el programa T.N.T. 1.1 (Goloboff, Farris y Nixon, 2003) usando la opción New Technology Search (sectorial searches y tree fusing). Los árboles resultantes fueron examinados en Winclada versión 1.0 (Nixon, 2002); y en el caso de obtener varios dendogramas, también se obtuvo el de consenso estricto.

2.3 RESULTADOS

Se extrajeron 1452 coordenadas de ocurrencia de *Diospyros* sp., se trabajó con 20 especies luego de cotejar el nombre científico aceptado. Mismas se distribuyen en la Zona Neotropical y Transición Mexicana de Montaña, principalmente. La especie mejor distribuida es *D. nigra* con presencia en 12 provincias, seguida de *D. campechiana* en 10; las especies más restringidas son *D. californica*, *D. intricata. D. rekoi* y *D. johnstoniana*, con presencia en una sola subregión biogeográfica. Las provincias con mayor diversidad fueron el Golfo de México, la Costa del Pacífico y el Eje Volcánico, con 10 especies cada una; Baja California fue la única que no reporta ninguna especie de *Diospyros*. Se obtuvieron 20 trazos individuales que se muestran por sección. Como se mencionó, *D. nigra* no se encuentra ubicado en ningún complejo, pese a ser el taxón de mayor distribución, y el complejo *D. campechiana* sólo cuenta con la especie homónima en México; por esto y por su homología geográfica se analizaron como un mismo grupo, a pesar de sus diferencias morfológicas, ambas especies están emparentadas con otras de Centro y Sur América. Los trazos generalizados de los cuatro complejos se muestran en la Figura 1. Estos trazos convergen en un solo trazo general y dos nodos, el primero localizado en la provincia del Golfo de México alrededor de los municipios de Xalapa, Coatepec y Tlatetela, Veracruz, y el segundo en la provincia del Petén, municipio de Campeche, Campeche (Figura 4). El trazo generalizado inicia en el suroriente del país hacia la península de Yucatán y hacia el Golfo de México, donde se bifurca en el primer nodo para continuar hacia el norte, occidente y suroccidente.

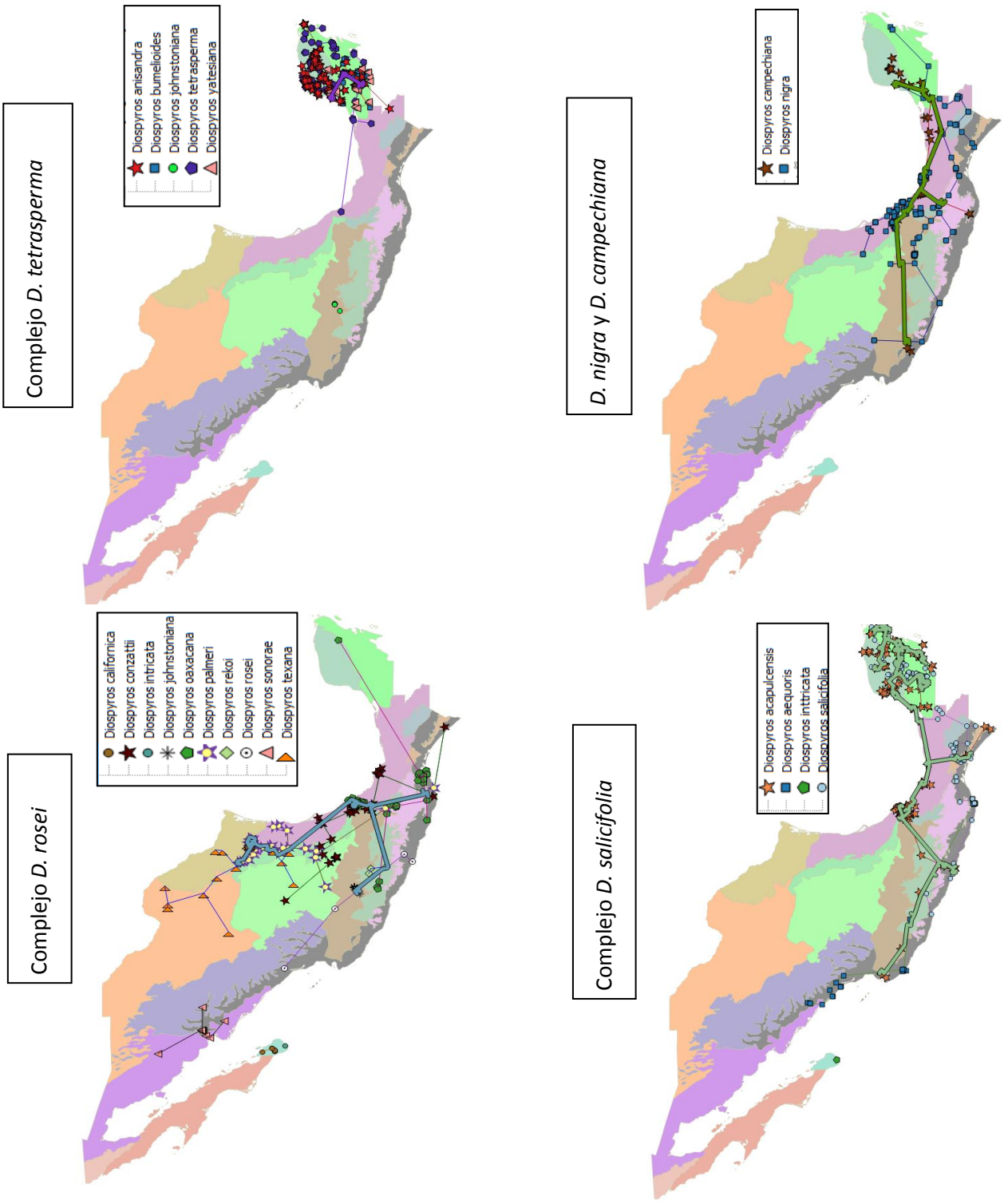

Figura 1. Ubicación geográfica de las especies de Diospyros. En el mapa de regiones biogeográficas (CONABIO, 1997) y su trazo individual y el trazo generalizado del grupo.

La matriz de presencia/ausencia de cada trazo específico sobre las regiones biogeográficas de los 20 *taxa* en las provincias biogeográficas se muestra en el Cuadro 1. A partir del APE se obtuvieron 2 árboles igualmente parsimoniosos con una longitud de 34, un índice de consistencia de 0.54 y un índice de retención de 0.81. Se muestra uno de los dendogramas que no difirió en ninguno de los clados establecidos con el otro árbol parsimonioso ni con el de concenso estricto (Fig 2). El clado principal, sustentado por *D. campechiana*, agrupa a las provincias de Altiplano Zacatecano-Potosino, Sierra Madre Oriental, Golfo de México, Peten, Yucatán, Oaxaca, Sierra Madre del Sur, Eje Volcánico, Costa del Pacífico y la Depresión del Balsas, en un primer grupo A. Anidado se encuentra el subgrupo (A') que lo sustentan los *taxa D. anisandra* y *D. tetrasperma* asociados a las provincias del Golfo de México, Peten y Yucatán; estas últimas dos hermanadas por *D. bumeloides* y *D. yatesiana*. Por último la provincia Del Cabo presenta un importante endemismo al ser la única región en donde se distribuyen *D. californica* y *D. intricata*; también *D. rekoi* es endémica de la Depresión del Balsas y *D. johnstoniana* del Eje Volcánico.

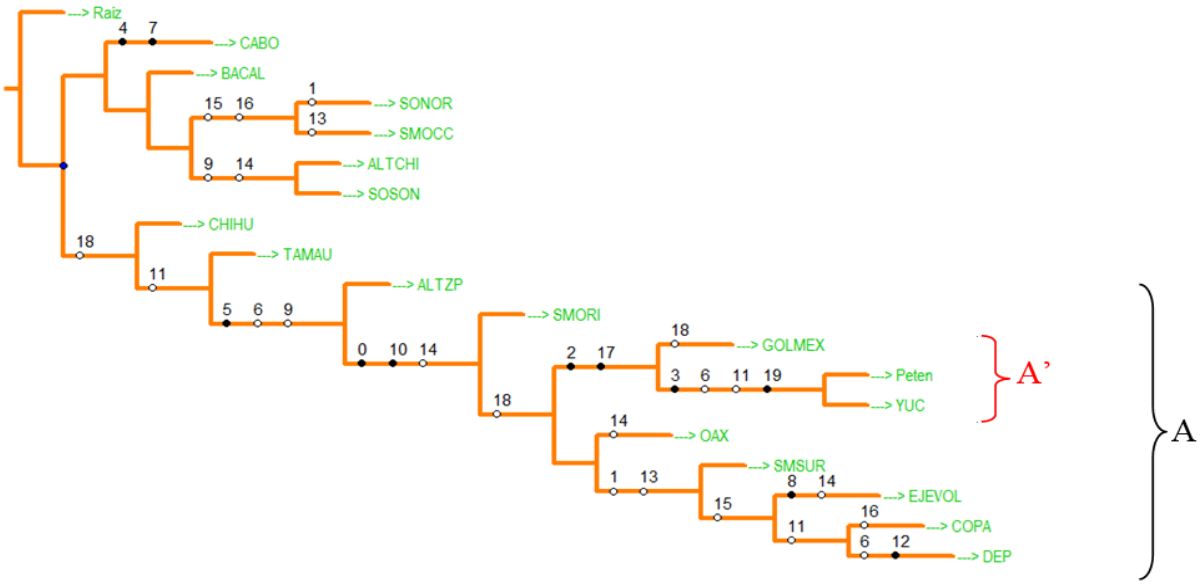

Figura 2. Dendograma de provincias bieogrográficas. L=34; Ci=58; Ri=0.81. Las terminales representan las provincias y los números las especies de *Diospyros*, tal como se describen en el Cuadro 2.

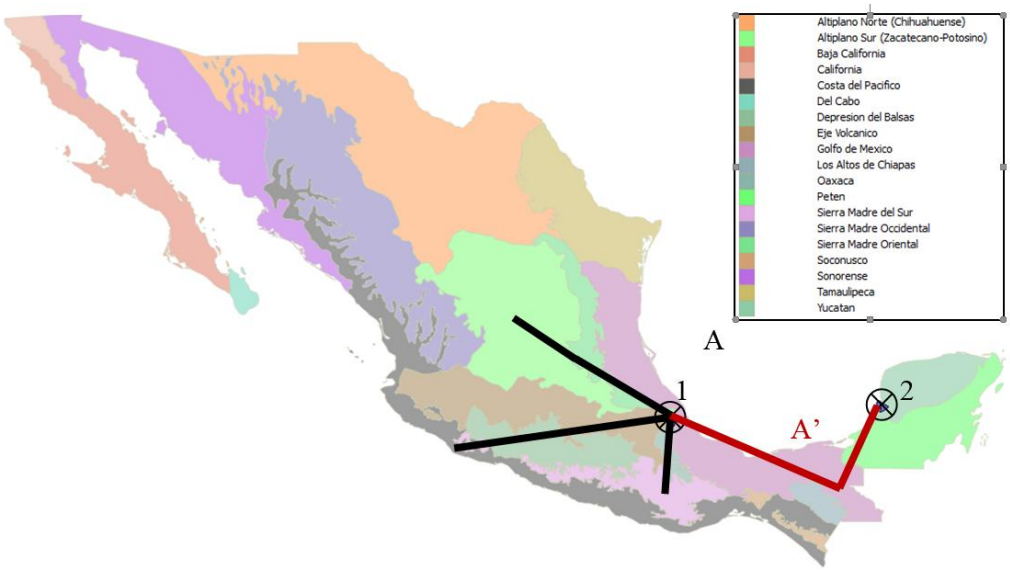

Figura 3. Trazo generalizado y nodos. Obtenidos a partir del análisis de parsimonia en las regiones biogeográficas. Regiones según la clasificación de la CONABIO (1997).

La matriz de presencia/ausencia sobre los tipos de vegetación según Rzedowsky (2006), arrojó tres árboles de longitud 36, índice de consistencia 0.55 y de retención 0.54; se muestra uno de los árboles y el de consenso estricto; longitud 44, índice de consistencia 0.45 e índice de retención de 0.31 (Figura 4). En este árbol se distingue un primer grupo con todos los tipos de vegetación a excepción del pastizal, sustentado por *D. oaxacana*. Anidado en el grupo principal, el siguiente clado, sustentado por *D. acapulcencis*, excluye al matorral xerófilo, único tipo de vegetación donde se distribuye *D. intricata*. Dentro de este grupo se separan los dos últimos clados; el de los bosques templados y secos, de coníferas y encinos y bosque espinoso, sostenido por *D. johnstoniana*, aunque éste grupo no se conserva en el dendograma de consenso estricto; el otro es el clado más basal, conformado por los bosques húmedos y subhúmedos perennifolios, subcaducifolios y caducifolios, es sustentado por D. anisandra y *D. tetrasperma*. Por último, la especie *D. rosei* agrupa el bosque tropical subcaducifolio y el caducifolio; este último es el único tipo de vegetación donde se presenta *D. rekoi*.

Cuadro 1. Matriz de presencia/ausencia de los trazos individuales de las especies de Diospyros en las provincias biogeográficas propuestas por Rzedowski (2006). COPA: Costa Pacífica; Petén; DEPBAL: Depresión del Balsas; YUCA: Yucatán; GOLMEX: Golfo de México; SMORI: Sierra Madre Oriental; SMSUR: Sierra Madre del Sur; ALTCHI: Altos de Chiapas; EJEVOL: Eje Volcánico: OAX: Oaxaca; ALTZP: Altiplano Zacatecano-Potosino; CHIHU: Chihuahuense; TAMAU: Tamaulipas; SONOR: Sonorense; SMOCC: Sierra Madre Occidental; BACAL: Baja California; CABO: Del Cabo; SOSON: Sosonusco.

Provincia	*0. D. acapulcencis*	*1. D. aequoris*	*2. D. anisandra*	*3. D. bumeloides*	*4. D. californica*	*5. D. campechiana*	*6. D. conzattii*	*7. D. intricata*	*8. D. johnstoniana*	*9. D. nigra*	*10. D. oaxacana*	*11. D. palmeri*	*12. D. rekoi*	*13. D. rosei*	*14. D. salicifolia*	*15. D. sinaloensis*	*16. D. sonorae*	*17. D. tetrasperma*	*18. D. texana*	*19. D. yatesiana*
Raíz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COPA	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Peten	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
DEPBAL	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
YUCA	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
GOLMEX	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0
SMORI	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
SMSUR	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
ALTCHI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
EJEVOL	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
OAX	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ALTZP	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
CHIHU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TAMAU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
SONOR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
SMOCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
BACAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CABO	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOSON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

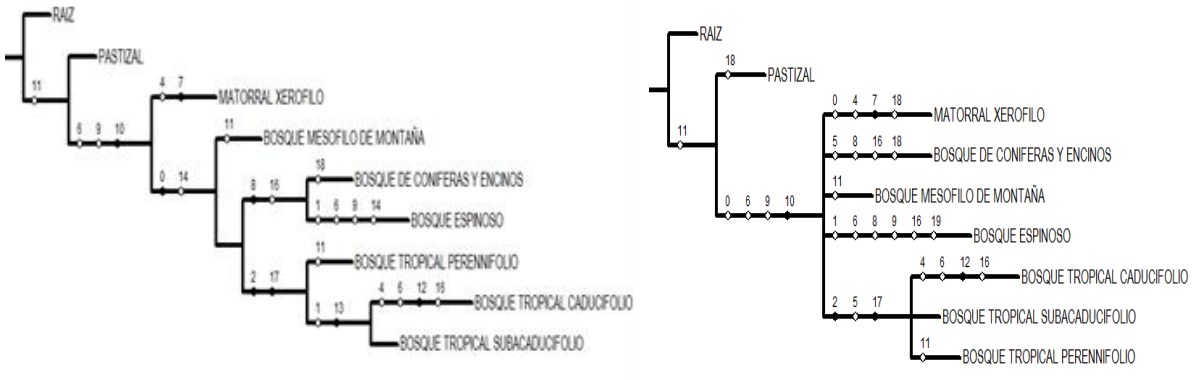

Figura 4. Izquierda: Uno de los dendogramas más parsimoniosos para la matriz de tipos de vegetación; L=36; Ci=55; Ri=0.54. Derecha: Dendograma de consenso estricto; L=44; Ci=0.45; Ri=0.31.

Cuadro 2**.** Matriz de presencia/ausencia de las especies de *Diopsyros* en los tipos de vegetación propuestos por Rzedowski (2006).

Tipos de vegetación	*0. D. acapulcencis*	*1. D. aequoris*	*2. D. anisandra*	*3. D. bumelioides*	*4. D. californica*	*5. D. campechiana*	*6. D. conzatii*	*7. D. intricata*	*8. D. johnstoniana*	*9. D. nigra*	*10. D. oaxacana*	*11. D. palmeri*	*12. D. rekoi*	*13. D. rosei*	*14. D. salicifolia*	*15. D. sinaloensis*	*16. D. sonorae*	*17. D. tetrasperma*	*18. D. texana*	*19. D. yatesiana*
Raíz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bosque tropical caducifolio	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Bosque tropical subcaducifolio	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Bosque tropical perennifolio	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
Matorral xerófilo	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Bosque de coníferas y encinos	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0
Bosque mesófilo de montaña	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Bosque espinoso	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
Pastizal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0

2.4 DISCUSIÓN

La distribución del género *Diospyros* corresponde con la región Caribea en zonas húmedas y subhúmedas de Yucatán, Golfo de México, Depresión del Balsas y Costa del Pacífico; con la región Mesoamericana de Montaña o Zona de Transición Mexicana: Eje Volcánico, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y Oaxaca; y escasamente con la región Xerofítica Mexicana en zonas secas (Altiplano Zacatecano-Potosino, del Cabo y Tamaulipeca). Diversos autores han evidenciado la homología que presentan distintos organismos con variados sistemas de dispersión, debido a que se han visto sometidos a los mismos procesos históricos (Halffter, Llorente-Bousquets y Morrone, 2008): aves (Álvarez y Morrone, 2004), coleópteros de diferentes familias (Corona *et al*., 2009; Toledo *et al*, 2007). Para este caso, el

género *Diospyros* concuerda con Raven y Axelrod (1974), se comporta biogeográficamente como un elemento Neotropical antiguo, originalmente Gondwánico, relacionado con América Central y del Sur; con un patrón homólogo a los del género *Zanthoxylum,* familia Rutaceae (Puga-Jiménez *et al.*, 2013); a los trazos mesoamericanos del género *Piper,* familia Piperaceae (Quijano-Abril *et al*., 2006); a los de los coleópteros, específicamente las familias *Bupresitade* y *Cerambycidae* (Toledo *et al.*, 2007; Corona *el al.*, 2009); a la subfamilia *Charaxinae*, familia *Nymphaldae*, orden Lepidoptera (Maya-Martínez, Schmitter-Soto y Pozo, 2011) y las abejas de la tribu Meliponini (Yanez-Ordoñez, Trujano y Llorente, 2008).

Según las agrupaciones propuestas por Provance, García-Ruiz y Sanders (2008), Provance y Sanders (2006 y 2009), se reconocen tres trazos generalizados. Las especies del complejo *D. rosei* se distribuyen en las Sierras Meridionales propuestas por Rzedowsky (2006) soportando los climas más cálidos y secos de todo el género, si bien, especies como *D. conzattii* y *D. oaxacana* también se distribuyen en bosques tropicales perennifolios, las demás especies prefieren el bosque tropical subcaducifolio, el de coníferas y encinos, el bosque espinoso y hasta el material xerófilo. El complejo *D. tetrasperma* se restringe a las zonas húmedas y subhúmedas de la península de Yucatán y parte del Golfo de México, con excepción de *D. johnstoniana* se presenta en el Eje Volcánico Transversal; sin embargo, su especie sinónima *D. xolocotzi* también es agrupada en el complejo *D. rosei* presentando homología geográfica con las demás especies de este complejo; por lo que desde el punto de vista biogeográfico no concuerda con el complejo *D. tetrasperma*. Las especies del complejo *D. salicifolia* se distribuyen principalmente en zonas costeras en bosques tropicales perennifolios y subcaducifolios. Además, *D. campechiana* y *D. nigra* presentan gran homología geográfica y ambas presentan

filiación con especies centro y suramericanas, respectivamente (Duangjai *et al.*, 2006; Provance y Sanders, 2009).

La especie de mayor distribución es *D. nigra* con presencia en 12 de las 17 provincias biogeográficas mexicanas; esto se debe, principalmente, a que es la especie de mayor interés antrópico por sus bayas comestibles y es cultivada extensamente (Whitefoord y Knapp, 2009). En el otro extremo están las especies *D. califórnica*, *D. intricata, D. johnstoniana* y *D. rekoi* que están restringidas a una sola provincia, comprometiendo su supervivencia; las dos primeras están en la provincia del Cabo, la tercera en el Eje Volcánico y la última en la Depresión del Balsas. Las provincias de Baja California y Chiuahuense son las que menos presentan especies de *Diospyros*, con 0 y 1 especies, respectivamente. Las áreas donde se restringen estas especies son valiosas para evitar su extinción (DaSilva, 2011).

En cuanto a las subregiones, las que más especies albergan son la Costa Pacífica, el Golfo de México y el Eje Volcánico, cada una con 10; seguidas de Peten, Yucatán y Depresión del Balsas con 9. En el Golfo de México y el Peten se presentan los nodos panbiogeográficos (NP); el primer nodo concuerda con el nodo oriental encontrado por Contreras-Medina y Eliosa-León (2001) para vegetales y animales, donde convergen el trazo generalizado Sudamericano con el trazo Norteamericano Oriental; también corresponde con el nodo 1 y 2 hallado por Puga-Jiménez *et al*. (2013) para el género *Zanthoxylum*; con el nodo 4 descrito por Yáñez-Ordóñez (2008) para la tribu Meliponini y con el nodo 16 de García, M. G. (2003) para mamíferos terrestres. Los NP se pueden interpretar en este caso como centros de diversidad filogenética y de afinidades biogeográficas, o bien como sus límites. Además, las zonas de transición pueden coincidir con NP, los cuales promoverían la diversificación biótica al ser zonas evolutivamente activas (Miguel-Talonia y

Escalante, 2013); estas áreas representan eventos vicariantes geográficos y/o ecológicos que dividieron a los *taxa* involucrados, por lo que a cada evento de especiación corresponde uno de diversificación geográfica o ambiental (Silvia-Galicia, 2013). Estos nodos representan áreas prioritarias para la conservación de diferentes *taxa* y, especialmente, para los del género *Diospyros*.

A partir del análisis de parsimonia con los tipos de vegetación, el grupo más basal es el conformado por el bosque tropical perennifolio, subcaducifolio y caducifolio, lo que lleva a pensar que el ancestro común de estas especies es propio de estos tipos de vegetación. El análisis de parsimonia con las regiones biogeográficas pone de manifiesto un único trazo generalizado que concuerda principalmente con el patrón Neotropical Moderno, mismo que ocupó territorios mesoamericanos después de la consolidación del puente panameño hace 3.5 millones de años (Halffter, Llorente-Bousquets y Morrone, 2008); el primer nodo y el trazo generalizado sugieren que en la expansión hacia el norte, por el Golfo de México, el Eje Volcánico Mexicano representó una barrera biogeográfica que motivó procesos de especiación. Además, el patrón moderno se evidencia por la afinidad entre especies del norte de Suramérica y especies como *D. nigra*, que según los análisis moleculares de Duangjai *et al*. (2006) presenta cercanía con *D. guianensis* y *D. cayennensis*, ambas del nororiente suramericano. Sin embargo, las especies del complejo *D. rosei* se distribuyen ampliamente por el territorio mexicano, aún en la península de California, indicando que este grupo no encontró la barrera del Eje Volcánico y tuvo un ingreso anterior que concuerda con el patrón Neotropical Antiguo. En este complejo también se observan trazos individuales que coinciden con el patrón Mesoamericano de Montaña conformado por especies que se han diversificado en las llamadas Sierras Meridionales (Rzedowsky, 2006), específicamente especies como *D. johnstoniana*,

D. oaxacana, *D. rosei* y *D. rekoi* (Halffter, Llorente-Bousquets y Morrone, 2008).

Lo anterior nos lleva a suponer una presencia primera de especies del género *Diospyros* en bosques tropicales, ascendiendo desde la provincia de la Costa Este Centroamericana y/o desde la provincia del Caribe (Antillana) (Morrone, 2008) para ocupar tempranamente la península de Yucatán y diversificarse siguiendo procesos de dispersión. Por otro lado un ancestro común moderno continuó su distribución hacia el norte hasta encontrar el NP 1, donde convergen cuatro provincias biogeográficas (Golfo de México, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico y Oaxaca) y cuatro tipos de vegetación (bosque tropical perennifolio, bosque tropical caducifolio, bosque mesófilo de montaña y bosque de coníferas y encinos. Enfrentándose no sólo a barreras fisiográficas sino biológicas, enfrentando la vegetación propia del patrón Neártico, lo que sugiere procesos de evolución vicariante. Desde este primer nodo se dispersaron algunas especies adaptadas a condiciones de poca humedad y/o de mayor elevación como *D. texana*, *D. palmeri* que continuaron con su dispersión al norte; mientras que otras especies se dispersaron al occidente y al sur por la región Mesoamericana de Montaña. Con base en estos resultados, este género puede ser considerado como prueba de la transición de especies de la región Neotropical hacia la Zona de Transición Mexicana de Montaña según el modelo que sugiere Miguez-Gutíerrez *et al.* (2013).

2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrés-Hernández, A.; Morrone, J.; Terrazas, T. y López, L. 2006. Análisis de trazos de las especies mexicanas de *Rhus* subgénero *Lobadium* (Angiospermae: Anacardiaceae). Interciencia 12:1-11.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997. Provincias biogeográficas de México escala 1:4000000, México, D. F. Disponible en

http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/rbiog4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no; última consulta 17.IX.2014.

Corona, A., V. Toledo y J. Morrone. 2009. Track analysis of the Mexican species of Buprestidae (Coleoptera): testing the complex natura of the Mexican Transition Zone. Journal of Biogeography 36:1730-1738

DaSilva, M. B. 2011. Áreas de endemismo: as espécies vivem em qualquer lugar, onde podem ou onde historicamente evoluíram? Revista da Biología Vol. Esp. Biogeografia: 12-17.

Duangjai, S.; Wallnöfer, B.; Samuel, R.; Munzinger, J. y Chase, M. W. 2006. Generic delimitation and relationships in Ebenaceae sensu lato: evidence from six plastid DNA regions. American Journal of Botany 93(12):1808-1827.

Escalante T, Rodríguez G, Morrone JJ. 2005. Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de Montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. Revista Mexicana de Biodiversidad 76: 199-205.

Goloboff, P.; Farris, J. y Nixon, K. 2003. T.N.T. Tree Analysis Using New Technology. www.zmuc.dk/public/phylogen; última fecha de consulta: 20.VIII.2014.

Halffter, G.; Llorente-Bousquets, J. y Morrone, J. J. 2008. La perspectiva biogeográfica histórica. *In*: Capital natural de México, Vol. I: conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. pp. 67-86.

Hiern, W. P. 1873. A monograph of Ebenaceae. Transactions of the Cambridge Philosophical Society 12:27-300.

Maya-Martínez, A.; Schmitter-Soto, J. J. y Pozo, C. 2011. Panbiogeography of the Yucatan Peninsula base on *Charaxinae* (Lepidoptera: *Nymphalidae*). Florida Entomologist 94(3):527-533.

Miguel-Talonia, C y Escalante, T. 2013. Los nodos: El aporte de la panbiogeografía al entendimiento de la biodiversidad. Biogeografía, Bulletin of the Systematic and Evolutionary Biogeographical Association 6:30-42.

Miguez-Gutiérrez, A.; Castillo, J.; Márquez, J.; Goyenechea, I. 2013. Biogeografía de la Zona de Transición Mexicana con base en un análisis de árboles reconciliados Revista Mexicana de Biodiversidad 84(1):215-224.

Morrone, J. J. 2008. Evolutionary biogeography: An integrative approach with case studies. New York: Columbia University Press.

Nixon, C. 2002. Winclada ver. 1.00.08 New York. Disponible en: www.cladistic.com/about_winc.htm; última consulta: 20.VIII.2014.

Liria, J. 2008. Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado. Revista Mexicana de Biodiversidad 79:281-284.

Liria, J. 2013. Guía práctica Biogeografía (Parte I). Catedra: Análisis Espaciales y Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones en el estudio de la Biodiversidad. Unidad Academia de Biodiversidad Animal. Departamento de Biología, Universidad de Carabobo. Venezuela. 29p.

Nihei, S. S. 2008. Dynamic endemism and 'general' biogeographic patterns. Biogeografía: Bulletin of the Systematic and Evolutionary Biogeographical Association 3:2-6.

Provance, M. C., García-Ruiz, I. y Sanders, A. C. 2008. The *Diospyros salicifolia* complex (Ebenaceae) in Mesoamerica. Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 2(2):1009-1100.

Provance, M. C. y Sanders, A. C. 2006. More american black sapotes: new *Diospyros* (Ebenaceae) for Mexico and Central America. SIDA 22(1):277-304.

Provance, M. C. y Sanders, A. C. 2009. An overview of the *Diospyros campechiana* complex (Ebenaceae) and descriptions of three new species. Journal of the Botanical Research Institute of Texas 3(1):85-112.

Provance, M.; García R., I.; Thommes, C. y Ross-Ibarra, J. 2013. Populations genetics and ethnobotany of cultivated *Diospyros riojae* Gómez Pompa (Ebenaceae), an endangeres fruit crop Mexico. Genetic Resources Crop Evolution 60:2171-2182.

Puga-Jinénez, A. L.; Andrés-Hernández, A. R.; Carrillo-Ruiz, H.; Espinosa, D.; Rivas-Arancibia, S. P. 2013. Patrones de distribución del género *Zanthoxylum* L. (Rutaceae) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 84: 1179-1188.

Quijano-Abril, M. A.; Calejas-Posada, R. y Miranda-Esquivel, D. R. 2006. Ditributional patterns and endemism áreas of the Neotropical species of *Piper* (Piperaceae). Journal of Biogeography 33:1266-1278.

Raven, P. H. y Axelrod, D. I. 1974. Angiosperm biogeography and past continental movements. Annals of Missouri Botanical Garden 61:539-673.

Rosenberg, M. S. y Anderson, C. D. 2011. PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographics Exegesis. Version 2. Methods and Evolution 2:229-232.

Rzedowski, J. 1990. Vegetación potencial. En. Instituto de Geografía. Atlas Nacional de Mexico, Vol. II, IV.8.2. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de Mexico, Mexico. Digitalizado por CONABIO: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/vpr4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no; última fecha de consulta: 16.IX.2014.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 p. Digitalizado y actualizado en 2008 por CONABIO.

Santos, Ch. M. 2011. Sobre a busca de padrões congruentes na biogeografia. Revista da Biologia Vol. Esp. Biogeografia:6-11.

Sherman, G. E.; Sutton, Blazek, R.; Holl, S.; Dassau, O.; Mitchell, T.; Morely, B. y Luthman, L. 2007. Quantum GIS ver. 2.4 'Chugiak'. Disponible en: qgis.org; última consulta 17.IX.2014.

Silvia-Galicia, A. L. 2013. Revalorando la historia de los taxones en la reconstrucción biogeográfica. Biogeografía, Bulletin of the Systematic and Evolutionary Biogeographical Association 6:20-29.

Singh, S. y Joshi, H. 2011. *Diospyros kaki* (Ebenaceae): A Review. Asian J. Res. Pharm. Sci. 1(3):55-58.

Toledo, V.; Corona, A. y Morrone, J. 2007. Track analysis of the Mexican species of Cerambycidae (Insecta, Coleoptera). Revista Brasileira de Entomología 51:131-137.
Wallnöfer, B. 2001. The biology and systematics of Ebenaceae: a review. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, B, 103:485-512.

Wallnöfer B., 2009: A revision of neotropical *Diospyros* (Ebenaceae): part 2. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B 110:173-211.

Wallnöfer B., 2010: A revision of neotropical *Diospyros* (Ebenaceae): part 3. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B 111:101-133.
Wallnöfer B., 2012: A revision of neotropical *Diospyros* (Ebenaceae): part 5. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B 113:223-251.

Wallnöfer B., 2013: A revision of neotropical *Diospyros* (Ebenaceae): part 6. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B 115:219–235.

Wallnöfer B., 2014: A revision of neotropical *Diospyros* (Ebenaceae): part 7. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B 116:153–179.

Whitefoord, C. y Knapp, S. 2009. Ebenaceae. En Flora Mesoamericana. Volumen 4(1) Cucurbitaceae a Polemoniaceae. 611-616.

Yáñez-Ordóñez, O.; Trujano, M.; Llorente, J. 2008. Patrones de distribución de las especies de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apoidea: Apidae) en México. Interciencia 33:42-45.

3. CAPÍTULO II

POTENCIAL HORTÍCOLA DE DOS ESPECIES DE ZAPOTE NEGRO

HORTICULTURAL POTENTIAL OF TWO SPECIES OF BLACK SAPOTE

Roger Fabián García Díaz[1], J. Axayacatl Cuevas Sánchez[1], María Teresa Colinas León[1], Sergio Segura Ledezma[2] y Francisco Basurto Peña[3].

RESUMEN

El Etnotaxón Zapote, del idioma nahua Zapotl, comprende por lo menos 13 especies de diferentes familias botánicas en México, con frutos comestibles. Zapote Negro o Titlazapotl es el nombre de varias especies de *Diospyros* en la familia Ebenaceae. *D. nigra* (Gmel.) Perr. (*D. digyna* Jacq.) y *D. conzattii* (Standl.) son los más conocidos. Las colectas de estas especies son presentadas en mapas que representan las regiones donde el clima es similar al de los sitios donde las muestras fueron colectadas y por tanto tienen alta probabilidad de ocurrencia y cultivo. La diversidad eco-climática se representa cartográficamente permitiendo identificar las particularidades climáticas en las que se encuentran los árboles. Complementariamente se presentan algunas características organolépticas de interés para su comercialización. La investigación de esto zapotes es incipiente y la conservación integral, mejoramiento y uso es un área promisoria en la producción agrícola en México.

Palabras clave: *Diosyros nigra*, *Diospyros conzattii*., recursos genéticos, conservación, México.

[1] Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, Estado de México, México. [2] CRUCO-UACh, 58170, Morelia, Michoacán, México; [3] Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, México. Correo electrónico: rfgarciadiaz@gmail.com.

ABSTRACT

The ethnotaxon Sapote, from language nahua Zapotl, consist in at least 13 species of different botanical families in México, with edible fruits. Black sapote o Titlzapotl refers to some *Diospyros* species in Ebenaceae familiy. *D. nigra* (Gmel.) Perr. and *D. conzattii* (Standl.) are the most know. The collects of this species are presented in maps which represent regions where the climate is similar to that in sites where samples were collected, and therefore have a high probability of occurrence and cultivation. The eco- climatic diversity was represented cartographically possible to identify the climatic where the trees are. Additionally some organoleptic characteristics of interest are presented for marketing. Research these Sapotes is incipient and integrated conservation, improvement and use is a promising area in agricultural production in Mexico.

Palabras clave: *Diosyros nigra, Diospyros conzattii*., genetic resources, conservation, Mexico.

3.1 INTRODUCCIÓN

Zapote Negro es el nombre común de varias especies del género *Diospyros*, familia Ebenaceae, aunque dos son las especies más conocidas con este nombre: *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. y *Diospyros conzattii* (Standl.). Según las estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, la superficie sembrada del Zapote Negro para 2013 fue de 2,268 Ha con una producción de 17,378 Ton y 59 millones de pesos; con un rendimiento promedio de 9 Ton/Ha y $ 3,397 por tonelada. El 87 % de la producción es obtenida en áreas bajo riego de los estados de Campeche, Yucatán, Veracruz, Oaxaca, Michoacán y Morelos, principalmente; mientras que el 23 % restante se produce en temporal en los estados de Chiapas, Campeche y Veracruz, principalmente (SAGARPA, 2013).

La especie más comercializada es *D. nigra* (Gmel.) Perr., descrita por primera vez por J. F. Gmelin como *Sapota nigra* y mejor conocida como *D. digyna* (Jacq.); sin embargo, el nombre aceptado es el propuesto por Gmelin con la transformación de Perrotet al género *Diospyros* (TAXON, 2013). Son árboles dioicos de 8-35 m de altura, de corteza negra, acanalada. Con bayas comúnmente de 6 a 8

cm de diámetro, subglobosas, glabras cuando maduras, negras (Figura 1); pedicelo en el fruto 2-4 cm, muy robusto y leñoso; cáliz en el fruto 3.5-4 cm de diámetro, pateniforme, someramente lobado, los lobos 4, 1-1.5 cm, anchamente ovados o suborbiculares. Semillas 8 o 10 o menos por aborto, de 2 x 1 cm. Frecuente en selvas riparias, bosques montanos y extensamente cultivada en México y Mesoamérica por sus frutos comestibles. (Whitefoord y Knapp, 2009). Por sus características organolépticas los frutos se consumen en estado fresco y la pulpa se usa en la fabricación de helados, en repostería y conservas; el contenido de ácido ascórbico es superior al de los cítricos, 191.7 mg (Miller *et al.*, 1998). El proceso de maduración de los frutos es típicamente climatérico con un máximo climatérico a los 5-6 días después de la cosecha, donde el máximo respiratorio antecede al pico de producción de etileno, disminuyendo su firmeza desde 31.5 N a la cosecha hasta 3.8 N en el día 6. Este fruto genera grandes cantidades de bióxido de carbono y etileno. (Arellano-Gómez *et al*., 2005). Yahia *et al*. (2010), encontraron una alta capacidad antioxidante comparada con otras frutas importantes como alimentos funcionales, debida principalmente a compuestos fenólicos y carotenoides, por lo que sugieren su inclusión en la dieta regular. Según CONABIO y CONAFOR, *D. nigra* es una especie prioritaria para su conservación, debido a aspectos ecológicos y sociales (FAO, 2012).

Diospyros conzattii, (= *D. riojae* Gomez-Pompa), descrito por Standley como de sabor delicioso y superior al de *D. digyna*. Árbol comúnmente de 10 m. Con bayas de 4-5 cm de diámetro (Figura 1), solitarias, deprimido globosas, glabras, verdes; semillas 5-10, comúnmente de 13 x 10 mm, comprimidas, pardas. Especie propia de bosques montanos y conocida en Oaxaca como Zapote Negro Montés, donde sólo se ha registrado una colecta, el holotipo proveniente del jardín Conzattii (Whitefoord

y Knapp, 2009). Es considerada una especie de jardín, cuyos frutos se consumen y comercializan localmente en municipios de los estados de Querétaro, San Luis Potosí e Hidalgo. (Wallnöfer, 2007; Provance *et al.* 2013). Además *D. conzattii* se encuentra catalogada en peligro de extinción según la Norma 059 de 2010 (SEMARNAT, 2010)

Figura 5**.** Frutos en madurez de consumo de *D. conzattii*, izquierda, y *D. nigra*, derecha.

El aprovechamiento racional y la conservación de los recursos genéticos del zapote negro requieren un conocimiento sobre la diversidad de sus áreas de distribución natural. El presente trabajo describe la diversidad eco-geográfica de las dos principales especies de este zapote, para definir sus regiones de máxima probabilidad de ocurrencia. Esta información se complementó con algunas características organolépticas y fisiológicas de los frutos, así como con información etnobotánica sobre sus usos.

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron los datos de pasaporte integrados en la base de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF), y se modificó la identidad taxonómica en los casos que presentaron sinonimias; los individuos que presentaron coordenadas de distribución geográfica de latitud, longitud, estado y municipio, fueron tenidos en cuenta. Las coordenadas se georeferenciaron en el mapa de México con el Sistema de Información Geográfica, DIVA-GIS (Hijmans, 2012), y se asociaron con los valores de 19 variables bioclimáticas derivadas de los datos climáticos mensuales y registradas en WorldClim para esas coordenadas (Sheldeman & Zonnelveld, 2011).

Con las variables bioclimáticas asociadas a cada sitio de colecta se ejecutó un análisis de componentes principales (ACP) para identificar un reducido grupo de variables que describa la mayor varianza climática asociada a esos lugares. El ACP se realiza con la matriz de correlaciones creando nuevas variables que disminuyan la dimensión de los datos al mismo tiempo que expliquen la variabilidad encontrada. Una distribución Normal multivariada se requiere para encontrar los valores de los principales componentes. Posteriormente se desarrolló el análisis de agrupamientos o análisis cluster (AC) para definir los grupos con diferencia climática empleando el método de Agrupamiento de Pares con la Media Aritmética no Ponderada UPGMA. La probabilidad de ocurrencia se calculó con las variables definidas en el ACP para cada Zapote Negro (Segura, 2012).

Con el fin de comparar algunas características de interés para su consumo y comercialización se colectaron frutos de ambas especies en la temporada de noviembre de 2013 a febrero de 2014 cultivados en huertos de traspatio en los municipios de Tepoztlán, Morelos, para *D. nigra*, y en Tecozautla, Hidalgo, para *D. conzattii*. Se cosecharon 10 frutos para cada uno de los 5 árboles de cada

Diospyros en madurez fisiológica, cuando se alcanza una coloración oscura en los frutos. El material colectado se almacenó a 26 +/- 2 °C y se evaluaron los siguientes descriptores: Masa, longitud, diámetro, sólidos solubles totales, potencial de hidrógeno, acidez titulable, firmeza con pericarpio en madurez fisiológica y de consumo y porcentaje de humedad; en el Laboratorio de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo. Los datos se compararon en STATISTICA 7.0 mediante un Análisis Múltiple de Variancia (MANOVA), donde cada árbol se comparó con ambas especies. También se recabó información etnobotánica sobre los usos con los responsables de los árboles cosechados.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se georeferenciaron 264 coordenadas de presencia de zapote negro, 214 de *D. nigra* y 50 de *D. conzattii*, mapeadas en el territorio mexicano (Figuras 1 y 2). Los puntos en el mapa corresponden con los sitios de colección. Colores más intensos corresponden a un incremento en la probabilidad del pixel de la presencia de cada especie, siguiendo la distribución multivariada representada por los pixeles que contienen los puntos de colecta. La distribución de estas especies mostró un comportamiento continuo y por tanto el AC no arrojó grupos discretos en cuanto a las variables definidas por el ACP; tampoco en la superficie de probabilidad de ocurrencia se observó una diferencia considerablemente para cada una de ellas.

3.3.1 Zapote negro, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr.

En México es cultivado en huertos de traspatio de regiones tropicales y subtropicales lo que explica su gran representación en los diferentes herbarios. En el primer componente se agrupa el 46 % de la varianza y el segundo el 29 %. Las variables bioclimáticas en orden de importancia en el primer componente fueron: Rango medio diurno de la temperatura, temperatura del mes más frío, precipitación en trimestre más frío, precipitación anual, temperatura promedio en el trimestre más seco y rango anual de la temperatura. Mientras que para el segundo componente las variables de mayor incidencia en orden de relevancia fueron: Temperatura máxima del mes más caliente, temperatura promedio en el trimestre más frío, temperatura promedio anual y temperatura promedio en el trimestre más caluroso.

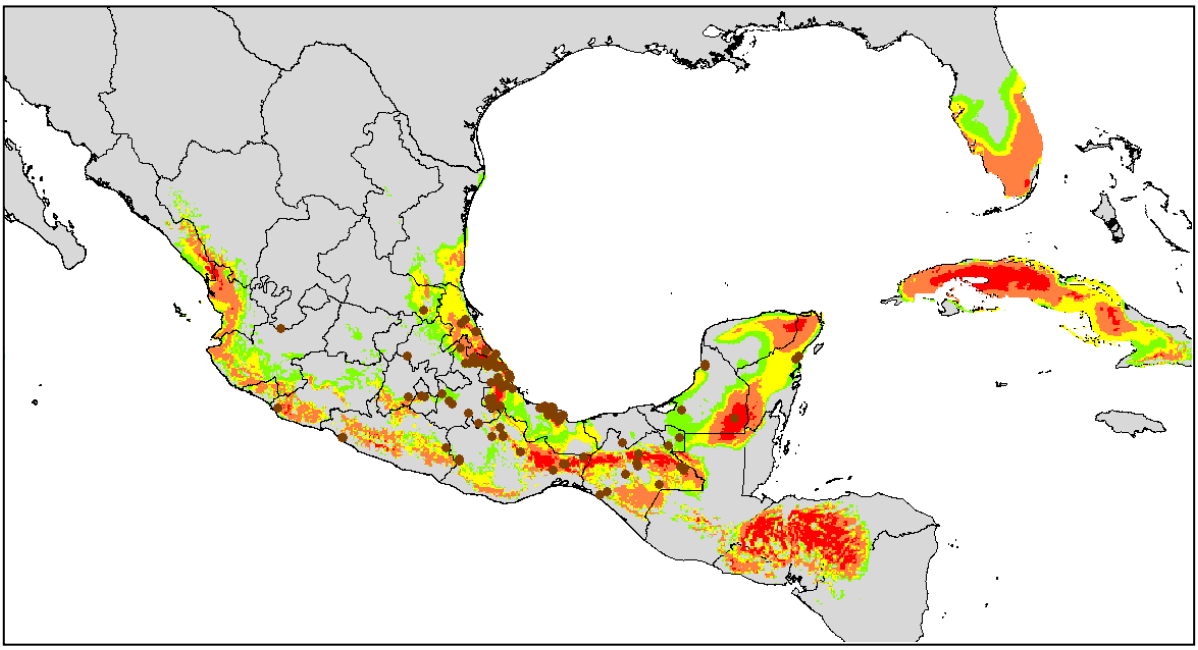

Figura 6. Distribución potencial de *D. nigra*. Los puntos en el mapa representan las coordenadas de presencia y las áreas coloreadas la probabilidad, colores más intensos refieren mayor probabilidad de ocurrencia.

Aunque se observaron algunos puntos con valores climáticos atípicos, principalmente en el centro del país, en Hidalgo y el sur y oriente de Puebla, *D.*

nigra presentó un grupo único de adaptación climática; En el cuadro 3 se presentan los valores promedio de cada grupo para las variables acotadas:

Cuadro 3**.** Variables bioclimáticas más influyentes en los dos principales componentes de *D. nigra*.

Nombre	**Variable**	**Unidades**	**Promedio**
Bio1	Temperatura promedio anual	°C	23.8
Bio2	Rango medio diurno de temperatura	°C	11
Bio5	Temperatura máxima del mes más caliente	°C	32.5
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío	°C	15
Bio7	Rango anual de la temperatura	°C	17.5
Bio9	Temperatura promedio en el trimestre más seco	°C	22.5
Bio10	Temperatura promedio en el trimestre más caloroso	°C	26
Bio11	Temperatura promedio en el trimestre más frío	°C	20.5
Bio12	Precipitación anual	mm	1800
Bio19	Precipitación en el trimestre más frío	mm	175

En el anterior Cuadro 3 y la Figura 6 se puede observar una marcada inclinación de la especie por climas cálidos y semicálidos, húmedos y subhúmedos, aunque también presenta una buena probabilidad de ocurrencia en zonas semisecas y de transición. *D. nigra* puede ocurrir en el oriente, occidente, sur y en el oriente de la Península de Yucatán.

El uso principal en el área estudiada es el consumo fresco y en agua, solo o con jugo de naranja, así como en la preparación de nieves. Medicinalmente las hojas en infusión se usan para la hipertensión y para controlar la diarrea. Escobar (2009) reporta también este último uso medicinal de *D. nigra* en la Sierra Norte de Puebla; más no así el uso para controlar la tensión cardíaca. En este mismo trabajo se midió el peso de los frutos, encontrando una media de 230 g, superior a la encontrada en este trabajo. En el cuadro 4 se presentan los resultados estadísticos.

Cuadro 4. MANOVA, de las características comparadas: * Diferencias significativas con probabilidad de error menor a 10 % y ** menor al 5 %.

Variable	*D. conzattii*		*D. nigra*	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Masa (g)**	45.2	11.6	192.7	94.9
Longitud (cm) **	4.0	0.38	69.4	10.9
Diámetro (cm) **	4.4	0.54	73.3	16.4
Sólidos solubles totales (°Brix) **	22.8	3.72361	14.804	2.30917
Acidez titulable ** (% Ac. Cítrico)	0.10	0.01	0.24	0.03
Potencial de Hidrógeno	6.75	0.08	6.67	0.12
Firmeza en madurez fisiológica (Kg*m) *	8.0	1.2	6.7	1.5
Firmeza en madurez de consumo (Kg*m) **	0.22	0.07	0.11	0.02
Porcentaje de humedad (%) **	63.8	2.1	80.1	3.8

3.3.2 Zapote negro montés, *Diospyros conzattii* Standl.

Este zapote negro despierta menor interés comercial y su representación en herbarios es reducida. Con los dos principales componentes se explica el 79 % de la varianza climática; el primero agrupa el 52 % y el segundo el 27 % de dicha varianza. En el primer componente dominan las siguientes variables, en orden de importancia: Temperatura mínima del mes más frío, precipitación anual, precipitación en el mes más lluvioso y precipitación en el trimestre más lluvioso. En el segundo componente priman las variables bioclimáticas: Temperatura máxima del mes más cálido, temperatura media en el trimestre más lluvioso, temperatura promedio en el trimestre más caluroso, temperatura promedio anual y temperatura promedio en el trimestre más frío.

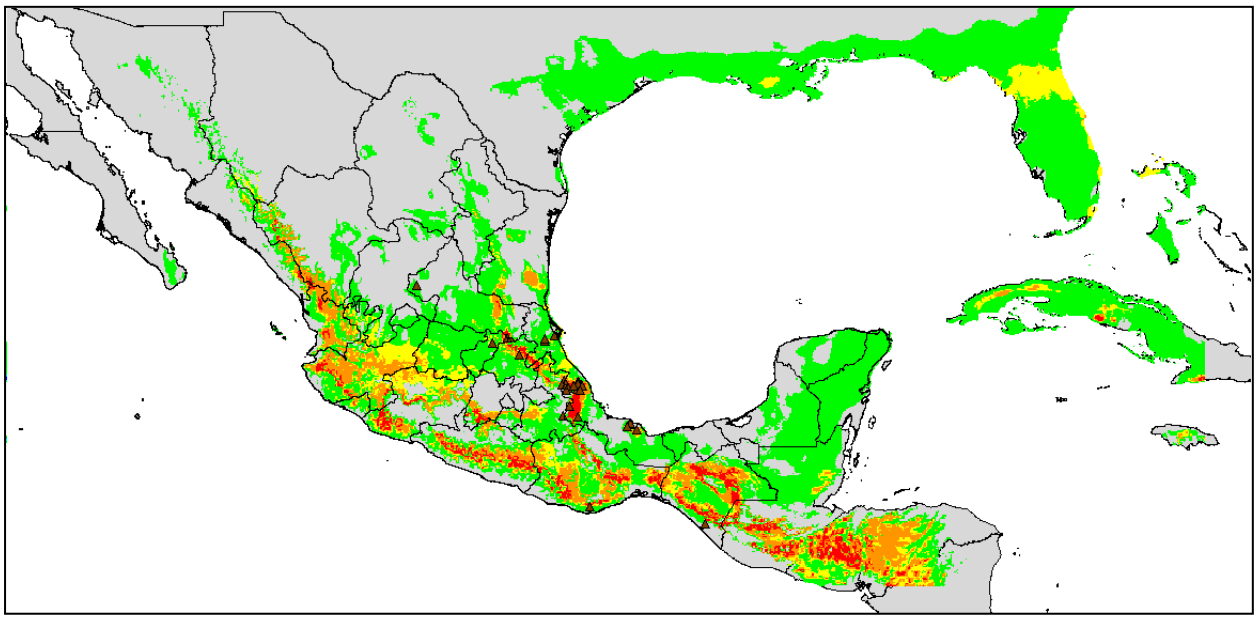

Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de *D. conzattii*. Colores más intensos representan mayor probabilidad.

En este zapote tampoco se observa una clara distinción entre grupos y tampoco en las superficies de probabilidad de ocurrencia. A continuación se muestran los valores promedios para las variables definidas en el AC, (cuadro 5):

Cuadro 5. Variables más influyentes en los dos principales componentes de *D. conzattii*.

Nombre	Variable	Unidades	Promedio
Bio1	Temperatura promedio anual	°C	19
Bio5	Temperatura máxima del mes más caliente	°C	29.5
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío	°C	8.5
Bio8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso	°C	21
Bio10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso	°C	21
Bio11	Temperatura promedio en el trimestre más frío	°C	15.5
Bio12	Precipitación anual	mm	1600
Bio13	Precipitación en el mes más lluvioso	mm	320
Bio16	Precipitación en el trimestre más lluvioso	mm	700

En el Cuadro 5 se observa que las variables limitantes de *D. conzatti* están relacionadas con la temperatura y precipitación en los períodos más húmedos; quedando restringido a climas subhúmedos, semisecos y secos. En el área de

distribución potencial, Figura 7, se identifican las zonas montañosas del sur y occidente del país como las áreas con las mejores condiciones climáticas para su establecimiento; desde los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, hasta las de Sonora por el occidente y por el oriente en los estados de Puebla e Hidalgo, principalmente.

En cuanto a los usos se encontró que los frutos se consumen principalmente frescos, aunque también se registró su consumo procesado en forma de pasta para untar, previa cocción. Además se usa el fruto y la decocción de las hojas para controlar hipertensión; además se reconoció el valor de los frutos contra la anemia por ser buena fuente de hierro. Morton en 1987 reportó la otra especie de Zapote Negro (*D. nigra*) como una considerable fuente de hierro.

3.4 CONCLUSIONES

Las especies de Zapote Negro requieren condiciones climáticas diferenciales: *D. conzattii* tiene requerimientos de temperaturas y precipitación más bajas que *D. nigra.* Algunas de las variables relevantes y comunes en ambas especies ilustran estas diferencias: por ejemplo, la temperatura mínima del mes más frío promedio para *D. nigra* es 15 °C, mientras que para *D. conzattii* es 8.5° C y la temperatura promedio en el trimestre más caliente fue 20.5° C y 15.5° C, respectivamente. Para *D. nigra* el factor más limitante está asociado con las bajas temperaturas y *D. conzattii* se limita por factores relacionados con los períodos de mayor precipitación. Esto puede estar asociado a que *D. conzattii* forma parte del denominado complejo *Diospyros rosei*, mientras que *D. nigra* tiene mayor correspondencia con especies de Suramérica; si bien, en la comparación del intrón tnrL se encontraron secuencias

idénticas entre ambos zapotes (Provance & Sanders, 2006; Duangjai *et al*., 2006)

Es por lo anterior que sus superficies de probabilidad presentan una tendencia a separarse en patrones de distribución Oriental y Occidental; tendencia que es común en numerosos grupos de plantas en México (Segura *et al*., 2012). Si bien presentan solapamiento en el oriente de Puebla y centro de Veracruz, identificado como un Nodo Panbiogeográfico del género *Diospyros* por García *et al.* 2014; en zonas de Oaxaca y Chiapas y a lo largo de la Costa del Pacífico hasta Sinaloa. Estas áreas son idóneas para el cultivo de ambos tipos de Zapote Negro.

La distribución geográfica de estas especies de zapotes negros en México, *D. nigra* y *D. conzattii* los sitúan como dos entes diferenciados eco-climáticamente: *D. nigra* es muy común y está bien representado en los herbarios con colecciones de los estados del oriente, centro y sur del país, principalmente en los estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Puebla. Mientras que *D. conzattii* sólo ha sido colectada significativamente en el estado de Veracruz. En los mapas presentados se pueden distinguir las áreas donde se presentan vacíos en la colección. *D. nigra* sólo presenta este vacío en la península de Yucatán, al nororiente y sur, donde apenas si se cuentan con algunas coordenadas de presencia a pesar de que el Estado de Yucatán es el principal productor de Zapote Negro; además la Costa Pacífica también cuenta con condiciones climáticas propicias para el establecimiento de esta especie. *D. conzattii* se encuentra pobremente representado en los herbarios; especialmente en zonas montañosas paralelas a la Costa Pacífica donde sólo hay una colecta en el sur de Chiapas y el oriente de Oaxaca y la máxima probabilidad de ocurrencia va desde esta zona hasta los límites de Durango y Sinaloa. Los vacíos observados se pueden deber a diferentes causas. La razón más importante puede ser la inaccesibilidad de ciertas regiones en Oaxaca y Chiapas, principalmente;

también puede presentarse impacto del esfuerzo de colecta en el centro y sur de Veracruz, en áreas aledañas al Instituto de Ecología en Xalapa y en la Estación de Biología Tropical-Los Tuxtlas; pues ambas presentan gran abundancia en las colectas de zapote negro.

Ambas especies conocidas como Zapote negro difieren considerablemente en variables de interés para su consumo en fresco y procesado (Cuadro 5), aun cuando pueden ser cultivadas en la misma zona. *D. conzattii* presenta menores dimensiones físicas y mayor contenido de sólidos solubles y consistencia, por lo que puede ser explotado para su consumo en fresco, mientras que *D. nigra* además podría transformarse en mermeladas con cítricos, en pastas para untar o simplemente extraer la pulpa. Este trabajo pretende servir de punto de partida para posteriores estudios y diseñar estrategias de uso y manejo de los recursos genéticos de los Zapotes negros.

3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arellano-Gómez, L. A.; Saucedo-Veloz, C. y Arévalo-Galarza, L. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de Zapote Negro (*Diospyros digyna* Jacq.) Agrociencia 39:173-181.

Duangjai, S.; Wallnöfer, B.; Samuel, R.; Munzinger, J. y Chase, M. W. 2006. Generic delimitation and relationships in Ebenaceae *sensu lato*: evidence from six plastid DNA regions. American Journal of Botany 93(12):1808-1827.

Escobar Fuentes, T. 2013. El zapote negro, *Diospyros digya* Jacq. Ebenaceae. un producto forestal no maderable de la Sierra Norte de Puebla. Tesis de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 141.

García, R. F.; Cuevas, J. A., Segura, S. y Basurto-Peña, F. 2014. Análisis Panbiogeográfico del género *Diospyros* en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol 6. Núm. 1. pp. 187-200.

Global Biodiversity Information Facility, GBIF. 2014. Base de datos disponible en: http://www.gbif.org/occurrence/search?COUNTRY=MX&TAXON_KEY=3030169&offset=1920. Última consulta: 17.IX.2014.

FAO. 2012. Forest Genetic Resources Situation in Mexico. Final Report on Project TCP/MEX/3301/MEX (4). Food Agriculture Organization of the United Nations. 303 p.

Hijmans, R.J. 2012. DIVA-GIS Version 7.5. A geographic information system for the analysis of biodiversity data. Disponible en: http://www.diva-gis.org.

Morton, J. 1987. Fruit of warm climates. “Black Sapote”. University of Miami. Ed. Creative. Resource Systems. United States of America. pp. 416-418.

Miller, W. R.; Sharp, J. L. y Baldwin, E. 1998. Quality of irradiated and nonirradiated black sapote (*Diospyros digyna* Jacq). After and ripening. Agricultural Research Service TEKTRAN 110:215-218.

Patiño, V. M. 2002. Historia y dispersión de los frutales nativos del neotrópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT 326:526 p.

Provance, M. C. y Sanders, A. C. 2006. More american black sapotes: new Diospyros (Ebenaceae) for Mexico and Central America. SIDA 22(1):277-304.

Provance, M.; García R., I.; Thommes, C. y Ross-Ibarra, J. 2013. Populations genetics and ethnobotany of cultivated *Diospyros riojae* Gómez Pompa (Ebenaceae), an endangeres fruit crop Mexico. Genetic Resources Crop Evolution 60:2171-2182.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 p. Digitalizado y actualizado en 2008 por CONABIO.

SAGARPA. 2001. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. www.sagarpa.com.gob (diciembre de 2014).

Segura, S.; Andrés, J.; Fresnedo, J; Marroquín, L; Vidal, E.; Vidal, L.; Castañeda, A.; Barrios, S.; Carmona, A.; Zavala, F.; Nicolás, M.; Bolívar, N. y González, A. 2012. Where do we go with *Annona* in Mexico? En: Acta Hort. 948(2012):79-90.

SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. 2:1-78.

Scheldeman, Xavier y Maarten van Zonneveld. 2011. Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. Bioversity International, Roma, Italia. 186 p.

TAXON. 2013. Names in the *Hortus Bengalensis*. 62(1):166.
Yahia, E. M.; Guitierrez-Orozco, F. y Arvizu-de Leon, C. 2010. Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of Black Sapote (*Diospyros digyna* Jacq.) Food Research International 44:2210-2216.

Wallnöfer B., 2007: A revision of neotropical *Diospyros* (Ebenaceae): part 1. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B 108:207-247. Whitefoord, C. y Knapp, S. 2009. Ebenaceae. En Flora Mesoamericana. Volumen 4(1) Cucurbitaceae a Polemoniaceae. 611-616.

4. CAPÍTULO III

DOMESTICACIÓN DEL ZAPOTE NEGRO, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. (EBENACEAE)

DOMESTICATION OF BLACK SAPOT, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. (EBENACEAE)

Roger Fabián García Díaz[1], Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez[1], María Teresa Colinas León[1], Sergio Segura Ledezma[2], Francisco Basurto Peña[3], Daniel Zizumbo Villarreal[4] y Patricia Colunga[4].

RESUMEN

El uso y manejo de los recursos vegetales practicados por indígenas mesoamericanos, involucra procesos de domesticación comúnmente. Este trabajo analizó las variabilidad morfológica de árboles frutales, silvestres y manejados de Zapote Negro, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. Se compararon árboles presentes en selva natural, selva manejada, sistemas silvopastoriles y agroforestales en tres regiones de México: los Tuxtlas, Veracruz; la Sierra Norte de Puebla; y el municipio de Tepoztlán, Morelos. Analizamos los patrones de variación en correspondencia con el nivel de manejo que reciben. Se caracterizaron 28 árboles con 29 descriptores cuantitativos y 19 cualitativos. También se documentó su manejo con los conocedores de cada árbol, mediante entrevistas abiertas y semi-estructuradas. Se aplicaron análisis multivariados para detectar las variables de mayor discriminación y probar su relación con el agrupamiento climático y el nivel de manejo a que son sometidas las plantas: silvestres, fomentadas, toleradas y cultivadas. El grado de manejo está significativamente relacionado con la firmeza del pericarpio en madurez fisiológica (MF) y de consumo (MC), la proporción entre el arilo y su semilla, la luminosidad de los frutos y los días de MF a MC. La selección in *situ* parece haber favorecido individuos con menos firmeza en el pericarpio, menor tiempo de maduración, mayor proporción del arilo y un incremento en la luminosidad; alterando los patrones de dispersión y menguando la abundancia de nectarios extraflorales.

[1]Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Texcoco, Estado de México, México. [2]CRUCO-UACh, 58170, Morelia, Michoacán, México.
[3]Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, México. [4]Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, 97200, Mérida, Yucatán, México. Correo electrónico: rfgarciadiaz@gmail.com.

ABSTRACT

Use and manage of plant resources practiced by Mesoamerican indigenous commonly involves domestication. This paper analyzed the morphological variability of wild and managed fruit trees of Black Sapot, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. Trees occurring in natural forest, managed forest, silviculturally and agroforesty systems were compared; in three Mexican regions: los Tuxtlas, Veracruz; The North Mountain of Puebla; and the town of Tepoztlán, Morelos. We analyzed the variation patterns in relation with their managed state. We characterized 28 trees with 29 quantitative descriptors and 19 qualitative. Their tree manage was determined through open and semi-structured interviews to knowledgeable of each tree. The most important variables and their relation with the climatic aggrupation and with their managed: wild, let standing, protection and cultivate, was detected with multivariate techniques. The manage level are significate relations with the fruit peel firmness in Physiological Maturation (PM) to Horticultural maturation (HM), aril proportion between its seed, the luminosity of fruits and time from PM to HM. The *in situ* selection could favored to fruits with less consistence, more aril proportion and luminosity of fruits; alternating the distribution patterns and fruits forms that wild fruits forms and the decrease of abundance of nectaries extra-florals.

Palabras clave: genetic resources, artificial selection, morphological variaton, tropical fruits, Mexico.

4.1 INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre el manejo de los recursos fitogenéticos en Mesoamérica, han cobrado interés debido al grado de influencia del manejo y selección antropogénica en la evolución artificial de estos recursos (Casas *et al.*, 2007; Raya-Pérez *et al.*, 2010; Parra *et al.,* 2012). Los pobladores mesoamericanos utilizan de 5000 a 7000 especies de plantas y se estima que más de 200 presentan diferentes grados de domesticación (Caballero *et al*., 1998). La domesticación o selección bajo manejo humano puede ser entendida como la modificación de las frecuencias genéticas asociadas a cambios morfológicos mediante presiones de selección artificial y la modificación de los ambientes donde estas plantas se desarrollan: es una interacción planta-humano constante que inicia con la colecta de individuos silvestres y paulatinamente los va

transformando hacia individuos con características más aprovechables, desde el punto de vista humano (Colunga y Zizumbo-Villarreal, 1993). Este proceso depende de dinámicas sociales y ecológicas que pueden ocurrir en contravía de la misma selección natural, disminuyendo la capacidad de supervivencia y propagación de la planta en condiciones naturales, por lo que se conoce como síndrome de domesticación (Zizumbo-Villarreal, 2007). Esta discapacidad es más notoria en plantas anuales que en perennes dado a características intrínsecas de las perennes como la mayor duración de su ciclo de vida, el alto grado de cruzamiento e hibridación y el límite estructural de las poblaciones; así como a características propias del proceso de domesticación como la propagación clonal, el transporte de individuos y el flujo génico entre las formas manejadas y las silvestres (Miller & Gross, 2011); tal es el caso de los cactus columnares del género *Stenocerus* donde los genotipos cultivados están interconectados con los silvestres por medio de los diferentes agroecosistemas, desde los huertos de traspatio hasta los ecosistemas naturales, pasando por los sistemas agroforestales, las áreas silvopastoriles y los bosques manejados (Casas *et al*., 2012).

Las especies presentes en estos agroecosistemas se ven sometidas a un nivel de manejo proporcional a las actividades humanas en dichos ambientes. Es decir, las plantas que se encuentran en huertos de traspatio enfrentan procesos de domesticación más fuertes que las plantas de los sistemas agroforestales y éstas a su vez más que los silvopastoriles y los bosques manejados (Casas *et al*., 2012). Los diferentes tipos de manejo *in* situ se pueden clasificar en cuatro tipos: colectados sistemáticamente, tolerados o dejados en pie, fomentados o con crecimiento favorecidos y protegidos. La colecta sistemática involucra bajos impactos en la

vegetación pues este manejo consiste en la cosecha los productos útiles, si bien pueden haber criterios de selección de fenotipos particulares o rotación de las áreas de colectas; los individuos tolerados son los que se benefician de prácticas para mantener su supervivencia sin que el ambiente sea modificado profundamente por los grupos humanos; fomentados cuando gozan de estrategias dirigidas a incrementar las densidades poblacionales, tales como la siembra de semillas o la plantación de propágulos; y protegidos si se incluyen prácticas como la eliminación deliberada de competidores, predadores o patógenos, así como la aplicación de fertilizantes. (Casa *et al*., 2007). Para el caso del capulín, *Prunus serotonina*, Fresnedo-Ramírez *et al*. (2011) sugieren unificar los términos de protegidos y fomentados por estar imbricados ambos tipos de manejo.

Recientemente ha crecido el interés por estudiar el manejo y la domesticación en especies frutales en el mundo y especialmente en México por su importancia biocultural y en el desarrollo de la agricultura (Caballero *et al*., 1998): en el caso de cactus columnares como la pitayas, *Stenoceurus pruinosus* y *S. stellatus* (Blancas *et al.,* 2009; Parra *et al.,* 2012) se encontró que la selección de los frutos, el manejo en los agroecosistemas y el flujo génico entre ellos ha generado una gran diversidad continua de las características organolépticas de los frutos, ente ellas una menor firmeza de la cáscara; para el caso de *S. stellatus* los resultados morfológicos se reforzaron con el uso de microsatélites, evidenciando mayor diversidad genética en las poblaciones manejadas que en las silvestres (Cruse-Sanders, 2013). Sin embargo, en las cactáceas *Polaskia chichipe* y *Escontria chiotilla* se encontró mayor similaridad entre las poblaciones silvestres y las manejadas (Casas *et al*., 2007). En *Byrsonima crassifolia*,

se encontraron diferencias significativas a nivel fenotípico entre las formas cultivadas (nanche) y cultivados (changunga) se encontraron diferencias significativas a nivel fenotípico pero no a nivel genotípico con el uso de marcadores moleculares AFLP; indicando niveles bajos en el proceso de domesticación Raya-Pérez. En el capulín en el trabajo ya citado de Fresnedo y colaboradores (2011) se encontró una relación entre la variabilidad fenotípica de los árboles y los niveles de manejo definidos; además se concluyó que las subespecies de *Prunus serotina* e híbridos interespecíficos han sido favorecidos por la selección humana.

En otros países también ha crecido el interés por el proceso de domesticación de especies frutales perennes. En la provincia biogeográfica de la Caatinga en Brasil (Machado de Freitas *et al*., 2012) encontraron un incipiente proceso de domesticación de *Spondias tuberosa* al encontrar diferencias morfológicas entre individuos tolerados y cosechados sistemáticamente en vegetación naturales, pero no asociadas a los ambientes de crecimiento: montañas, base de las montañas, pasturas, zonas de cultivos y huertos de traspatio. Preece y Smith (2012) encontraron diferencias altamente significativas en las características organolépticas de interés en los frutos de individuos silvestres y de cultivares de Oliva (*Olea*) Kiwi (*Actinidia*), Persimonio (*Diospyros*) y Oliva (*Olea*).

El proceso de domesticación de la especie de *Diopsyros* con mayor importancia cultural en México, cuyo nombre vernáculo es Zapote Negro (*D. nigra (Gmel.) Perr.* = *D. digyna* Jacq.) aún no ha sido analizado ni desde aspectos etnobotánicos ni morfológicos. Este género ha hecho parte de las dietas humanas desde tiempos precoloniales. Restos de *Diospyros* han sido encontrados en coprolitos del Valle de Tehuacán, desde el período

conocido como cultura Coaxcatlán, 5200-3400 a.C; Palo Blanco, 200 a.C.-700 d.C. y además de los coprolitos, se encontraron restos en el piso de las cuevas de la cultura Santa María, 900-200 a.C. (Callen, 1967). Si bien, solo se hace referencia al género, esto manifiesta una larga relación entre lo que hoy conocemos como Zapote Negro y los grupos humanos que se alimentaban de él.

D. nigra es una especie compuesta por árboles dioicos de 8-35 m de corteza negra y acanalada. Hojas de 12 a 18 cm de longitud y 3 a 5 cm de diámetro, espaciadas a lo largo de las ramas, oblongo-elípticas, lanceoladas-elípticas, coriáceas o subcoriáceas, glabras excepto por unos cuantos tricomas estrigilosos, verde-gris o negruzcas cuando secas, el haz brillante, el envés opaco, la nervadura ligeramente elevada en ambos lados, la base redondeada o cuneada, los márgenes algunas veces revolutos, el ápice generalmente obtuso, ocasionalmente acuminado; nervaduras laterales 8-15 pares; pecíolo de 5 a 15 mm. Inflorescencias axilares o en la base del vástago en crecimiento. Flores estaminadas subsésiles, en címulas con 5 flores; pedúnculo de la címila de 5 mm; cáliz hasta 10 mm, puberulento, el tubo de 5 mm, los lobos casi tan largos como el tubo, anchamente ovados; corola hasta de 7 mm, urocelada, el tubo de 12 mm, los lobos 4 o 5 de 6 × 6 mm, esparcidos estrigiloso-tumentulosos abaxialmente; estambres comúnmente 20, hasta de 9 mm, en su mayoría pares; pistilodio diminuto, setuloso. Flores pistiladas solitarias y a veces en aglomerados de 1 a 3; cáliz ligeramente más largo y la corola ligeramente más corta y ancha que en las flores masculinas; estaminoidos comunmente 3 a 8 mm; ovario de 5 mm, subgloboso, tomentuloso; lóculos 8 o 10, 1-ovulados; estilo 4-5 de 5 mm, unidos basalmente. Con bayas comúnmente de 6 a 8 cm de diámetro, subglobosas, glabras cuando maduras, negras;

pedicelo en el fruto 2-4 cm, muy robusto y leñoso; cáliz en el fruto 3.5-4 cm de diámetro, pateniforme, someramente lobado, los lobos 4, 1-1.5 cm; semillas 8 o 10 o menos por aborto, de 2 x 1 cm. Frecuente en selvas riparias, bosques montanos y extensamente cultivada en México y Mesoamérica por sus frutos comestibles. (Whitefoord y Knapp, 2009).

Por sus características organolépticas los frutos se consumen en estado fresco y la pulpa se usa en la fabricación de helados, en repostería y conservas. El proceso de maduración de los frutos es típicamente climatérico definido como un aumento significativo de la velocidad de respiración y producción de etileno, que ocurrió a los 5-6 días después de colectados de individuos cultivados en Coatlán del Río, Morelos; se encontró una relación directa entre la pérdida de firmeza y el proceso de maduración y senescencia; disminuyendo desde 2.1 en MF hasta 0.38 Kg_f en senescencia (Arellano-Gómez *et al.*, 2005). Yahia y colaboradores en 2010 encontraron una alta capacidad antioxidante comparada con otras frutas importantes como alimentos funcionales, debida principalmente a compuestos fenólicos y carotenoides, por lo que sugieren su inclusión en la dieta regular.

El presente trabajo se enfoca en el proceso de domesticación del Zapote Negro, *Diospyros nigra* (Gmel.) Perr. (Ebenaceae) analizando causas y consecuencias. Las preguntas de partida son ¿Cómo es el patrón de variación morfológica de las bayas del Zapote Negro en tres regiones del centro oriente de México?, ¿Cómo explican este patrón: el manejo y selección humana que han recibido? Nuestra hipótesis es que algunas variables de interés humano están asociadas con los procesos y componentes propios de la domesticación. Por último se discute el potencial de algunos morfotipos

para su explotación hortícola.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Área de estudio

Nuestro estudio fue realizado en tres regiones del centro oriente de México, Cuadro 6**.** Frutos de árboles silvestres, tolerados, fomentados (como sinónimo de protegidos) y cultivados fueron muestreados.

Cuadro 6. Sitios de colecta del material vegetal. [1] Corresponden a la provincia biogeográfica del Golfo de México y [2] a la provincia de la Depresión del Balsas según CONABIO, 1997.

Estado y municipio	Área geográfica aproximada y elevación[2]	Tipo de clima y de vegetación natural	Árboles caracterizados	Sabedores entrevistados
Veracruz: San Andrés Tuxtla.[1]	Long: 18.6 Lat: -95.1 8-387 m.s.n.m.	Am(f) (e') g w'' Selva alta perennifolia	7	4
Morelos: Tepoztlán.[2]	Long: 18.9 Lat: -99.1 1416-1709 m.s.n.m.	(A)Cb w_1(w) i g Selva baja caducifolia	11	8
Puebla: Cuetzalan, Zapotitlán de Vicente Suárez y Xochitlán. [1]	Long: 20.0 Lat: -98.4 y -98.6 498-1100 m.s.n.m.	(A)Ca(fm) (e) g Selva baja superennifolia	10	5

4.2.2 Exploración etnobotánica

Se indagó en los mercados locales por los árboles y sus responsables o sabedores, posteriormente se aplicó el criterio de Bola de Nieve hasta no conseguir más referencias en cada localidad (Cortés *et al.,* 2013). Un total de 17 sabedores fueron entrevistados, primero de manera abierta y posteriormente con cuestionarios estructurados. Las entrevistas estaban dirigidas para documentar el nivel de manejo

que recibía cada árbol.

4.2.3 Análisis morfológico/morfométrico

Se evaluaron 28 individuos de los cuales 13, uno por cada paraje, fueron depositados en el Herbario-Hortorio JES, adscrito al Área de Biología de la Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, con los números de registro 25197 a 25200 y 25237 a 25245. De cada árbol se tomaron 10 frutos que se mantuvieron a 26 +/- 2° en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, ubicado en el Departamento de Fitotecnia de la misma universidad. Se usaron 46 descriptores, de los cuales 30 forman parte de la guía publicada por la Unión para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV, 2004), para la evaluación de variedades de *Diospyros kaki* y los 16 restantes fueron diseñados para evaluar rasgos propios de *D. nigra*. Según el tipo de variable se midieron 27 variables; 19 cualitativas (cuadro 7) y cuantitativas (cuadro 8) para determinar los patrones morfo-fisiológicos de los frutos, semillas y vegetativos; uno de ellos la abundancia de nectarios planos extraflorales, (NEFs) en el envés de las hojas (Contreras y Lersten, 1984). Para constatar que se trataba de este tipo de estructuras se realizaron cortes anatómicos de 12 µm en un micrótomo rotatorio Leica®, modelo 820, siguiendo la metodología descrita por Martínez (2014).

Para las mediciones de longitud se usó un Vernier. El peso de los frutos fue medido en una balanza analítica Ohaus Scout Pro 4000 ± 0.1 g. La firmeza de los frutos fue obtenida por un penetrómetro Catillón 25 LBF con una punta cónica de 9 mm de espesor. El color de los frutos fue calculado con un espectofotómetro de esfera X-Rite modelo SP 62 y expresado en Hiugh (H), Chroma (C) y luminosidad (L). Para determinar la acidez titulable, el pH y los sólidos solubles totales se homogenizaron 10

g en peso fresco de cada fruto en 25 mL de agua destilada, con 5 repeticiones; la acidez titulable se calculó en una alícuota de 5 mL de jugo con 2 gotas de Fenotaleína, adicionando paulatinamente gotas de NaOH (0.1N) hasta alcanzar la titulación. El pH se midió en un potenciómetro Conductronic pH 120 y su resultado se expresó en g/L de ácido málico. El contenido de sólidos solubles totales fue calculado con un refractómetro de bolsillo marca ATAGO, modelo PaL-1 y expresado en °Brix. La humedad se calculó secando 10 g de peso fresco de cada 5 frutos por separado en estufa a 50 °C por 5 días, obteniéndose el % de humedad por diferencia de pesos. La pérdida de peso se determinó como el porcentaje de 5 frutos por árbol en MC en relación con el peso de los mismos en MF.

Cuadro 7. Variables cualitativas, etiquetas y rango.

Variable	Descripción	Rango
N	Nectarios Extraflorales por hoja	1 menos de 10, 3 de 10 a 20, 5 más de 20.
Ye/S	Relación entre la yema y el soporte	3 pequeña, 5 media, 7 grande
YeFS	Forma del soporte de la yema	1 elongada, 2 obovada, 4 oblada, 5 pentada
YeF	Forma de la yema	1 triangular, 2 ovada, 3 elíptica, 4 circular
YeP	Posición de la yema en relación a la rama	1 a nivel, 2 ligeramente oprimida, 3 profundamente oprimida
HoF	Forma de la hoja	1 ligeramente elíptica, 2 elíptica, 3 ovada, 4 obovada, 5 redondeada
HoFA	Forma del ápice de hoja	1 cuneada, 2 aguda, 3 obtusa, 4 redondeada
HoFB	Forma de la base de hoja	1 acuminada, 2 aguda, 3 obtusa, 4 redondeada
FrFL	Forma lateral del fruto	1 napiforme, 2 ovada, 3 triangular, 4 elíptica, 5 redondeada, 6 oblada
FrFR	Forma radial del fruto	1 circular, 2 irregular redondeada, 3 cuadrada
FrAF	Forma del ápice del fruto	1 acuminada, 2 obtusa, 3 redondeada, 4 truncada, 5 recusada
FrHA	Hendiduras concéntricas desde el ápice del fruto	1 ausente o suave, 2 media, 3 profunda
FrAR	Rompimiento radial del ápice del fruto	1 ausente o suave, 2 media, 3 profunda
FrHL	Hendiduras longitudinales en el fruto	1 ausente o suave, 2 media, 3 profunda
CaI	Inserción del cáliz en el fruto	1 a nivel, 2 ligera depresión, 3 fuerte depresión
CaA	Altitud del cáliz	1 erecto, 2 semi-erecto, 3 horizontal
CaH	Hendiduras del cáliz	1 ausentes, 9 presentes
SeC	Color de la semilla	1 café claro, 2 café oscuro
SeCz	Cicatriz de la semilla	1 longitudinal, 2 irregular

Cuadro 8. Variables cuantitativas, etiquetas y unidades de medida.

Variable	Descripción	Unidades
PeL	Longitud del peciolo	cm
HoL	Longitud de la hoja	cm
HoA	Ancho de la hoja	cm
FrL	Longitud del fruto	cm
FrD	Diámetro del fruto	cm
FrRI	Índice de redondez del fruto	Longitud/Diámetro.
FrP	Peso del fruto	Gramos.
DT/DC	Relación del diámetro del cáliz entre el diámetro del fruto	Sin unidades
FrPF	Firmeza con pericarpio en MF	Kilogramos fuerza (Kg-f)
FrFPC	Firmeza del fruto con pericarpio en MC	Kilogramos fuerza (Kg-f)
FrFEF	Firmeza del endocarpio en MF	
FrFPC	Firmeza del endocarpio en MC	
SST	Sólidos solubles totales	°Brix
ATT	Acidez titulable	g/L de ácido cítrico
pH	Potencial de hidrógeno	
FrLMF	Luminosidad del fruto en MF	
FrCMF	Croma del fruto en MF	
FrHMF	°Hiugh en MF	
FrLMC	Luminosidad del fruto en MC	
FrCMC	Croma del fruto en MC	
FrHMC	°Hiugh en MC	
FrPP	Pérdida de peso del fruto de MF a MC	(Peso inicial-Peso final)/Peso final *100
S1P	Peso promedio de una semilla	Gramos
SN	Número de semillas	#
DMF	Días desde MF a MC	Días
SeTA	Tamaño del arilo en relación al de la semilla	Longitud del arilo/longitud de la semilla
EPS	Peso seco del endocarpio	% ((Peso seco*100)/Peso húmedo)

4.2.4 Análisis estadístico

Los datos cuantitativos se estandarizaron para disminuir el impacto de la escala de cada variable en el análisis de los resultados; posteriormente se calculó la matriz de correlaciones para aplicar el Análisis de Componentes Principales ACP. Previamente se

eliminaron las variables que mostraron una correlación lineal con |R| > 0.9. Con los resultados del ACP se aplicó en AC para agrupar las UBC sin criterios previos de clasificación, siguiendo el método UPGMA (Martínez-Calvo *et al*., 2013). Estos métodos fueron aplicados en NTSyS versión 2.21.

Para el conjunto de los descriptores cualitativos se empleó el Análisis Factorial de Correspondencias para determinar las variables que más contribuyen en el establecimiento de grupos; la interpretación del AFC es similar a la de ACP (Segura, 2003). Con las variables definidas por el AFC y por el ACP se aplicó el AC usando el método de Ward que permite distinguir entre las variables cuantitativas y cualitativas (Ligarreto, 2003). Estos análisis fueron ejecutados en Statistica versión 7.0 y SAS versión 9.0.

Con las variables definidas en los análisis precedentes se llevó a cabo el Análisis de Función Discriminante (AFD) para explorar las relaciones entre la variabilidad encontrada y el nivel de manejo. También se llevó a cabo un AFD para descartar que la variabilidad encontrada se asocie con condiciones biogeográficas, se utilizó la provincia biogeográfica como la variable. El AFD incluye una Análisis Múltiple de Varianza (MANOVA) para probar la significancia de las diferencias entre los diferentes grupos preestablecidos (α = 5 %); en este mismo sentido se aplicó la prueba Tukey para identificar las comparaciones entre niveles de manejo (Parra *et al*, 2012).

4.3 RESULTADOS

En el Cuadro 9 se presentan los individuos caracterizados, cada árbol se consideró como Unidad Básica de Caracterización, UBC.

Cuadro 9. Sitios de colecta de cada UBC, hábitat de crecimiento y nivel de manejo. [1] H: huerto de traspatio, P: potrero, M: milpa, N: vegetación natural y NM: vegetación natural manejada. [2] C: cultivado, F: fomentado, T: tolerado y S: silvestre.

UBC	Longitud	Latitud	Elevación	Ambiente[1]	Manejo[2]
Inv	19.955	-97.636	1100	P	T
Ner	20.02	-97.603	435	H	F
Erm	20.079	-97.412	617	H	F
Leo1	20.071	-97.435	624	P	T
Leo2	20.073	-97.431	597	P	T
Alay1	20.085	-97.419	496	M	F
Alay2	20.085	-97.419	498	M	F
Sil	18.98642	-99.09819	1709	H	C
Lou	18.98642	-99.096068	1691	H	C
Ali	18.96627	-99.07533	1565	H	C
Mar	18.97507	-99.14458	1658	H	C
Gue	18.96526	-99.07619	1559	H	C
TorG	18.96678	-99.07339	1563	H	C
TorM	18.96678	-99.0734	1562	H	C
SalP	18.97941	-99.03613	1645	H	C
SalM	18.974	-99.03616	1645	H	C
rur	18.98284	-99.0316	1670	P	F
fut	18.98349	-99.09355	1674	H	C
EBTLT	18.5864	-95.07924	130	N	S
Chan	18.61952	-95.07238	15	H	C
Calx	18.61917	-95.09727	7	H	C
EBTLT 1	18.58694	-95.07667	172	N	S
EBTL 3	18.58686	-95.07751	181	N	S
EBTLT 2	18.58281	-95.0779	289	N	S
Play	18.59205	-95.05093	63	H	C
Play2	18.59222	-95.05112	14	VM	T
Play3	18.59229	-95.05148	54	VM	T
Alam	18.64734	-95.11113	9	VM	T

Antes de realizar el ACP se verificó la colinealidad de las variables con el método de correlación de Pearson; las variables que presentaron R>0.9 fueron excluidas hasta dejar una sola de ellas que no tuviera fuerte correlación con las demás. FrD con FrP (0.918) y FrFPMF con FRFEMF (0.9287).

En el cuadro 10 se presenta la variación explicada por los diez componentes principales. El cuadro 11 expone la contribución de las variables en los 4 principales; el número de variables de cada componente se definió en función de su aporte para explicar la variación; es decir, menos variables en tanto menor es el porcentaje que explica el componente en cuestión se seleccionaron variables en función de su porcentaje explicado, es decir, más variables .

Cuadro 10. Variación explicada por los 10 principales componentes.

Componente principal	% de variación	% de variación acumulado
1	31.3	31.3
2	15.2	46.5
3	10.1	56.5
4	7.2	63.8
5	6.1	69.9
6	5.1	75.0
7	4.9	79.9
8	3.9	83.9
9	3.7	87.6
10	2.71	90.3

Las variables SeN, número de semillas, y SeP, peso de las semillas, están estrechamente relacionadas en el segundo componente principal, donde tienen la mayor influencia; además el peso promedio de una semilla SeP1 también es una variable de peso considerable; por tanto se excluyó SeN de los posteriores análisis para evitar sobredimensionar la producción de semillas. La proyección de las UBC sobre los tres principales componentes, que recogen más el 56 % de la varianza, se muestra en la Figura 8.

Cuadro 11. Vectores propios de los cuatro componentes principales. Se resaltan las variables de mayor influencia en cada uno.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4
CaNL	0.38	0.10	0.18	0.13
FrL	-0.67	0.43	-0.10	0.09
FrIR	-0.30	-0.45	0.56	0.19
FrP	-0.52	0.58	-0.48	0.01
CaD	0.39	0.59	-0.24	-0.15
FrD/CaD	-0.84	0.22	-0.31	0.10
FrLMF	-0.70	-0.01	0.40	0.10
FrCMF	-0.61	-0.04	0.48	0.12
FrHMF	0.64	-0.13	-0.12	-0.00
FrFPF	0.82	0.24	-0.06	0.19
FrFPC	0.75	0.12	-0.00	-0.26
FrFEC	0.45	0.33	0.21	0.22
SST	-0.71	0.11	0.29	-0.10
ATT	0.69	0.07	0.10	0.14
PH	-0.64	-0.27	-0.32	0.26
PS	-0.24	-0.24	0.50	0.22
SeN	0.18	0.85	0.10	-0.07
FrP/SeP	-0.59	-0.21	-0.59	0.07
SeP1	0.03	0.69	0.26	0.24
SeP	0.11	0.93	0.24	0.13
FrLMC	-0.40	0.31	0.27	-0.69
FrCMC	-0.62	0.10	0.26	-0.48
FrHMC	-0.55	0.21	0.04	-0.52
FrPP	0.39	-0.25	0.50	-0.20
DiMFMC	0.34	-0.39	-0.30	-0.54
SeTA	-0.81	0.11	-0.10	0.28

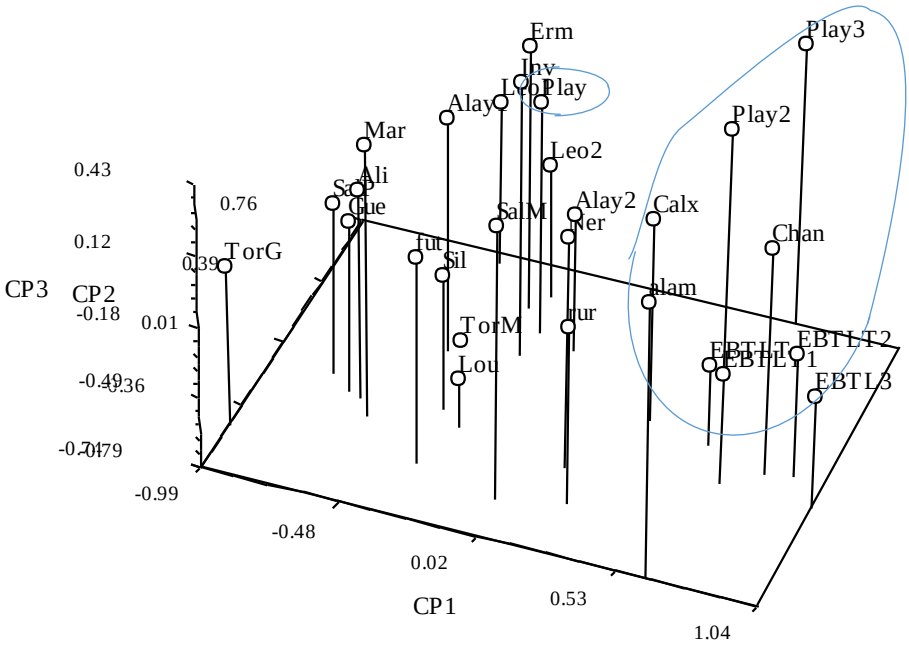

Figura 8. Proyección de las UBC en los tres pincipales componentes. En círculo se resaltan los individuos provenientes de la región de los Tuxtlas.

La representación gráfica de los individuos en el espacio definido por los tres principales componentes se muestra en la Figura 8. Se observa con claridad una separación entre los frutos de árboles Veracruz (encerrados) de los de Puebla y Morelos, estos últimos no aparecen distinguibles con claridad. El individuo denominado Play, aun siendo de Veracruz, presenta características similares a las de los individuos de Puebla.

El AFD generó los factores independientes que describieron la variabilidad de los descriptores cualitativos. Los cuatro primeros factores agrupan el 71 % de varianza, en orden respectivo el 33, 15, 14 y 8 %; los vectores de cada variable se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Vectores propios de cada variable cualitativa en los cuatro principales factores.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
N	0.01	0.42	0.11	0.23
Ye/S	0.11	0.01	-0.04	-0.07
YeFS	0.03	-0.06	0.09	0.15
YeF	0.10	0.08	-0.11	-0.05
YeP	0.03	0.07	-0.03	-0.04
HoF	0.16	-0.26	0.16	0.07
HoFB	0.08	0.01	0.13	-0.09
HoFA	0.06	0.03	0.07	-0.04
FrFL	-0.00	0.04	0.01	-0.10
FrFR	0.15	-0.07	0.04	-0.10
FrFA	-0.04	0.09	-0.05	-0.21
FrHA	-0.09	-0.05	-0.09	-0.21
FrRR	-0.11	0.06	0.08	-0.04
FrRA	-0.15	-0.03	0.07	-0.09
FrHL	0.38	-0.49	0.55	0.07
CaI	0.04	0.09	-0.05	-0.18
CaH	-0.82	-0.17	-0.04	0.07
CaA	0.04	-0.00	-0.04	-0.00
SeE	0.36	-0.27	-0.56	0.19
SeFF	0.04	0.04	-0.09	0.06

Del Factor 3 no se seleccionó ninguna variable porque la única que tiene un valor propio significativo también lo tiene en el Factor 1 y aún en el 2. FrHL, las Hendiduras Laterales del Fruto es el carácter que de forma acumulada contribuye más en todos los factores principales.

Del ACP se definieron las siguientes variables cuantitativas: FrL, FrIR, FrD/CaD, FrLMF, FrFPMF, FrFPMC, SST, ATT, SeN, FrP/SeP, SeP1, FrLMC y SeTA. Y del AFP se extrajeron las variables: N, FrFA, FrHA, FrHL, CaH y SeE. Estas variables fueron sometidas al AC arrojando el siguiente dendograma, figura 9:

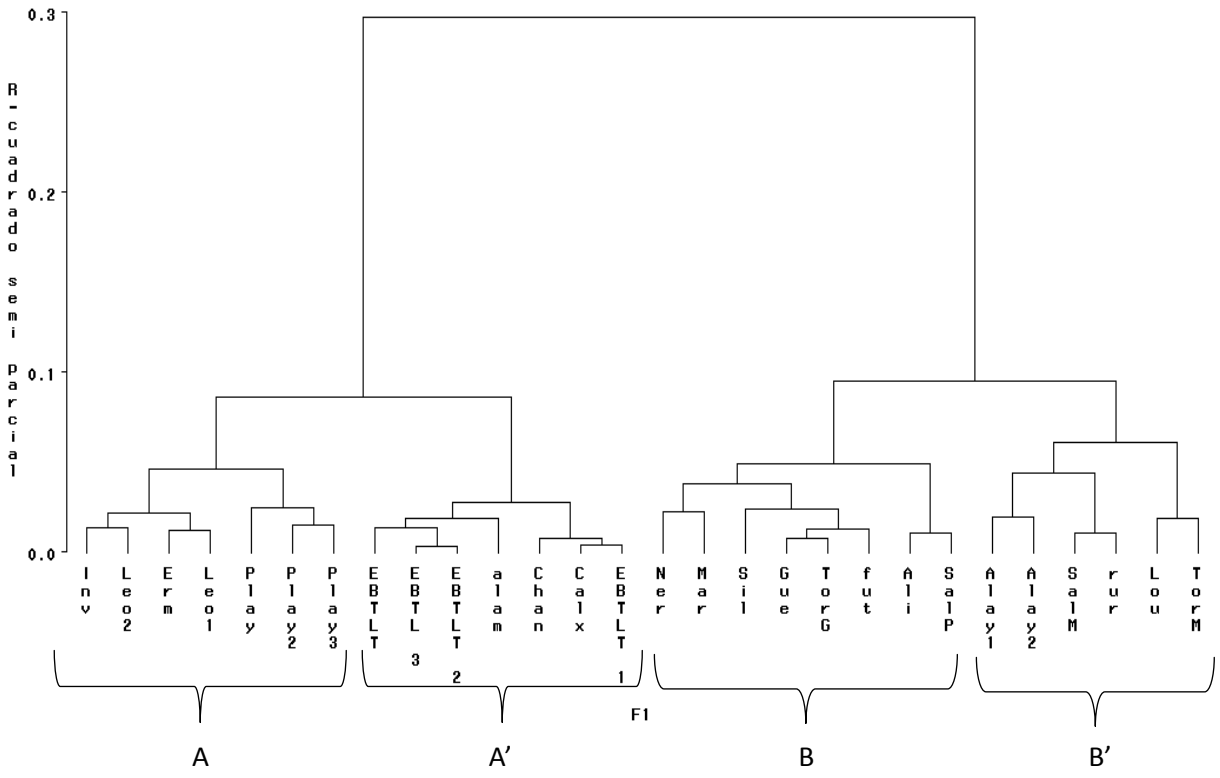

Figura 9. Dendograma construido con las variables cuantitativas y cualitativas seleccionadas.

En el agrupamiento jerárquico obtenido a partir de los descriptores cuantitativos y cualitativos seleccionados ya no se observa la separación extrema ente el individuo denominado Play y los otros individuos que hacen parte de la misma población, Play 2 y Play3, aunque con diferente grado de manejo.

Con el análisis discriminante hecho con las dos provincias biogeográficas no se encontraron diferencias significativas en las variables seleccionadas en el ACP; ni en propiedades físicas o bioquímicas. Mientras que con los niveles de manejo se encontró diferencias significativas en las siguientes variables:

Cuadro 10. Valores promedio ± desviación estándar de los caracteres morfológicos que mostraron una diferencia significativa en relación al nivel de manejo. Letras capitales significan diferencias significativas de acuerdo al método MANOVA y Tukey ($^{*}p \leq 0.05$ y $^{**}p \leq 0.01$)

Nivel de manejo	Silvestre	Tolerado	Fomentado	Cultivado
FrP* (g)	95 ± 27	172 ± 71	165 ± 61	164 ± 80
	A	B	B	B
FrFPMC** (Kg_f)	14.3 ± 1.6	12.9 ± 2.7	7.3 ± 1.5	6.8 ± 1.8
	A	A	B	B
FLMF*	34.1 ± 7.5	45.8 ± 4.1	47.4 ± 5	48.7 ± 5.6
	A	B	B	B
FLMC**	28.0 ± 1.1	32.1 ± 3.2	32.3 ± 4.7	31.4 ± 2.5
	A	B	B	B
A/S** (%)	1	1.2 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.6 ± 0.3
	A	AB	BC	C
DMFMC*	12.5 ± 1.4	9.0 ± 1.8	8.1 ± 1.3	7.5 ± 3.8
	A	B	B	B

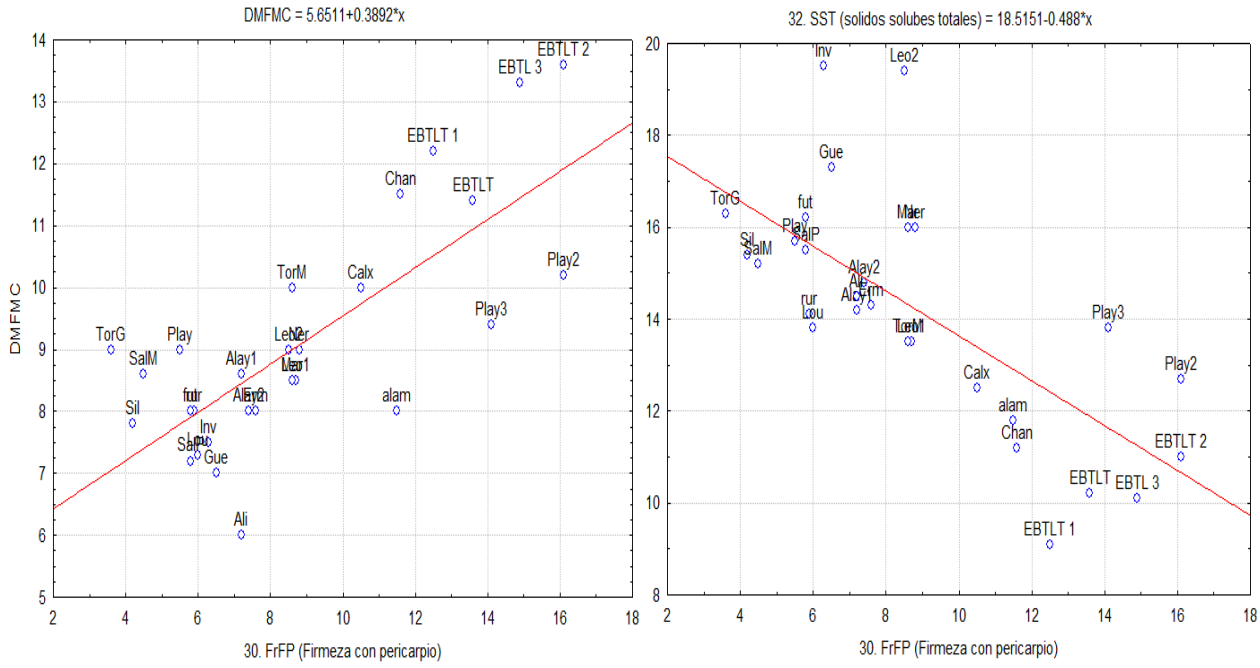

Figura 10. Regresión lineal de la firmeza del pericarpio en MF contra (izquierda) días de MF a MC y (derecha) sólidos solubles totales.

En la figura 10 se ilustra la relación lineal con dos de las variables significativamente diferentes.

4.4 DISCUSIÓN

En el dendograma obtenido, figura 4.2, se distinguen dos grupos relacionados con el nivel de manejo más que con la procedencia. El grupo denominado A' resalta por su consistencia, todos sus miembros son silvestres de la EBTLT; las UBC etiquetadas como *EBTLT* hace referencia a individuos provenientes de selva alta perennifolia sin ningún tipo de manejo o selección humana, al menos en la actualidad. *Chan*, es un árbol cultivado en un huerto de traspatio en Balzapote; según su conocedor, Victor Manuel Lucho Chang, el mismo lo sembró hace 20 años con semillas provenientes "del monte" y *Calx* también de Balzapote, es progenie de *Chan*, según Calixto Chapan Toto. Esta información etnobotánica ayuda a entender porque aun siendo árboles cultivados presentan mayor relación con los individuos silvestres que con otros árboles cultivados. La UBC *alam* corresponde a un árbol que crece junto a la playa y se ha permitido su crecimiento y el de otros árboles, para servir como barrera; no son cosechados por la población con quien comparten el territorio en Revolución.

Dentro de este mismo grupo principal está anidado el grupo A, constituido por árboles fomentados en la Sierra Norte de Puebla, en potreros (*Leo1*, *Leo2*, *inv*) y al lado de la casa de Hermelinda Galindo de manera espontánea, *Erm*. Según los sabedores de los árboles de potreros, éstos tienen alrededor de 100 años, por lo que pueden haber permanecido de pie cuando se abrió el potrero; presentan mayores pesos que los árboles silvestres. Junto a este subgrupo se encuentran los individuos con etiqueta *Play*, *Play2* y *Play3*; todos ellos pertenecientes a la misma subpoblación, pero con la particularidad de *Play*, un árbol de más de 100 años que crece en el huerto de traspatio de una casa en ruinas, en su construcción se le permitió su desarrollo, aun cuando es

un árbol común en las zonas aledañas por lo que es muy probable que se le reconociera atributos sobresalientes, Figura 11; sus frutos presentan características morfológicas diferenciales con respecto a *Play2* y *Play3* que crecen fomentados en la selva manejada contigua a esa casa. Su cuidador Luciano Malpica reconoció que manualmente elimina los árboles que no son Zapote Prieto, como se le conoce localmente a *D. nigra*, o Pimienta, *Pimenta dioica*; pues el segundo le ofrece beneficios económicos y el primero lo sirve para atraer la visita de animales, entre ellos primates, que eventualmente caza para su autoconsumo. Los frutos de *Play* presentan mayor contenido de sólidos solubles que sus coterraneos y una notable menor firmeza con pericarpio, figura 11 derecha-arriba.

Figura 11. Frutos y árbol de Playa Escondida. Izquierda: árbol en huerto de traspatio. Derecha: frutos provenientes de Veracruz. Arriba: *Play* posiblemente cultivado. Centro: *Chan* cultivado. Abajo, *EBTLT2*, silvestre.

Los otros de Puebla, *Alay1* y *Alay2*, árboles de mediana edad (40 años según sus sabedores) que crecen en milpa de Quetzalan, y *Ner*, individuo de 10 años fomentado en huerto de traspatio del caso urbano de Zapotitlán de Vicente Suárez; se agruparon junto con los individuos cultivados en Tepoztlán. El subgrupo B no se distingue de B' en función de su nivel de manejo o su lugar de procedencia, la mayoría han sido cultivados en el municipio de Tepoztlán. Sus diferencias y similitudes refieren a aspectos de forma y calidad, en B priman frutos ovalados con ápices que redondeados o acuminados. Por ejemplo, *Gue* y *TorG* que además presentaron el mayor contenido de sólidos solubles: 17.3 y 16.3 °Brix y aunque el primero registró un peso promedio de 245 g y el segundo de 143 g, presentan formas semejantes, ovalados, figura 12.

Figura 12. Izquierda, frutos de *Gue* y derecha de *TorG.*

Los individuos *Mar* y *Ner* comparten el mismo carácter en las variables FrHL y FrFA, hendiduras laterales presentes y forma del ápice acuminado (Figura 13); aun cuando *Mar* proviene de Morelos y *Ner* de Zapotitlán. Otros individuos de este grupo como *Ali* también presentaron hendiduras laterales y los restantes; *fut*, *Sil* y *SalP* mostraron ápices frutos esféricos, ápices redondeados y sin hendiduras laterales.

Figura 14**.** Frutos de *Mar* y *Ner.* Izquierda: frutos de *Mar* donde se aprecian las hendiduras laterales. Derecha: Detalle del ápice de un fruto de *Ner*.

Por último, el subgrupo B’ se caracteriza por frutos con bajos valores de FrIR, índice de redondez, lo que corresponde con formas obladas o achatadas, FrFL; rasgo exhibido en árboles de Puebla y Morelos, Figura 14. Frutos con este patrón tienden a presentar hendiduras más o menos marcadas en el ápice, FrHA, y el cáliz, FrHC, así como rompimiento del ápice, FrRA. Es de resaltar que los frutos cultivados de *TorM* presentaron el mayor peso en promedio y porcentaje de humedad de todas las UBC, 363 g y 86.1 % respectivamente; así como el menor contenido de sólidos solubles de Morelos, 13.5 °Brix.

Figura 14. Frutos del subgrupo B’. Izquierda: Frutos fomentados en milpa, *Alay1*. Centro: Detalle de las hendiduras y el rompimiento del ápice de *TorM*. Derecha: Frutos de *SalM.*

En cuanto a las variables, la de mayor relevancia tanto en el ACP como en el AFD es FrFPMF y FrFPMC, la firmeza del fruto con pericarpio, tanto en madurez fisiológica como de consumo. Arellano y colaboradores en 2005 reportan la proporción entre la pérdida de firmeza y la maduración, encontrando valores ligeramente menores que los de este trabajo, quizá por el uso de una punta cónica de menor diámetro. Es necesario mencionar que la variable significativa es firmeza del fruto con pericarpio, ya que sin éste no se encontraron diferencias significativas. En *Stenocereus pruinosus* (Parra *et al.*, 2012) encuentran diferencias significativas en el grosor del epicarpio. La firmeza del pericarpio se comportó proporcional a la velocidad de maduración e inversa al contenido de sólidos solubles, como se aprecia en la Figura MMM7. En mango, LéchaudeII y Joas (2007), revisaron tratamientos precosecha que alteran la vida de anaquel de la fruta, al mismo tiempo que incrementan el grosor del pericarpio y en algunos casos también disminuye el contenido de sólidos solubles. Es común que una vez cosechados los frutos se almacenen en cajas de cartón o envueltos en papel, para acelerar la maduración, se reportó esta práctica en las tres regiones de estudio. Incluso Celso Guzmán, responsable del árbol *Ali* en Tepoztlán, relató que sus padres calentaban los frutos en barbacoa para obtener su maduración veloz y homogénea y comercializarlos en el día del *Tianguis* (mercado campesino que por lo general ocurre una vez a la semana y que con frecuencia involucra “trueque”)). Esto comprueba que hay un interés en la pronta y homogénea maduración de los frutos.

En el aspecto evolutivo, esta modificación del pericarpio podría considerarse parte de síndrome de domesticación, dado que tiene una incidencia directa en la capacidad de dispersión de la especie: en los frutos de árboles silvestres con mayor consistencia,

aunado a formas esféricas, se observó que cuando caen pueden rodar por las colinas donde crecen y lograr mayor dispersión, además las semillas pueden germinar fuera de la cobertura de la planta madre. Mientras que los frutos con menor firmeza cuando caen en madurez de consumo estallan, lo que dificulta la dispersión de las semillas por caída libre. Esta variable guarda correspondencia con el nivel de manejo como se muestra en el Cuadro 10.

Otra variable cuantitativa de relevancia en este análisis es la relación de la longitud del arilo entre la longitud de la semilla, SeTA. Los individuos silvestres presentaron un promedio de 1, lo que corresponde a un arilo ceñido a la semilla, esto podría facilitar su ingestión accidental por parte de primates y aumentar su capacidad de dispersión. Desde el punto de vista humano, el arilo tiene interés en tanto que su consistencia es agradable para masticar; como se refirió por dos sabedores en el municipio de Tepoztlán, donde el arilo presentó un promedio de 1.7 veces el tamaño de las semillas.

En cuanto a las variables cualitativas una de gran importancia es la abundancia de nectarios en el envés de las hojas, N, Figura 16. Este tipo de estructuras son comunes en árboles de selvas tropicales para su asociación simbiótica con hormigas que protegen al árbol de insectos nocivos a cambio del néctar exudado en ellos (Koptur, 1986; Aguirre *et al.*, 2013). Algunos sabedores también narraron la presencia de hormigas que anidan en el interior de los árboles, conocidas en Puebla como *Hormiga del diablo*, y pueden dificultar la cosecha de los frutos. Estos NEFs son escasos en Morelos, donde no se encontró más de 10 por lámina, mientras que en Veracruz se reportaron con frecuencia más de 30 por hoja. Estas estructuras mejoran la sobrevivencia de los árboles en condiciones naturales, por lo que su disminución

también podría estar asociada con el síndrome de domesticación; sin embargo se requiere más investigación para definir si se trata de una variable afectada por la domesticación, por las condiciones ambientales donde crece la planta o por la interacción de ambos aspectos

Figura 10. Nectarios planos extraflorales. Izquierda: corte transversal del nectario visto en microscopio óptico, 40X. Derecha: nectario exudando visto en estereoscopio.

Las variables referentes a las hendiduras pueden estar asociadas a huellas genéticas o bien a cambios en el manejo de los árboles; se encontraron estas hendiduras en individuos de Puebla y Morelos. Se puede tratar de morfotipos seleccionados o bien de un efecto en la mejora del ambiente de las plantas; al no enfrentar la competencia por nutrientes y agua, los frutos pueden crecer de esta manera desproporcionada generando estas hendiduras. Sin embargo, el hecho de que estos caracteres sean de importancia en la distinción de las variedades de *D. kaki* puede indicar que se trate de morfotipos (Martínez-Calvo *et al*., 2013). Es necesario comparar los frutos en condiciones homogéneas para constatar la causa de esta variación.

4.5 CONCLUSIONES

Se detectó variación morfológica de *D. nigra* en las tres áreas estudiadas, asociada principalmente a características de los frutos. Así mismo se identificaron árboles sobresalientes con potencial para su comercialización en fresco y procesado por sus características organolépticas como el contenido de sólidos solubles y el peso. El nivel de manejo y el ambiente en que crecen los árboles está asociado con diferencias considerables en la firmeza con pericarpio y la proporción del arilo con su semilla, principalmente, características de interés humano y que pueden alterar las capacidades de dispersión y sobrevivencia en condiciones naturales.

Por ello se considera que existe un proceso de domesticación de *D. nigra* donde el móvil principal puede ser la pronta maduración de los frutos y el tamaño del arilo, además del aumento en sólidos solubles, peso y luminosidad. Se pueden distinguir dos patrones morfológicos claramente, el de los cultivados y fomentados en un grupo y silvestres y tolerados en otro. Se encontraron individuos cultivados en etapas iniciales de domesticación y otros con una mayor interacción humano-planta. Es necesario ampliar los sitios de muestreo en los estados de Chiapas, Oaxaca, la Costa Pacífica y a la península de Yucatán; además de implementar caracterización molecular para dilucidar de mejor forma el proceso de domesticación del Zapote Negro.

Por último cabe mencionar que la exploración etnobotánica (en particular la descrita por Hernández X. 1971) es una herramienta complementaria al análisis morfológico *in situ*, útil para dar luz en la interpretación de los resultados.

4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFÍAS

Arellano-Gómez, L. A.; Saucedo-Veloz, C. y Arévalo-Galarza, L. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de Zapote Negro (*Diospyros digyna* Jacq.) Agrociencia 39:173-181.

Aguirre, A. Coates, R. Cumplido-Barragán, G; Campos-Villanueva y Díaz C., C. 2013. Morphological characterization of extrafloral nectaries and associated ants in tropical vegetation of Los Tuxtlas, Mexico. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 208(2):147–156.

Blancas, J.; Casas, A.; Rangel-Landa, S.; Moreno-Calles, A.; Torres, I.; Pérez-Negrón, E.; Solís, L.; Delgado-Lemus, A.; Parra, F.; Arellanes y Caballero, J.; Cortés, L. y Lira, R. 2010. Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. Economic Botany 64(4):287–302.

Caballero, J.; Casas, A. Cortés, L. y Mapes, C. 1998. Patrones en el conocimiento, uso y manejo de las plantas en pueblos indígenas de México. Revista de Estudios Atacameños 16:181-196.

Callen, E. O. 1967. Food Habits of Some Pre-Columbian Mexican Indians. Economic Botany 19(4):335.343.

Casas, A. y Caballero, J. 1995. Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. Ciencias 40(4):36-45.

Casas, A.; Osorio-Arnaiz, A.; Pérez-Negrón, E. Valiente-Banuet, A. 2007. *In situ* Management and Domestication of Plants in Mesoamerica. Annals of Botany 100:1101-1115.

Colunga-García Marín, P. y D. Zizumbo-Villarreal. 1993. Evolución bajo agricultura tradicional y desarrollo sustentable. pp 123-164. En: E. Leff y J. Carabias (coordinadores), Cultura y manejo sustentable de los Recursos Naturales. Volumen I. CIIH-UNAM. Miguel Angel Porrúa. México, D.F

Colunga-García, P. y Zizumbo-Villarreal, D. 2004. Domestication of plants in Maya lowlands. Economic Botany 58(Supplment):101-110.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997. Provincias biogeográficas de México escala 1:4000000, México, D. F. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/rbiog4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no; última consulta 17.IX.2014.

Contreras, L. S. y Lersten, N. R. 1984. Extrafloral Nectaries in Ebenaceae: Anatomy, Morphology, and Distribution. American Journal of Botany 71(6):865.872.

Cruce-Sandres, J. M.; Parker, K. C.; Friar, E. A.; Huanh, D. I.; Mashayekhi, S.; Prince, L.

M. Otero-Arnaiz, A. y Casas, A. 2013. Managing diversity: Domestication and gene flow in *Stenocereus stellatus* Riccobb. (Cactaceae) in Mexico. Ecology and Evolution 3(5):1340-1355.

Duangjai, S.; Wallnöfer, B.; Samuel, R.; Munzinger, J. y Chase, M. W. 2006. Generic delimitation and relationships in Ebenaceae sensu lato: evidence from six plastid DNA regions. American Journal of Botany 93(12):1808-1827.

Fresnedo-Ramírez, J.; Segura, S y Muratalla-Lúa, A. 2011. Morphovariability of capulín (*Prunus serotonina* Ehrh.) in the central-western region of Mexico from a plant genetic resources perspective. Genetic Resource Crop Evolution 58:481-495.
González-Soberanus, C. y Casas, A. 2004. Traditional management and domestication of tempesquistle, *Sideroxylon palmeri* (Sapoteaceae) in the Tehuacán-Cuicatlán Valle, Central Mexico. Journal of Arid Envirnments 59:245-258.

Koptur, S. 1985. Alternative Defenses against Herbivores in Inga (Fabaceae: Mimosoidae) over an Elevational Gradient. Ecology 66(5):1639-1650.

Lara V., F.; Romero C., A. T. y Burrola A., C. 2013. Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad Otomí de San Pedro Arriba; Temoaya, Estado de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 10(3):305-334.

Ligarreto, G. 2003. Caso 2: análisis de la variabilidad genética en frijol. *In*: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de Recursos Fitogenéticos. Editores: Franco, T. L. e Hidalgo, R. Boletín IPGRI (8):50-55.

Léchaudell, M. y Joas, J. 2007. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. Brazilian Journal of Plant Physiology 19(4):287-298.

Machado de Freitas, E.; Lins Neto, F.; Peroni, N.; Carnerio M., C. M.; Sucupira M., M. I. y Paulino de Albuquerque, U. 2012. Analysys of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae)) in different landscape management regimes. Environ. Momit Asses. 184:4489-4499.

Martínez-Calvo, J.; Naval, M. Zuriaga, E., Llácer, G. y Badenes, M. L. 2013. Morphological characterizaton of the IVIA persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) germplasm collection by multivariate analysis. Genetic Crop Evolution 60:233-241.

Martínez-Soriano, E. 2014. Compatibilidad y desempeño agronómico de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) injertado sobre CM-334 (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 101 p.

Parra, F; Blancas, J. J. y Casas, A. 2012. Landscape managment and domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley: human guided selection and gene flow. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 8:32

Preece, J. E. y Smith, J. L. Phenotypic comparisions between wild relatives and cultivars of Kiwifruit, Persimmon, Mulberry, ando Olive at the National Clonal Germplasm Repository, Davis, CA. Acta Horticulturae 948:175-179.

Provance, M. C. y Sanders, A. C. 2006. More american black sapotes: new *Diospyros* (Ebenaceae) for Mexico and Central America. SIDA 22(1):277-304.

Provance, M.; García R., I.; Thommes, C. y Ross-Ibarra, J. 2013. Populations genetics and ethnobotany of cultivated *Diospyros riojae* Gómez Pompa (Ebenaceae), an endangeres fruit crop Mexico. Genetic Resources Crop Evolution 60:2171-2182.

Raya-Pérez, J. C.; Aguirre-Mancilla, C. L. Gil-Vega, K. y Simpson, J. 2010. La domesticación de plantas en México: comparación de la forma cultivada y silvestre de *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae).

Tapia, C. 2003. Caso 3: análisis de la variabilidad genética en jícama. En: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de Recursos Fitogenéticos. Editores: Franco, T. L. e Hidalgo, R. Boletín IPGRI (8):40-49.

UPOV. 2004. Working paper on test wide lines for *Diospyros kaki* L.f. TG/92/4. Ginebra.
Whitefoord, C. y Knapp, S. 2009. Ebenaceae. En Flora Mesoamericana. Volumen 4(1) Cucurbitaceae a Polemoniaceae. 611-616.

Zizumbo-Villarreal, D. y Colunga, P. 2010. Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. Genetic Resources Crop Evolution 57:813.825.

5. CONCLUSIONES GENERALES

El género *Diospyros* es un elemento arbóreo de los ecosistemas mexicanos que presenta un gran potencial para ampliar los beneficios derivados de su consumo en diversas comunidades rurales y probablemente su comercialización debido a las bayas comestibles de varias de sus especies. Mismas que presentan una amplia adaptación climática; desde Baja California hasta Yucatán se encuentran especies de interés hortícola. Existen dos áreas que representan eventos bióticos fragmentados por acontecimientos físicos y geológicos, el centro de Veracruz y el oriente de la península de Yucatán; son lugares donde se encuentra la mayor diversidad del género, no sólo de especies sino de agrupaciones intraespecíficas y por tanto son de especial interés en la conservación y aprovechamiento de estos recursos fitogenéticos.

Dentro de este género destacan las dos especies más conocidas bajo el nombre de Zapote negro, *D. nigra* y *D. conzattii*; resaltan por sus frutos dulces, jugosos y de color oscuro, aunque difieren considerablemente en sus adaptaciones climáticas y en sus dimensiones. *D. nigra* crece en una gran cantidad de ambientes debido a que es fuente de alimentación humana desde hace miles de años, actualmente es un frutal de importancia económica regional; encontrándose en casi todos los tipos de vegetación Y

provincias biogeográficas de México; por lo que crece el sur, oriente, y occidente del país, principalmente. *D. conzattii* por su parte no cuenta con tanto interés comercial y se enfrenta con procesos de erosión que la pueden llevar a su extinción; esto a pesar de que sus calidades organolépticas pueden ser de interés en los mercados internacionales ávidos de nuevas especies y variedades. Es posible cultivar esta especie en zonas montañosas secas y semi-secas.

Por último, la interacción humano-planta en *Diospyros nigra* ha transformado los patrones de dispersión natural en aras de individuos con mejores características para el humano; por ello se puede considerar que es otro frutal más que ha evolucionado bajo la selección humana de los grupos indígenas mesoamericanos. Fruto de esta selección y de la misma selección natural, se presenta una diversidad morfológica que puede usarse tanto para su aprovechamiento eficiente como para trabajos de mejoramiento genético en aras de facilitar su transporte y comercialización.

6. ANEXOS

6.1 Cuestionario sabedores

N° _____ Comunidad_____ Municipio_____

Estado_____ Nombre_____ Fecha _____

1. ¿Cuáles tipos de zapotes conoce?
   1.
   2.
   3.
   4.
   5.
2. ¿Cuáles se dan en la región?
3. ¿Cuántos árboles de zapote negro tiene?
4. ¿Dónde tiene los árboles de zapote negro?

   Huerto de traspatio ( ) Huerto frutal ( ) Cafetal ( ) Milpa ( )

   Potrero ( )

5. ¿En qué superficie de terreno tiene los árboles? ¿Cuánto mide?
6. ¿Cómo llegaron los zapotes dónde están?

Sembrado ( ) Espontáneo ( )

7. ¿Qué y cómo usa el zapote negro?

   Comestible:

   Medicinal:

   Maderable:

   Otros:

8. De 1 a 10, ¿Cuánto le gusta el zapote negro en comparación con otras frutas?
9. ¿Siembran o protegen las semillas germinadas?
10. ¿Conoce variedades de zapote negro?
11. ¿Qué prácticas le realizan a los árboles?

    Abono:

    Eliminación de malezas:

    Podas:

    Control de plagas:

12. ¿En qué meses cosecha los frutos?
13. ¿Cómo sabe cuándo el fruto está recio para cortarlo?
14. ¿Cómo hacen el corte?
15. ¿Pagan o hacen el corte personalmente?
16. ¿Consume o vende el zapote?
17. ¿En cuánto lo vende?

    Árbol:

    Menudeo:

    Arpilla:

    Trueque:

18. ¿Cuánto produce por árbol?
19. ¿A quién se lo vende?

    Venta directa:

    Intermediario:
20. ¿Existe alguna selección por tamaño o forma del fruto?
21. ¿Cuál es su ocupación e idioma principal?
22. De sus ingresos anuales, ¿qué porcentaje le ofrece el cultivo de zapote negro?
23. ¿Cuál es su nivel de estudios? ¿alguno relacionado con la agricultura?
24. ¿Qué animales se alimentan de los zapotes?
25. ¿ Ha observado algunas especies de hormigas viviendo en él árbol? ¿Cuáles?
26. ¿Qué plagas o enfermedades conoce en estos árboles?
27. ¿Cómo era la comercialización y cultivo del árbol?
28. ¿Cuál es la historia de este árbol?