



A1-148 Potencial hortícola de los zapotes negros, *Diospyros* spp. (Ebenaceae).

Roger Fabián García Díaz, UNIMINUTO, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia, rfgarciadiaz@gmail.com ; Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez, Universidad Autónoma Chapingo, jaxayacatl@gmail.com ; María Teresa Colinas León Universidad Autónoma Chapingo, lozcol@gmail.com ; Sergio Segura Ledezma, Universidad Autónoma Chapingo, ssegura@correo.chapingo.mx ; Francisco Basurto Peña, Universidad Autónoma de México; Daniel Zizumbo Villarreal, Centro de Investigación Científica de Yucatán, zizumbodaniel@gmail.com y Patricia Colunga, Centro de Investigación Científica de Yucatán, colunga.patricia@gmail.com

Resumen

Se exploró el potencial hortícola del género *Diospyros* (Ebenaceae) mediante análisis biogeográficos, climáticos, morfológicos y etnobotánicos. Los análisis geográficos permitieron identificar las áreas óptimas para la conservación y el aprovechamiento de 20 especies. Con aquellas conocidas como Zapotes Negros, *D. nigra* y *D. Conzattii*, se aplicó un análisis climático. Por último se estudió la variabilidad morfológica asociada al nivel de manejo en tres zonas de México. Veracruz y Península de Yucatán fueron las áreas donde convergen el mayor número de especies. Las adaptaciones climáticas de los zapotes 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 principalmente a la firmeza del pericarpio, el tiempo de maduración y el tamaño del arilo. Características útiles para promover el consumo y facilitar el transporte.

Palabras-clave: recursos fitogenéticos; *Diospyros*; diversificación agrícola; domesticación; México.

Abstract

The horticultural potential of the *Diospyros* spp. (Ebenaceae) was explored using biogeographic, climatic, morphological and entnobotanical analyzes. The geographical analysis allowed identification of optimal areas for conservation and use of 20 species. The two species known as Black Sapot, *D. nigra* and *D. conzattii*, were selected for climate analysis. Finally, morphological variability of individuals associated with level management was studied in three areas of Mexico and associated with aspects an components of the domestication process. Veracruz and the Yucatan were the places where the largest number of species and sections of the genus converge. Climatic adaptation of the studied sapots 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. Useful featurs to promote consumption and facilitate transport.

Keywords: phytogenetic resources; *Diospyros*; agriculture diversification; domestication; Mexico.

Introducción

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 ha configurado como uno de los centros de domesticación más importantes a nivel mundial. 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 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. Los objetivos de este trabajo fueron: 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* (Gmel.) Perr. y *D. conzattii* Stand. identificando las zonas idóneas para su cultivo en México; e interpretar el producto del manejo y selección artificial de *Diospyros nigra* mediante la comparación morfológica de los diferentes niveles de manejo y la exploración etnobotánica.

Metodología

Se construyó una base de datos de la distribución de *Diospyros* a partir de los registros integrados en la Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Las coordenadas de distribución de cada especie se conectaron de tal forma que la distancia entre los puntos fuese mínima. Este procedimiento se realizó con el programa PASSaGE 2 (Rosenberg y Anderson, 2011) y Quantum-GIS 2.4 (Sherman et al., 2007), aplicando el método combinado propuesto por Liria (2008). 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 y en los tipos de vegetación según Rzedowsky (2006). 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 (Andrés *et al.*, 2006).

Las coordenadas de *D. nigra* y *D. conzattii* 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 & Zonneld, 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. 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).

Por último se evaluaron 28 individuos colectados en San Andrés Tuxtla, Veracruz, Tepoztlán, Morelos y Cuetzalan, Puebla. De cada árbol se tomaron 10 frutos que se mantuvieron a 26 +/- 2°. Se emplearon 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 y cuantitativas para determinar los patrones morfo-fisiológicos de los frutos, semillas y vegetativos. El análisis estadístico se realizó mediante el ACP de las variables cualitativas y el Análisis de Factor Discriminante (AFD); posteriormente se realizó un AC teniendo como variable independiente el nivel de manejo (silvestre, fomentado, tolerado y cultivado) determinado mediante observación y entrevistas con los responsables de los árboles (Casas, 2007).

Resultados y discusiones

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. rekoii* 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*.

Los trazos individuales convergen en un solo trazo general y dos nodos panbiogeográficos principales, 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 1). 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.

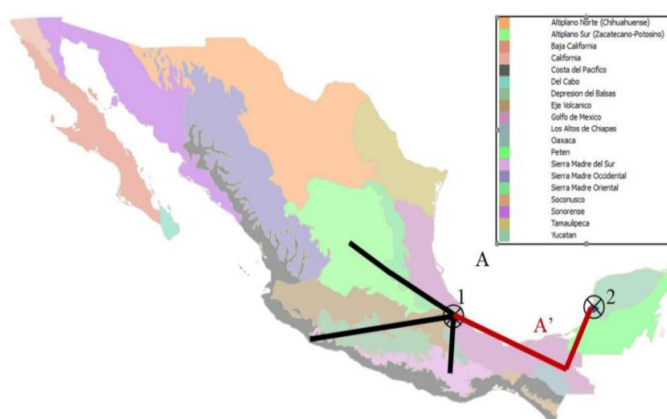


FIGURA 1. Trazo generalizado y nodos principales. Obtenidos a partir del análisis de parsimonia en las regiones biogeográficas.

Estos resultados nos llevan 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) 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 nodo principal 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.

Se georeferenciaron 214 coordenadas de *D. nigra* y 50 de *D. conzattii* en el territorio mexicano. Estas 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 semejanza genética con especies de Suramérica (Provance & Sanders, 2006; Duangjai et al., 2006). Sin embargo, ambas especies presentan solapamiento en el oriente de Puebla y centro de Veracruz, identificado como un Nodo Panbiogeográfico del género; 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.

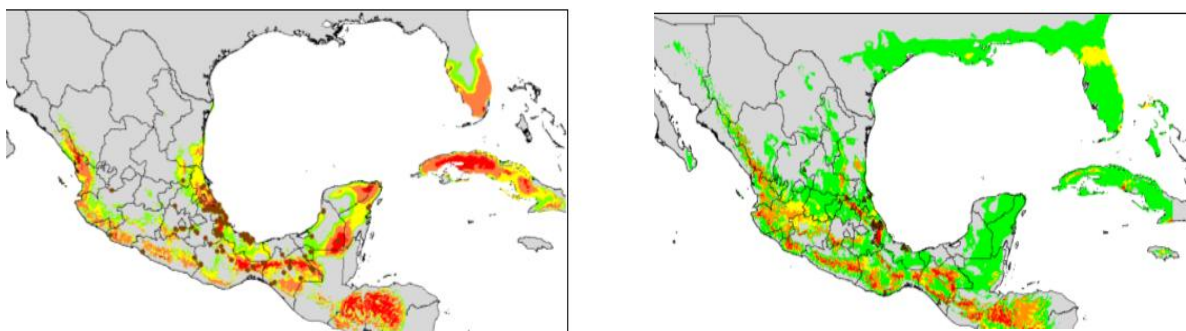


FIGURA 2. Probabilidad de ocurrencia de *D. nigra* (izquierda) y *D. conzattii*. (derecha). Colores más intensos representan mayor probabilidad.

La representación gráfica de los tres principales componentes que agrupan el 66 % de la varianza, de donde se definieron las siguientes variables cuantitativas: Longitud del fruto, diámetro del fruto entre diámetro del cáliz, índice de luminosidad de los frutos en madurez fisiológica, firmeza del pericarpio en madurez fisiológica y de consumo, sólidos solubles totales, número de semillas, peso de una semilla y relación del arilo entre la semilla. Del AFP se extrajeron las variables: Nectarios extraflorales, forma del ápice del fruto, hendiduras laterales y en el ápice del fruto y color de la semilla. Con estas variables el análisis discriminante, hecho con las dos provincias biogeográficas no arrojó diferencias significativas, mientras que con los niveles de manejo se encontraron diferencias significativas en las siguientes variables, tabla 1:

TABLA 1. Promedio y desviación estándar de los caracteres morfológicos que mostraron

una diferencia significativa en relación al nivel de manejo. Letras capitales corresponden a 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 A	172 ± 71 B	165 ± 61 B	164 ± 80 B
FrFPMC** (Kg _t)	14.3 ± 1.6 A	12.9 ± 2.7 A	7.3 ± 1.5 B	6.8 ± 1.8 B
FLMF*	34.1 ± 7.5 A	45.8 ± 4.1 B	47.4 ± 5 B	48.7 ± 5.6 B
FLMC**	28.0 ± 1.1 A	32.1 ± 3.2 B	32.3 ± 4.7 B	31.4 ± 2.5 B
A/S** (%)	1 A	1.2 ± 0.2 AB	1.4 ± 0.2 BC	1.6 ± 0.3 C
DMFMC*	12.5 ± 1.4 A	9.0 ± 1.8 B	8.1 ± 1.3 B	7.5 ± 3.8 B

FrP: peso del fruto, FrFPMC: firmeza del pericarpio en madurez de consumo, FLMF: luminosidad del fruto en madurez fisiológica, FLMC: luminosidad del fruto en madurez de consumo, A/S: relación del tamaño del arilo entre la semilla y DMFMC: días de madurez fisiológica a madurez de consumo.

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. Estas diferencias morfo-fisiológicas son útiles para diseñar planes de manejo sostenible de las especies conocidas como Zapote Negro.

Referencias bibliográficas

- Andrés 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.
- Casas A, Osorio A, Pérez E & Valiente A (2007) In situ Management and Domestication of Plants in Mesoamerica, *Annals of Botany* 100:1101-1115.
- Duangjai S, Wallnöfer B, Samuel R, Munzinger & Chase MW (2006) Generic delimitation and relationships in Ebenaceae sensu lato: evidence from six plastid DNA regions, *American Journal of Botany* 93(12):1808-1827.
- Hijmans RJ (2012) DIVA-GIS Version 7.5. A geographic information system for the analysis of biodiversity data, Disponible en: <http://www.diva-gis.org>; última consulta 17.IX.2014.
- Rosenberg MS & Anderson CD (2011) PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographics Exegesis. Versión 2. *Methods and Evolution*, 2:229-232.
- Liria J (2008) Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79:281-284.
- Provance MC & Sanders AC (2006) More american black sapotes: new *Diospyros* (Ebenaceae) for Mexico and Central America, *SIDA* 22(1):277-304.
- Rzedowski J (2006) Vegetación de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 p.
- Scheldeman X & Maarten Z (2011) Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas, Bioersity International, Roma, Italia. 186 p.
- Segura S, Andrés J, Fresnedo J, Marroquín L, Vidal E, Vidal L, Castañeda A, Barrios S, Carmona A,



- Zavala F, Nicolás M, Bolívar N & González A (2012) Where do we go with Annona in Mexico?, Acta Horticulturae, 948(2012):79-90.
- Sherman GE, Sutton A, Blazek R, Holl S, Dassau O, Mitchell T, Morely B & Luthman L (2007) Quantum GIS ver. 2.4 'Chugiak'. Disponible en: <http://qgis.org>; última consulta 17.IX.2014.
- UPOV (2004) Working paper on test wide lines for *Diospyros kaki* L.f. TG/92/4. Ginebra.