

Distribution, eco-climatic characterization and potential cultivation zones of mamey sapote in Mexico

Distribución, caracterización eco-climática y zonas potenciales de cultivo del zapote mamey en México

Carlos Alberto Núñez-Colín^{1*}; Irán Alia-Tejacal²;
Juan Manuel Villarreal-Fuentes³; Diana Escobedo-López⁴;
Jesús Rubén Rodríguez-Núñez¹; Vicente Peña-Caballero¹

¹Universidad de Guanajuato, Programa de Biotecnología. Mutualismo núm. 303, Col. La Suiza, Celaya, Guanajuato, C. P. 38060, MÉXICO.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad núm. 1001, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62210, MÉXICO.

³Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas. Entronque carretera Costera y Pueblo de Huehuetán, Huehuetán, Chiapas, C. P. 30660, MÉXICO.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km. 6.5, Celaya, Guanajuato, C. P. 38110, MÉXICO.

*Corresponding author: lit007a@gmail.com, tel. (461) 598 59 22

Abstract

The mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) is a tropical fruit native to Mexico with organoleptic and nutritional characteristics that are of commercial interest. The aim of this study was to generate maps of the natural geographic and eco-climatic distribution of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico and model potential zones according to climate change estimated for 2050. The natural distribution model showed that this species is found in most tropical and some subtropical areas of Mexico. This species grows in three different eco-climatic regions (two tropical and one subtropical): Aw (Yucatán peninsula), Am (Gulf of Mexico) and A(C)(m) (northern Gulf of Mexico and Pacific coast). The modeling of suitable climatic adaptation zones showed that 15 of Mexico's 32 states have the potential to grow mamey sapote; in addition, in the global climate change scenario, beneficial effects are predicted in the adaptation of this species considering the identification of at least eight more states with favorable possibilities.

Keywords: *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam, Sapotaceae Juss., Geographic Information Systems, climate modeling, tropical fruit trees.

Resumen

El zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) es un frutal tropical nativo de México con características organolépticas y nutrimentales que son de interés comercial. El presente estudio tuvo como objetivo generar mapas de la distribución geográfica natural y eco-climática donde se desarrolla el zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México y modelar las zonas potenciales de acuerdo con el cambio climático estimado para 2050. El modelo de distribución natural mostró que esta especie se encuentra en la mayoría de las zonas tropicales y algunas subtropicales de México. Esta especie se desarrolla en tres regiones eco-climáticas diferentes (dos tropicales y una subtropical) de climas: Aw (península de Yucatán), Am (Golfo de México) y A(C)(m) (norte del Golfo de México y costa del Pacífico). El modelado de las zonas adecuadas de adaptación climática mostró que 15, de 32 entidades de México, tienen potencial para cultivar zapote mamey; además, en el escenario de cambio climático global, se pronostican efectos benéficos en la adaptación de esta especie considerando la identificación de al menos ocho estados más con posibilidades favorables.

Palabras clave: *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam, Sapotaceae Juss., Sistemas de Información Geográfica, modelación climática, frutales tropicales.



Introduction

The family Sapotaceae Juss. comprises tropical trees and shrubs, including species of interest (Popenoe, 1934). In Mexico, this family is represented by five genera and 38 species (Newman, 2008). Among the species of this family the mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) stands out because of the economic importance of its fruits, which are mainly consumed fresh and are appreciated for their sensorial characteristics (Pennington & Sarukhán-Kermez, 2005). Apparently, this species is native to south-southeast Mexico and low-lying areas of Central America. It is currently cultivated in several tropical areas: The United States (specifically in Florida), Mexico, Belize, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panama, Colombia and the Caribbean islands; in addition, there is interest in cultivating it in Australia, Israel, the Philippines, Vietnam, Spain and Venezuela (Balerdi & Crane, 2015).

In Mexico, for 2014, 1,651 hectares planted with this species in 15 states of the country and a total production of 17,586 t of fruit were reported. Yucatán, Guerrero, Chiapas and Michoacán stand out for their harvested area and production (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera* [SIAP], 2015).

Alia-Tejagal et al. (2007) report the nutritional benefits of this species, emphasizing its high content of vitamins (especially vitamin A and C), essential amino acids and minerals (highlighting Ca and K). It also contains carotenoids (3.7 mg·100 g⁻¹ fresh weight of beta carotene) and phenols (646 mg·kg⁻¹ fresh weight), the latter of which, due to their antioxidant capacity, could be associated with the prevention of some chronic diseases (Alia-Tejagal, Soto-Hernández, Colinas-León, & Martínez-Damián, 2005; Alia-Tejagal et al., 2007).

In Mexico, mamey sapote, which is cross-pollinated, is propagated by seed, generating broad genetic variability, which makes its commercialization difficult because there is no homogeneity in fruit production or quality (Villarreal-Fuentes, Alia-Tejagal, Hernández, Pelayo-Zaldivar, & Franco-Mora, 2015). In addition, its cultivation in the country has not improved and its planted area has not expanded; moreover, its productive potential, in particular the availability of the gene pool associated with its productivity, is unknown (Villegas-Monter & Granados-Friely, 2012).

In order to make a plan about the collection and safeguarding of mamey sapote germplasm, as well as its evaluation, it is important to know its distribution and the different climatic regimes where it grows and to identify the potential cultivation zones and the possible variation in them due to climate change (Zagaja, 1988). All this can be obtained by using several Geographic

Introducción

La familia Sapotaceae Juss. comprende árboles y arbustos tropicales, en ella se encuentran especies de interés (Popenoe, 1934). En México, esta familia está representada por cinco géneros y 38 especies (Newman, 2008). Dentro de las especies de esta familia destaca el zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) por la importancia económica de sus frutos, los cuales se consumen principalmente en fresco y son apreciados por sus características sensoriales (Pennington & Sarukhán-Kermez, 2005). Al parecer, esta especie es originaria del sur-sureste de México y de zonas bajas de Centroamérica. Actualmente, se cultiva en varias zonas tropicales: Estados Unidos (específicamente en Florida), México, Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá, Colombia e islas del Caribe; además, existe interés en cultivarla en Australia, Israel, Filipinas, Vietnam, España y Venezuela (Balerdi & Crane, 2015).

En México, para 2014, se reportan 1,651 hectáreas sembradas con esta especie en 15 estados del país y una producción total de 17,586 t de fruta. Yucatán, Guerrero, Chiapas y Michoacán destacan por su superficie cosechada y su producción (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera* [SIAP], 2015).

Alia-Tejagal et al. (2007) reportan las bondades nutrimentales que presenta esta especie destacando su elevado contenido de vitaminas (especialmente la vitamina A y C), aminoácidos esenciales y minerales (sobresaliendo Ca y K). También contiene carotenoides (3.7 mg·100 g⁻¹ de peso fresco de beta caroteno) y fenoles (646 mg·kg⁻¹ de peso fresco); ambos, debido a su capacidad antioxidante, podrían asociarse con la prevención de algunas enfermedades crónicas (Alia-Tejagal, Soto-Hernández, Colinas-León, & Martínez-Damián, 2005; Alia-Tejagal et al., 2007).

En México, el zapote mamey, que es de polinización cruzada, se propaga por semilla generando variabilidad genética amplia, lo que dificulta su comercialización debido a que no hay homogeneidad en la producción ni en la calidad de la fruta (Villarreal-Fuentes, Alia-Tejagal, Hernández, Pelayo-Zaldivar, & Franco-Mora, 2015). Adicionalmente, su cultivo en el país no ha mejorado ni ampliado su superficie; además, se desconoce su potencial productivo, en particular la disponibilidad de los acervos genéticos asociados con su productividad (Villegas-Monter & Granados-Friely, 2012).

Para hacer una planificación sobre el resguardo y colecta de germoplasma del zapote mamey, así como su evaluación, es importante conocer su distribución y sus diferentes variaciones climáticas donde se desarrolla, e identificar las zonas potenciales de cultivo y la posible variación de dichas zonas debido

Information System (GIS) methods (Guarino, Jarvis, Hijmans, & Maxted, 2002; Hijmans, Guarino, & Mathur, 2012; Jones, Guarino, & Jarvis, 2002; Núñez-Colín & Goytia-Jiménez, 2009; Scheldeman & van Zonneveld, 2011).

In the case of mamey sapote there are no specialized studies on the subject and information on its distribution is dispersed; therefore, the aim of this research was to generate maps of the natural geographic and eco-climatic distribution of mamey zapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) growing areas in Mexico and model potential areas according to the climate change estimated for 2050, by using GIS.

Materials and methods

Information sources for the desk analyses were: passport data of the projects registered in the SNIB-CONABIO database (*Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, 2015; Table 1), Tropicos.org (Missouri Botanical Garden, 2015; 63 passport data) and optimal mamey sapote climatic data recorded in the FAO database (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007).

Two different GIS-based analyses were performed. The first one was carried out with FloraMap 1.03 software (Jones & Gladkov, 1999), with which probabilistic maps of its distribution, both general and of the different climatic regions where mamey sapote grows, were made; this is based on the construction of a dendrogram of accessions that grow in different climatic zones. The method used to construct the dendrogram was Ward's minimum variances (Ward, 1963). Probability maps were calculated without weighting; that is, all the coefficients of the climatic variables evaluated were equal to one. The transformation of precipitation data, to match them with the temperature scale, was done with the Rain Power A transform (Jones & Gladkov, 1999) with a coefficient of 0.5. In addition, six principal components that explained 95.52 % of the total variance were used (Jones & Gladkov, 1999; Jones et al., 2002). All FloraMap probabilistic maps were obtained with a minimum probability of 75 % to locate each species.

The second analysis was performed with the software DIVA-GIS version 7.5 (Hijmans et al., 2012). Two scenarios were considered to construct a model of climatic areas suitable for mamey sapote. In the first one, called current potential zones (CPZ), the accumulated real data for 50 years (1950-2000) were taken from the Worldclim (WC) database (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005). In the second, named future potential zones (FPZ), data were modeled considering twice the atmospheric CO₂ concentration

al cambio climático (Zagaja, 1988). Todo esto puede obtenerse utilizando diversos métodos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Guarino, Jarvis, Hijmans, & Maxted, 2002; Hijmans, Guarino, & Mathur, 2012; Jones, Guarino, & Jarvis, 2002; Núñez-Colín & Goytia-Jiménez, 2009; Scheldeman & van Zonneveld, 2011).

Para el caso del zapote mamey no hay estudios especializados sobre el tema y la información de su distribución es dispersa; por ello, la presente investigación tuvo como objetivo generar mapas de la distribución geográfica natural y eco-climática donde se desarrolla el zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México y modelar las zonas potenciales de acuerdo con el cambio climático estimado para 2050. Lo anterior mediante SIG.

Materiales y métodos

Las fuentes de información para los análisis de gabinete fueron: datos de pasaporte de los proyectos registrados en la base de datos SNIB-CONABIO (*Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, 2015; Cuadro 1), Tropicos.org (Missouri Botanical Garden, 2015; 63 datos de pasaporte) y datos climáticos óptimos de zapote mamey registrados en la base de datos de la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2007).

Se llevaron a cabo dos diferentes análisis basados en SIG. El primero se realizó con el programa FloraMap 1.03 (Jones & Gladkov, 1999), con el cual se elaboraron mapas probabilísticos de su distribución, tanto general como de las diferentes regiones climáticas donde se desarrolla el zapote mamey; esto basado en la construcción de un dendrograma de accesiones que se desarrollan en distintas zonas climáticas. El método usado para la construcción del dendrograma fue el de varianzas mínimas de Ward (Ward, 1963). Los mapas de probabilidad se calcularon sin ponderación; es decir, todos los coeficientes de las variables climáticas evaluadas fueron iguales a uno. La transformación de los datos de precipitación, para equipararlos con la escala de temperatura, se hizo con el Poder A de la lluvia (*Rain power A transform*; Jones & Gladkov, 1999) con coeficiente de 0.5. Además, se utilizaron seis componentes principales que explicaron 95.52 % de la varianza total (Jones & Gladkov, 1999; Jones et al., 2002). Todos los mapas probabilísticos de FloraMap se obtuvieron con probabilidad mínima de 75 % de localizar cada especie.

El segundo análisis se realizó con el paquete DIVA-GIS versión 7.5 (Hijmans et al., 2012). Se consideraron dos escenarios para construir un modelo de zonas climáticas adecuadas para el zapote mamey. En el primero, denominado zonas potenciales actuales (ZPA), se utilizaron los datos reales acumulados de 50 años (1950-2000) tomados de la base de datos climáticos *Worldclim*

Table 1. Project and source of the passport data of *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam from the SNIB-CONABIO database, Mexico, used in the GIS analysis.**Cuadro 1. Proyecto y fuente de los datos de pasaporte de *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam de la base de datos SNIB-CONABIO, México, utilizados en el análisis SIG.**

Project/ Proyecto	Source/ Fuente	Project citation/ Cita del proyecto	Number of data used/ Número de datos usados
AA002	AA002 E008 K004 P026	Lorea-Hernández, F., Peredo, M., & Durán, C. (2014). <i>Actualización de las bases de datos del Herbario XAL. Fase III.</i> (Base de datos SNIB-CONABIO proyecto AA002). Ciudad de México: Instituto de Ecología, A. C.	34
AA007	AA007 L282	Contreras-Jiménez, J. L. (2005). <i>Actualización e incremento de la base de datos del Herbario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. AA007 y L282). Ciudad de México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla DIHMO.	4
AC002	AC002	Zamora-Crescencio, P., Sánchez-González, M. C., & Aragón-Axomulco, L. (2005). <i>Formación del banco de datos del herbario (UCAM).</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. AC002). Ciudad de México: Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Investigaciones Históricas y Sociales.	2
AE013	Q047	Panero, J. L., & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2003). <i>Catálogo electrónico de especímenes depositados en el Herbario de la Universidad de Texas en Austin, Fase IV.</i> (Bases de datos ejemplares mexicanos, SNIB-CONABIO proyectos No. AE013, V057, V007 y Q047). Ciudad de México: The University of Texas.	1
AE019	AE019	Toledo-Manzur, V. M. (2005). <i>Potencial económico de la flora útil de los cafetales de la Sierra Norte de Puebla.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. AE019). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	1
B002	B002	Navarro-Sigüenza, A. G., & Meave-de Castillo, J. A. (1998). <i>Inventario de la biodiversidad de vertebrados terrestres de los Chimalapas, Oaxaca.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO. No. B002). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	167
BC002	T031	Cuevas-Sánchez, J. A. (2006). <i>Computarización de la base de datos del Banco Nacional de Germoplasma Vegetal - Fase 2.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. BC002 y T031). Ciudad de México: Universidad Autónoma Chapingo.	7
BC007	BC007	Fernández-Nava, R., Reyes-Toledo, B., & Casales-Gómez, M. (2007). <i>Computarización del Herbario ENCB, IPN. Fase IV. Base de datos de la familia Pinaceae y de distintas familias de la clase Magnoliopsida depositadas en el Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. BC007). Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional.	11
DC013	DC013	Vázquez-Torres, M., & Bojórquez, L. H. (2011). <i>Base de datos computarizada del herbario CIB, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana.</i> (Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. DC013). Ciudad de México: Universidad Veracruzana.	2
EC018	EC018	Valdez-Hernández, M. (2013). <i>Base de datos del Herbario CIQR de El Colegio de la Frontera Sur, unidad Chetumal.</i> (Base de datos SNIB-CONABIO proyecto No. EC018). Ciudad de México: El Colegio de la Frontera Sur.	2
gbif	12084	Missouri Botanical Garden. Global Biodiversity Information Facility. (2012). Retrieved from http://www.gbif.org/dataset	10
gbif	14036	Global Biodiversity Information Facility. (2012). University of British Columbia Herbarium - Vascular Plant Collection. Retrieved from http://www.gbif.org/dataset	1
HA005	EC009 HA005	Pérez-Farrera, M. A., Martínez-Camilo, R., Martínez-Meléndez, N., & Martínez-Meléndez, M. (2011). <i>Integración de bases de datos, actualización y sistematización de la colección de flora del Herbario Eizi Matuda (HEM).</i> (Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. HA005). Ciudad de México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.	2

Table 1. Project and source of the passport data of *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam from the SNIB-CONABIO database, Mexico, used in the GIS analysis. (cont.)**Cuadro 1. Proyecto y fuente de los datos de pasaporte de *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam de la base de datos SNIB-CONABIO, México, utilizados en el análisis SIG. (cont.)**

Project/ Proyecto	Source/ Fuente	Project citation/ Cita del proyecto	Number of data used/ Número de datos usados
HA016	BA006	Hernández-Aguilar, S. (2014). <i>Depuración de la colección y base de datos del Herbario CICY. Fase IV.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos Nos. HA016, DC002, BA006, U009, K037, B070 y P143). Ciudad de México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.	8
INFyS2010	INFyS. 2010	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2011). <i>Base de datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004 - 2009.</i> Ciudad de México: Author.	22
J001	J001	Martínez-Hernández, E. (1999). <i>Propuesta para sistematizar la colección palinológica de polen reciente y fósil del IGLUNAM.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. J001). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	1
J002	J002	Bravo-Marentes, C. (1999). <i>Inventario nacional de especies vegetales y animales de uso artesanal.</i> (Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. J002). Ciudad de México: Asociación Mexicana de Arte y Cultura Popular, A. C.	1
J063	J063	Reygadas-Prado, D. D. (1999). <i>Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la reforestación rural en México.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. J063). Ciudad de México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.	1
J084	J084	Batis-Muñoz, A. I., Alcocer-Silva, M. I., Gual-Díaz, M., Sánchez-Dirzo, C., & Vázquez-Yanes, C. (1999). <i>Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. J084). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	9
L255	L255	Rendón-Aguilar, B., & Núñez-Farfán, J. (1999). <i>Flora útil del municipio de la Huerta, Jalisco.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. L255). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	1
M002	M002	Levy-Tacher, S. I. (1999). <i>Contribución al conocimiento de la flora útil de la selva Lacandona.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. M002). Ciudad de México: Conservation International México, A. C.	1
M099	M099	Meave-del Castillo, J. A., & Luis-Martínez, A. M. (2000). <i>Caracterización biológica del Monumento Natural Yaxchilán como un elemento fundamental para el diseño de su plan rector de manejo.</i> (Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. M099). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	1
Mobot	Mobot	Jardín Botánico de Missouri. (2005). <i>Base de datos del herbario del Jardín Botánico de Missouri.</i> Missouri: Jardín Botánico de Missouri.	29
P140	P140	Gutiérrez-Garduño, M. V. (1999). <i>Sistematización del Herbario Nacional Forestal Biól. Luciano Vela Gálvez.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. P140). Ciudad de México: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	1
Q017	Q017	Rzedowski, J., & Zamudio, S. (2001). <i>Etapa final de la captura y catalogación del Herbario del Instituto de Ecología, A. C., Centro Regional del Bajío.</i> (Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. Q017, J097 y F014). Ciudad de México: Instituto de Ecología, A. C.	1
SI-BMM	SI-BMM	Gual, D. M., Rendón, C. A., Alamilla, F. L., Cifuentes, R. P., & Lozano, R. A. T. (2013). <i>Bosque Mesófilo de Montaña de México.</i> Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.	3
T004	T004	Barajas-Morales, J. (2001). <i>Base de datos para la xiloteca del Instituto de Biología de la UNAM.</i> (Base de datos SNIB-CONABIO proyecto No. T004). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	1

Table 1. Project and source of the passport data of *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam from the SNIB-CONABIO database, Mexico, used in the GIS analysis. (cont.)

Cuadro 1. Proyecto y fuente de los datos de pasaporte de *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Steam de la base de datos SNIB-CONABIO, México, utilizados en el análisis SIG. (cont.)

Project/ Proyecto	Source/ Fuente	Project citation/ Cita del proyecto	Number of data used/ Número de datos usados
U011	U011	Santana-Michel, F. J., Cuevas-Guzmán, R., & Guzmán-Hernández, L. (2003). <i>Actualización de la base de datos sobre la flora de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, México</i> . Ciudad de México: Universidad de Guadalajara.	1
U048	U048	Guízar-Nolazco, E. (2004). <i>Banco de datos florísticos del Herbario CHAP</i> . (Base de datos SNIB-CONABIO proyecto No. U048). Ciudad de México: Universidad Autónoma Chapingo.	2
Y004	Y004	Chiang-Cabrera, F. (2004). <i>Inventario florístico de la región Calakmul-parte baja de la región Lacandona (cuenca alta del Usumacinta y Marqués de Comillas)</i> . (Base de datos SNIB-CONABIO proyecto No. Y004). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.	1
Y036	Y036	León-Cortés, J. L. (2005). <i>Patrones de diversidad florística y faunística del área focal Ixcán, selva Lacandona, Chiapas</i> . (Bases de datos SNIB-CONABIO. Aves, proyecto No. Y036). Ciudad de México: El Colegio de la Frontera Sur.	4

to simulate global climate change, used in the CCM3 model (Govindasamy, Duffy, & Coquard, 2003).

Both models were compared to locate the most suitable zones to establish *in vivo* germplasm banks, mother orchards and evaluation plots of mamey sapote; for this purpose, the Eco-Crop eco-climatic adaptation model was used (Hijmans, Guarino, Cruz, & Rojas, 2001; Hijmans & Graham, 2006). In addition, separate maps showing Mexico's political boundaries and its biogeographic regions (Figure 1), the latter as described by Morrone (2005), were used for this analysis. These analyses take into account climatic data related to temperature and precipitation, but do not consider other factors such as wind or soil (Jones et al, 2002; Hijmans et al., 2012).

Results and discussion

Natural distribution

The mamey sapote in Mexico, according to the databases consulted, is distributed on the Pacific coast, from southern Sinaloa to Chiapas, and on the Gulf of Mexico coast, from Tamaulipas to Tabasco, as well as on the Yucatán peninsula, Morelos, southern Guanajuato, the southern part of the state of Mexico, southern Puebla, eastern San Luis Potosí, and northern Hidalgo and Querétaro (Figure 2). This location coincides with tropical and subtropical zones of Mexico. Its greatest probability of adaptation is mainly found in Veracruz, Campeche, Quintana Roo and Yucatán, where its probable center of origin is reported (Pennington & Sarukhán-Kermez, 2005). This information corresponds to that previously proposed by Villegas-Monter and

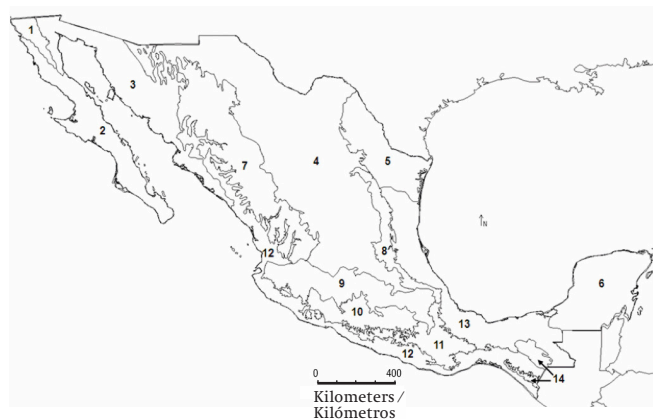
(WC) (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005). En el segundo, nombrado zonas potenciales futuras (ZPF), se modelaron datos considerando el doble de la concentración de CO₂ atmosférico para simular el cambio climático mundial, empleado en el modelo CCM3 (Govindasamy, Duffy, & Coquard, 2003).

Ambos modelos se compararon para localizar las zonas más adecuadas para establecer bancos de germoplasma *in vivo*, huertas madre y parcelas de evaluación de zapote mamey; para ello, se utilizó el modelo de adaptación eco-climática Eco-Crop (Hijmans, Guarino, Cruz, & Rojas, 2001; Hijmans & Graham, 2006). Además, para este análisis se emplearon mapas con división política y con regiones biogeográficas de México (Figura 1) descritas por Morrone (2005). Estos análisis sólo toman en cuenta datos climáticos relacionados con la temperatura y la precipitación, pero no consideran otros factores como el viento o el suelo (Jones et al, 2002; Hijmans et al., 2012).

Resultados y discusión

Distribución natural

El zapote mamey en México, de acuerdo con las bases de datos consultadas, se encontró distribuido en la costa del Pacífico, desde el sur de Sinaloa hasta Chiapas, y en la costa del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Tabasco; así como en la península de Yucatán, Morelos, sur de Guanajuato, sur del estado de México, sur de Puebla, oriente de San Luis Potosí, y norte de Hidalgo y Querétaro (Figura 2). Esta ubicación concuerda con zonas tropicales y subtropicales de México. Su mayor



1 = California, 2 = Baja California, 3 = Sonora, 4 = Central Mexican Plateau, 5 = Tamaulipas, 6 = Yucatán peninsula, 7 = Sierra Madre Occidental, 8 = Sierra Madre Oriental, 9 = Trans-Mexican Volcanic Axis, 10 = Balsas River basin, 11 = Sierra Madre del Sur, 12 = Mexican Pacific coast, 13 = Gulf of Mexico and 14 = Chiapas.

1 = California, 2 = Baja California, 3 = Sonora, 4 = Altiplano mexicano, 5 = Tamaulipas, 6 = península de Yucatán, 7 = Sierra Madre Occidental, 8 = Sierra Madre Oriental, 9 = Eje Volcánico Transmexicano, 10 = cuenca del río Balsas, 11 = Sierra Madre del Sur, 12 = costa del Pacífico mexicano, 13 = Golfo de México y 14 = Chiapas.

Figure 1. Biogeographic zones of Mexico according to Morrone (2005).

Figura 1. Zonas biogeográficas de México de acuerdo con Morrone (2005).

Granados-Friely (2012), who recorded the presence of this species between 30 and 1,050 masl.

Eco-climatic characterization

The accessions considered in this study were divided into three climatic groups (Figure 3) that presented different distributions and climates, possibly associated with three different gene pools, which should be considered within the breeding programs. Under different environmental conditions, populations may have different genes of adaptation (Dobzhansky, 1970). One possible practical implication of this information in breeding programs is the development of hybrid varieties by considering different gene pools, since they are highly likely to obtain heterosis by crossing (Wright, 1978). For their part, the climatograms of the three groups (Figure 4a, 4b, 4c) showed that these have different climatic patterns.

Group 1 was found on average at 115.2 masl, and had the smallest difference between the maximum and minimum temperature of the three groups and the lowest precipitation. Its annual rainfall accumulation was 1,586.9 mm and its average annual temperature was 23.5 °C, with an extreme minimum and maximum of 18.9 and 31.1 °C, respectively. The driest month had 33.8 mm of rainfall and the wettest 244 mm (Figure 4a). According to the Köppen classification modified by García (2004), these characteristics correspond to those of a warm subhumid climate with summer rains (Aw).



Figure 2. Map of the estimated natural distribution of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico.

Figura 2. Mapa de la distribución natural estimada de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México.

probabilidad de adaptación se encuentra principalmente en Veracruz, Campeche, Quintana Roo y Yucatán, donde está reportado su probable centro de origen (Pennington & Sarukhán-Kermez, 2005). Esta información corresponde con lo previamente propuesto por Villegas-Monter y Granados-Friely (2012), quienes consignan la presencia de esta especie entre los 30 y 1,050 msnm.

Caracterización eco-climática

Las accesiones consideradas en este estudio se dividieron en tres grupos climáticos (Figura 3) que presentaron distribuciones y climas diferentes, posiblemente asociadas con tres acervos genéticos diferentes; los cuales deben considerarse dentro de los programas de mejoramiento. En condiciones ambientales distintas, las poblaciones pueden tener diferencias genéticas de adaptación (Dobzhansky, 1970). Una posible implicación práctica de esta información en programas de mejoramiento genético es el desarrollo de variedades híbridas considerando acervos genéticos diferentes, ya que se tienen probabilidades altas de obtener heterosis por cruzamiento (Wright, 1978). Por su parte, los climatogramas de los tres grupos (Figura 4a, 4b, 4c) mostraron que estos presentan patrones climáticos distintos.

El Grupo 1 se presentó en promedio a 115.2 msnm, tuvo la menor diferencia entre la temperatura máxima y mínima de los tres grupos y la menor precipitación. Su acumulación de lluvia anual fue de 1,586.9 mm y su temperatura media anual fue de 23.5 °C, presentando como mínima y máxima extrema 18.9 y 31.1 °C, respectivamente. El mes más seco exhibió 33.8 mm de lluvia y el más húmedo 244 mm (Figura 4a). De acuerdo con la clasificación Köppen modificada por García (2004), estas características corresponden a las de un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw).

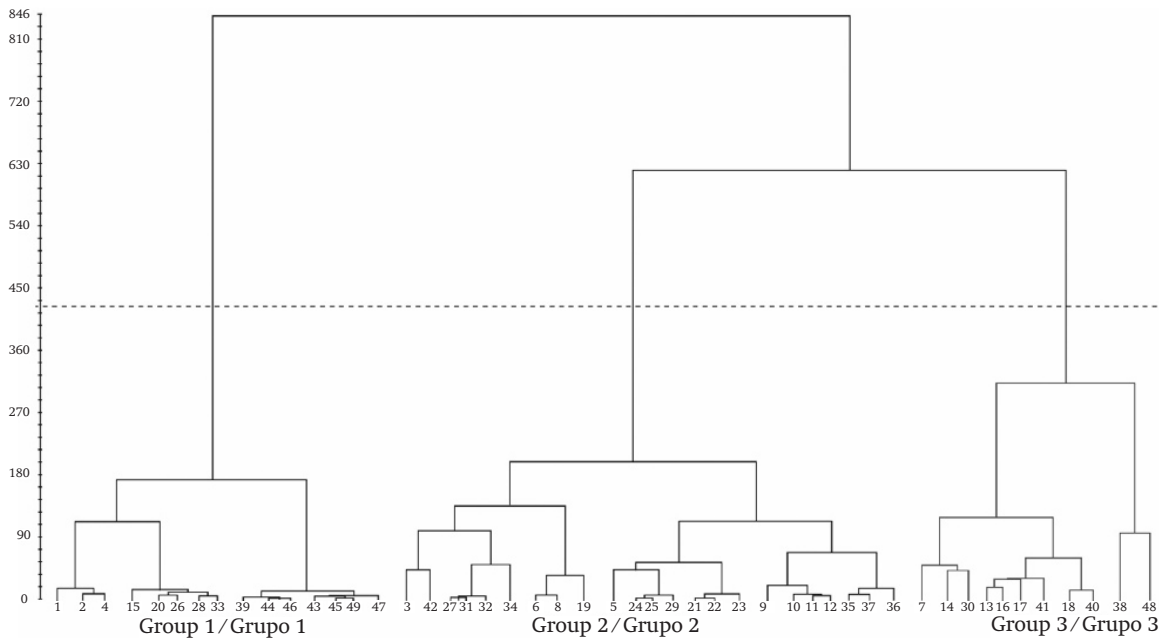


Figure 3. Dendrogram of passport data of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Stearn) using climatic variables.

Figura 3. Dendrograma de los datos de pasaporte de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Stearn) usando variables climáticas.

Group 2 was located on average at 235.3 masl and had the highest precipitation of the three groups. Its annual rainfall accumulation was 2,131.6 mm and its annual average temperature was 24.9 °C, having as an extreme minimum and maximum 16.6 and 32.8 °C, respectively. The driest month had 49.5 mm of rainfall and the wettest 358.5 mm (Figure 4b). According to the Köppen classification modified by García (2004), these characteristics belong to those of a warm humid climate with summer rains (Am).

Group 3 was characterized by being found at 1,060.6 masl and by the lowest temperature of the three groups. Its annual rainfall accumulation was 1,605.9 mm and its average annual temperature was 20.8 °C, with its minimum and maximum being 12.5 and 28.8 °C, respectively. The driest month had 23.3 mm of rainfall and the wettest 281 mm (Figure 4c). According to the Köppen classification modified by García (2004), these are the characteristics of a semi-warm humid climate with summer rains [A(C)(m)].

When comparing the climatic factors, Group 3 presented the lowest mean temperature (Figure 4d), Group 2 the highest precipitation (Figure 4e) and Group 1 the smallest difference between the minimum and maximum temperature (Figure 4f). This information constitutes an important reference for the selection of specific genotypes for each climatic group; this is due to the benefit represented by its satisfactory adaptation and competitiveness, especially considering the presence of local materials

El Grupo 2 se ubicó en promedio a 235.3 msnm y presentó la mayor precipitación de los tres grupos. Su acumulación de lluvia anual fue de 2,131.6 mm y su temperatura media anual de 24.9 °C, teniendo como mínima y máxima extrema 16.6 y 32.8 °C, respectivamente. El mes más seco tuvo 49.5 mm de lluvia y el más húmedo 358.5 mm (Figura 4b). De acuerdo con la clasificación Köppen modificada por García (2004), estas características pertenecen a las de un clima cálido húmedo con lluvias en verano (Am).

El Grupo 3 se caracterizó por encontrarse a 1,060.6 msnm y por la temperatura menor de los tres grupos. Su acumulación de lluvia anual fue de 1,605.9 mm y su temperatura media anual de 20.8 °C, siendo 12.5 y 28.8 °C la mínima y máxima, respectivamente. El mes más seco presentó 23.3 mm de lluvia y el más húmedo 281 mm (Figura 4c). De acuerdo con la clasificación Köppen modificada por García (2004), estas características son propias de un clima semicálido húmedo con lluvias en verano [A(C)(m)].

Al comparar los factores climáticos, el Grupo 3 presentó la menor temperatura media (Figura 4d), el Grupo 2 la mayor precipitación (Figura 4e) y el Grupo 1 la menor diferencia entre la temperatura mínima y máxima (Figura 4f). Esta información constituye una referencia importante para la selección de genotipos específicos para cada grupo climático; esto debido al beneficio que representa su adaptación satisfactoria y su competitividad, en especial considerando la presencia de materiales criollos en cada una de las

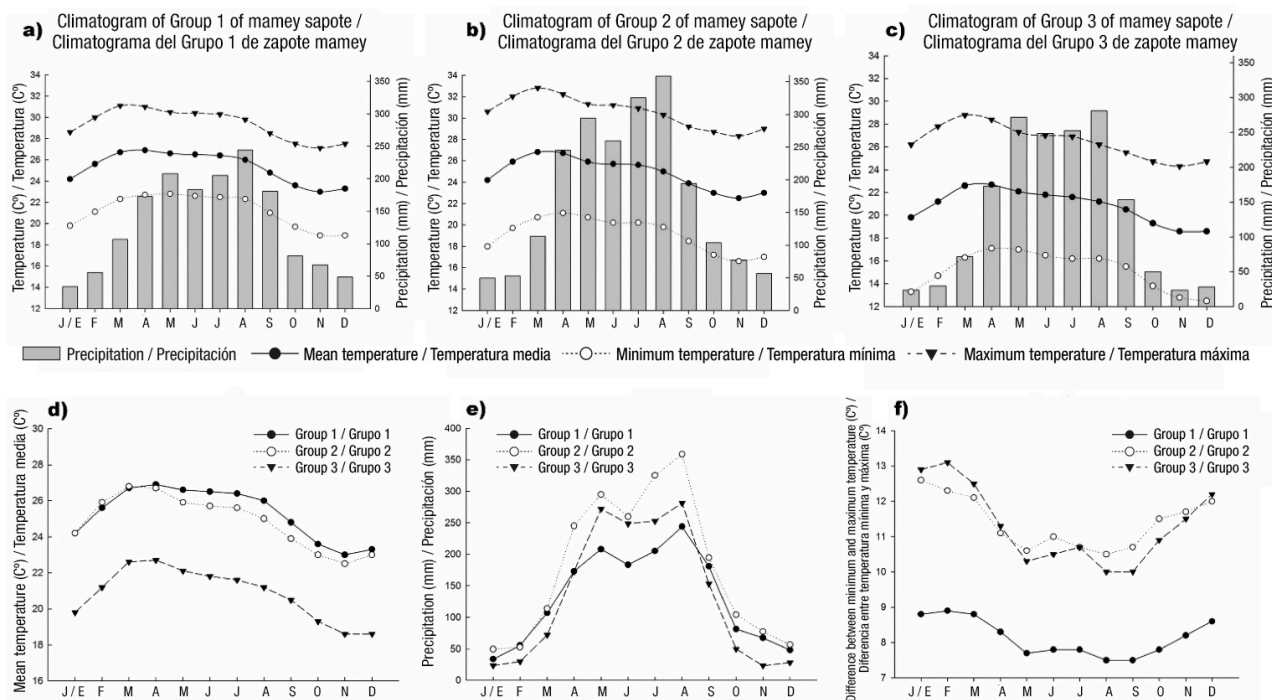


Figure 4. Climatograms of the three eco-climatic groups as potential eco-regions of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Stearn) distribution in Mexico (a, b, c) and comparison of mean temperature (d), precipitation (e) and the differential between the maximum and minimum temperatures (f) of the three climatic groups.

Figura 4. Climatogramas de los tres grupos eco-climáticos como potenciales eco-regiones de distribución de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Stearn) en México (a, b, c) y comparación de la temperatura media (d), la lluvia (e) y el diferencial entre las temperaturas máxima y mínima (f) de los tres grupos climáticos.

in each of the eco-climatic regions where mamey sapote is distributed (Zagaja, 1988).

Guayaba (*Psidium guajava* L.) has two gene pools, one tropical and one subtropical (Cázares-Sánchez et al., 2010), and it has been observed that tropical materials are more susceptible to frost (Mondragón-Jacobo, Toriz-Ahumada, & Guzmán-Maldonado, 2010). Rajan, Yadava, Kumar, and Saxena (2007) indicate that improving crops requires a reserve of genes that are naturally protected in the genetic diversity of each species. In this sense, cultivars may not have a good adaptation to more than one of the eco-climatic regions (Cázares-Sánchez et al., 2010; Núñez-Colín & Goytia-Jiménez, 2009). Therefore, identifying and selecting specific mamey sapote materials for each eco-climatic region will enable finding desirable genes to incorporate into the cultivars, including those related to resistance to pests, diseases and abiotic factors, as well as to improving fruit quality and productivity (Callahan, 2003; Quamme & Stushnoff, 1988; Sistrunk & Moore, 1988).

The genetic hybridization method may be an option for mamey sapote. This is due to the fact that this species is allogamous (Villarreal-Fuentes et al., 2015) and by interbreeding individuals with different genotypes, due to their adaptation to the environment,

regiones eco-climáticas donde se distribuye el zapote mamey (Zagaja, 1988).

La guayaba (*Psidium guajava* L.) tiene dos acervos genéticos, uno tropical y otro subtropical (Cázares-Sánchez et al., 2010), y se ha observado que materiales tropicales tienen mayor sensibilidad a las heladas (Mondragón-Jacobo, Toriz-Ahumada, & Guzmán-Maldonado, 2010). Rajan, Yadava, Kumar, y Saxena (2007) indican que para mejorar los cultivos es necesario contar con una reserva de genes que están protegidos de manera natural en la diversidad genética de cada especie. En este sentido, los cultivares pueden no tener una adaptación buena a más de una de las regiones eco-climáticas (Cázares-Sánchez et al., 2010; Núñez-Colín & Goytia-Jiménez, 2009). Por lo tanto, identificar y seleccionar materiales específicos de zapote mamey para cada región eco-climática permitirá encontrar genes deseables para incorporar a los cultivares; entre ellos, resistencia a plagas, enfermedades y factores abióticos, así como para mejorar la calidad de fruto y la productividad (Callahan, 2003; Quamme & Stushnoff, 1988; Sistrunk & Moore, 1988).

El método genotécnico de hibridación puede ser una opción para el zapote mamey. Lo anterior debido a que esta especie es alógama (Villarreal-Fuentes et al., 2015)



Figure 5. Estimated distribution map of Group 1 (climate Aw) of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico.

Figura 5. Mapa de distribución estimada del Grupo 1 (clima Aw) de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México.

they would be expected to produce hybrids with high heterosis (Bringhurst, 1988; Hansche, 1988; Wright, 1978). This requires that the breeding programs be established in the three regions found in the eco-climatic characterization to optimize the response to the selection of the candidate genotypes to be cultivars in Mexico. Balerdi and Crane (2015) report various selections suitable for Florida conditions, which should be tested in different regions of Mexico, especially in the distribution areas feasible for Group 1 since most were selected in the Caribbean.

Group 1 is mainly found on the Yucatán peninsula, with some atypical points in Veracruz, Guerrero and Sinaloa (Figure 5). Group 2 covers the coast of the Gulf of Mexico in Veracruz, Tabasco, Campeche and Chiapas, as well as the Pacific coast with a segmented distribution in Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca and Chiapas (Figure 6). Group 3, which covers the largest area, comprises mainly the northern Gulf of Mexico (Tamaulipas) and the entire Pacific region, from southern Sonora to Chiapas, including some points in Baja California Sur (Figure 7). In addition, Group 3 showed a probable distribution in the central north of the country (Durango, Coahuila and Zacatecas), as well as in southwestern Guanajuato, Morelos, southern Puebla, eastern San Luís Potosí, and northern Querétaro and Hidalgo (Figure 7).

This suggests that it is necessary to generate and select specific cultivars for each eco-climatic region (Cázares-Sánchez et al., 2010; Rajan et al., 2007; Zagaja, 1988), since the obtaining of ideal cultivars in one of the regions does not guarantee their adaptability in the others (Quamme & Stushnoff, 1988). To confirm the inferred existence of different gene pools, according to the groups found by environmental characteristics, morphological and molecular characterization studies are required. It would be advisable to carry out an ethnobotanical study to

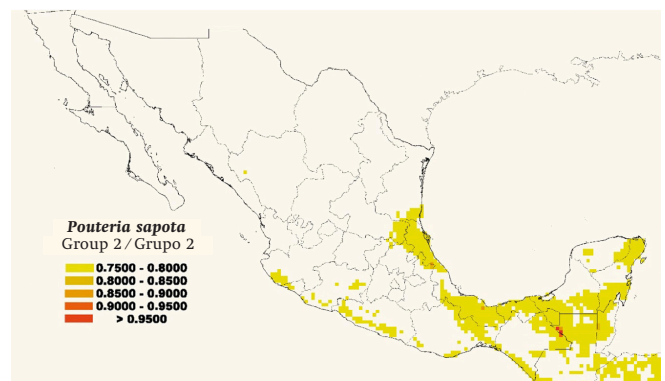


Figure 6. Estimated distribution map of Group 2 (climate Am) of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico.

Figura 6. Mapa de distribución estimada del Grupo 2 (clima Am) de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México.

yo al entrecruzar individuos con genotipos diferentes, por su adaptación al ambiente, se esperaría que estos produzcan híbridos con heterosis alta (Bringhurst, 1988; Hansche, 1988; Wright, 1978). Para esto, se necesita que los programas de mejoramiento se establezcan en las tres regiones encontradas en la caracterización eco-climática para optimizar la respuesta a la selección de los genotipos candidatos a ser cultivares en México. Balerdi y Crane (2015) reportan diversas selecciones aptas para las condiciones de Florida, las cuales convendría probar en distintas regiones de México, especialmente en las áreas de distribución factibles para el Grupo 1 ya que la mayoría fue seleccionada en el Caribe.

El Grupo 1 se encuentra principalmente en la península de Yucatán, con algunos puntos atípicos en Veracruz, Guerrero y Sinaloa (Figura 5). El Grupo 2 abarca la costa del Golfo de México en Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas, así como la costa del Pacífico con una distribución segmentada en Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Figura 6). El Grupo 3, fue el que comprendió mayor superficie, comprende principalmente el norte del Golfo de México (Tamaulipas) y toda la región del Pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, incluyendo algunos puntos en Baja California Sur (Figura 7). Adicionalmente, el Grupo 3 presentó una distribución probable en el centro norte del país (Durango, Coahuila y Zacatecas), así como en el suroeste de Guanajuato, Morelos, el sur de Puebla, el oriente de San Luís Potosí, y el norte de Querétaro e Hidalgo (Figura 7).

Lo anterior sugiere que es necesario generar y seleccionar cultivares específicos para cada región eco-climática (Cázares-Sánchez et al., 2010; Rajan et al., 2007; Zagaja, 1988), ya que la obtención de cultivares idóneos en una de las regiones no garantiza su adaptabilidad en las otras (Quamme & Stushnoff, 1988). Para confirmar la inferencia de la existencia

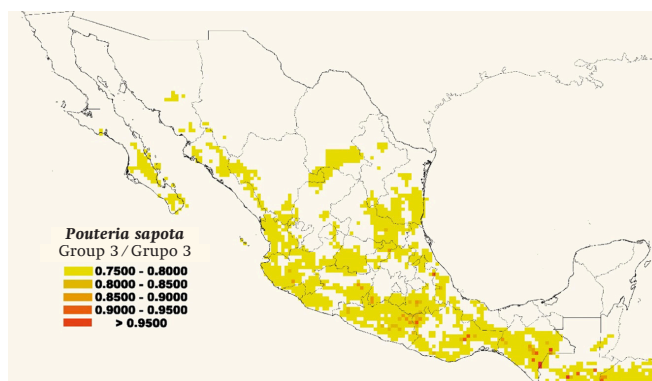


Figure 7. Estimated distribution map of Group 3 [climate A(C)(W)] of mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico.

Figura 7. Mapa de distribución estimada del Grupo 3 [clima A(C)(w)] de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México.

determine the role of human beings in the distribution of mamey sapote in the three eco-climatic regions found in this work.

Modeling of current potential zones and with the climate change scenario

The Eco-Crop model considered that the mamey sapote growth cycle is 365 days, which is why it shows no lethargy. Additionally, some of the conditions found for this species with Eco-Crop include: extreme temperatures of 15 and 36 °C, optimum minimum and maximum temperatures of 24 and 30 °C, respectively, extreme rainfall patterns of 800 and 4,000 mm, optimum minimum and maximum rainfall patterns of 2,000 and 3,300 mm, respectively, and death

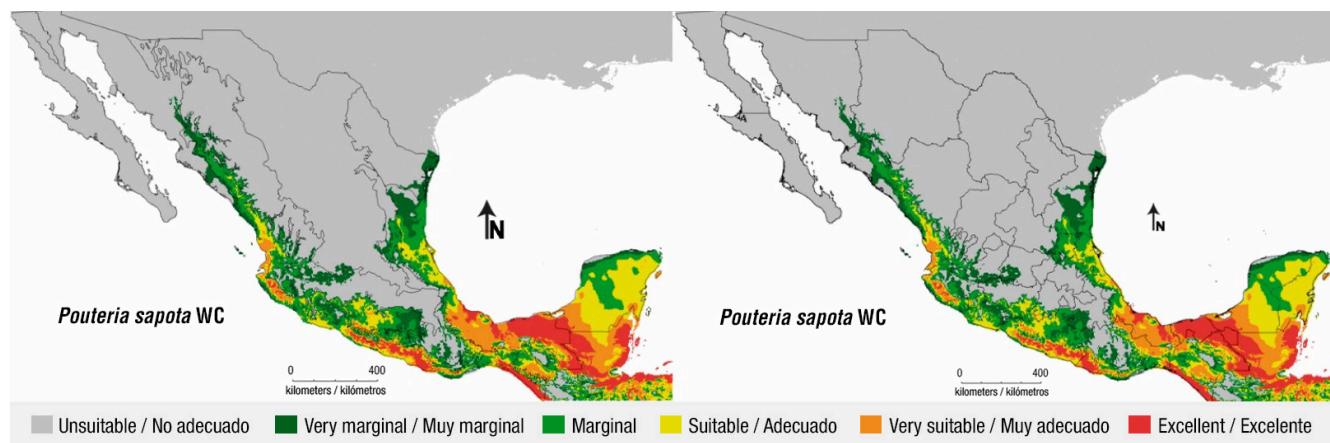
de diferentes acervos genéticos, de acuerdo con los grupos encontrados por características ambientales, se requieren estudios de caracterización morfológica y molecular. Sería recomendable realizar un estudio etnobotánico para conocer el papel del ser humano en la distribución del zapote mamey en las tres regiones eco-climáticas encontradas en este trabajo.

Modelación de zonas potenciales actuales y con escenario de cambio climático

El modelo Eco-Crop consideró que el ciclo de crecimiento del zapote mamey es de 365 días, por lo que no presenta letargos. Adicionalmente, algunas condiciones para esta especie encontradas con Eco-Crop son: temperaturas extremas de 15 y 36 °C, temperaturas óptimas mínima y máxima de 24 y 30 °C, respectivamente, patrones de lluvia extremos de 800 y 4,000 mm, patrones de lluvia óptimos mínimo y máximo de 2,000 y 3,300 mm, respectivamente, y temperatura de muerte en las primeras etapas de 0 °C. Con estos datos se modelaron las zonas de adaptación: excelente, muy buena, buena, marginal, muy marginal y no se adapta.

En los mapas de ZPA se encontró que las regiones con adaptación excelente, de acuerdo con las 14 regiones descritas por Morrone (2005), están ubicadas en la costa del Pacífico, Golfo de México, península de Yucatán y algunos puntos aislados en la cuenca del río Balsas (Figura 8). Específicamente, el zapote mamey se encuentra en Tabasco y la parte colindante de Campeche, en la costa de Chiapas, varias regiones de la costa de Guerrero y Jalisco, el occidente de la costa de Oaxaca y algunas zonas del sur de Veracruz (Figura 8).

En las ZPF se observa la ampliación de las regiones de adaptación excelente (Figura 9), principalmente en la

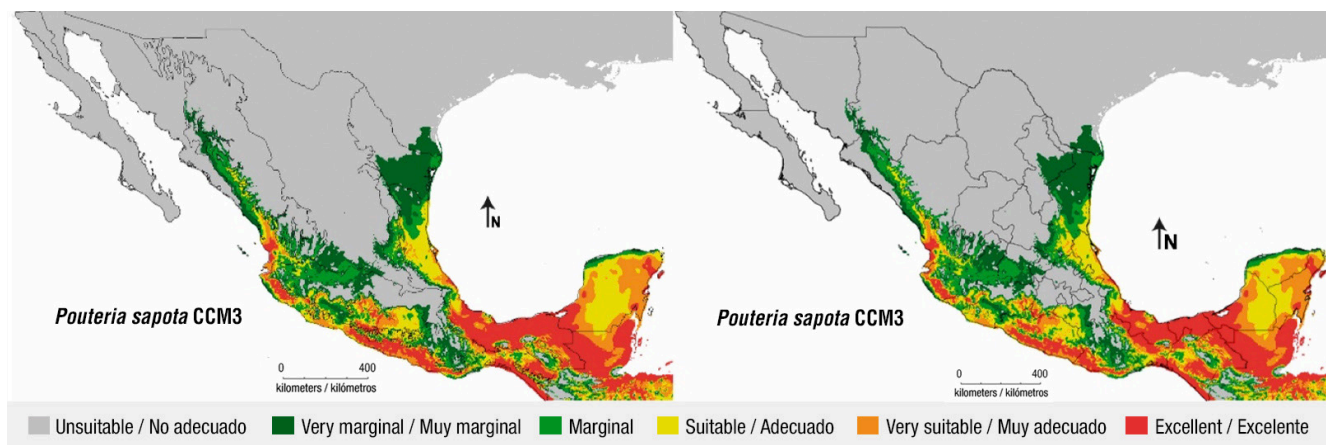


Left: the biogeographic zones of Mexico; right: the political division of Mexico.

Izquierda: sobre las zonas biogeográficas de México; derecha: sobre la división política de México.

Figure 8. Eco-Crop model for mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico, with current data.

Figura 8. Modelo Eco-Crop para zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México, con datos actuales.



Left: the biogeographic zones of Mexico; right: the political division of Mexico.

Izquierda: sobre las zonas biogeográficas de México; derecha: sobre la división política de México.

Figure 9. Eco-Crop model for mamey sapote (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) in Mexico, with simulated climate change.

Figura 9. Modelo Eco-Crop para zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Steam) en México, con cambio climático simulado.

temperature in the early stages of 0 °C. Using these data, the following adaptation zones were modeled: excellent, very good, good, marginal, very marginal and unsuitable.

In the CPZ maps it was found that the regions with excellent adaptation, according to the 14 regions described by Morrone (2005), are located on the Mexican Pacific coast, along the Gulf of Mexico, on the Yucatan peninsula and at some isolated points in the Balsas River basin (Figure 8). Specifically, the mamey sapote is found in Tabasco and the adjoining part of Campeche, on the coast of Chiapas, several regions on the coast of Guerrero and Jalisco, the west coast of Oaxaca and in some areas in southern Veracruz (Figure 8).

In the FPZ there is an enlargement of the regions with excellent adaptation (Figure 9), mainly in the Balsas River basin and on the Gulf of Mexico. Based on the scenario projected to 2050, it was found that the potential states for producing mamey sapote, according to their degree of adaptation, will be: Tabasco, Chiapas, Veracruz, Guerrero, Campeche, Jalisco, Oaxaca, Nayarit, Quintana Roo, Colima, Michoacán, Morelos, Puebla, San Luis Potosí and Hidalgo (Figura 9). That is, there is a possibility of good to excellent adaptation for the cultivation of mamey sapote in 15 of Mexico's 32 states, several of them included in the official statistics of 2014 (SIAP, 2015). The current production zones could be expanded to other potential regions described in this paper as FPZ (Figure 9), which could strengthen the cultivation of mamey sapote in Mexico.

Conclusions

Three eco-climatic regions were identified for mamey sapote cultivation in Mexico, corresponding to climates

cuenca del río Balsas y el Golfo de México. Con base en el escenario proyectado al 2050, se encontró que los estados potenciales para producir zapote mamey, de acuerdo con su grado de adaptación, serán: Tabasco, Chiapas, Veracruz, Guerrero, Campeche, Jalisco, Oaxaca, Nayarit, Quintana Roo, Colima, Michoacán, Morelos, Puebla, San Luis Potosí e Hidalgo (Figura 9). Es decir, existe la posibilidad de adaptación buena a excelente para el cultivo de zapote mamey en 15 de 32 entidades federativas de México, varias de ellas incluidas en la estadística oficial de 2014 (SIAP, 2015). Las zonas de producción actuales podrían expandirse a otras regiones potenciales descritas en este trabajo como ZFP (Figura 9), lo que podría fortalecer el cultivo de zapote mamey en México.

Conclusiones

Se identificaron tres regiones eco-climáticas para el cultivo de zapote mamey en México, que corresponden a los climas Aw, Am y A(C)(m). Los mejores lugares para el cultivo de esta especie se encuentran en toda la costa de Chiapas, varias regiones de la costa de Guerrero y Jalisco, el occidente de la costa de Oaxaca, Tabasco, el occidente de Campeche y algunas zonas del sur de Veracruz, las cuales se distribuyen en cuatro diferentes regiones biogeográficas.

El escenario de cambio climático muestra una adaptación mejor de esta especie en México.

Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por el financiamiento mediante el proyecto 012/2015 para fortalecer la excelencia académica.

Fin de la versión en español

Aw, Am and A(C)(m). The best places to grow this species are found along the coast of Chiapas, in several regions on the coast of Guerrero and Jalisco, on the west coast of Oaxaca, in Tabasco, western Campeche and some areas in southern Veracruz, which are distributed among four different biogeographic regions.

The climate change scenario shows a better adaptation of this species in Mexico.

Acknowledgments

We thank the University of Guanajuato for funding allocated through project 012/2015 to strengthen academic excellence.

End of English version

References / Referencias

- Alia-Tejacal, I., Soto-Hernández, R. M., Colinas-León, M. T., & Martínez-Damián, M. T. (2005). Análisis preliminar de carotenoides y compuestos fenólicos en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2), 225-231. Retrieved from https://chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido2.php?id_articulo=98&id_revistas=1&id_revista_numero=8
- Alia-Tejacal, I., Villanueva-Arce, R., Pelayo-Zaldívar, C., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., & Bautista-Baños, S. (2007). Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 285-297. doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.12.024
- Balardi, C. F., & Crane, J. H. (2015). *El mamey sapote en Florida*. Miami: The Institute of Food and Agricultural Sciences-Extension, University of Florida.
- Bringhurst, R. S. (1988). Estrategia Genotécnica. In: Moore, J. N., & Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales* (pp. 197-205). México: AGT Editor.
- Callahan, A. M. (2003). Breeding for fruit quality. *Acta Horticulturae*, 622, 295-302. doi: 10.17660/ActaHortic.2003.622.27
- Cázares-Sánchez, E., Núñez-Colín, C. A., Domínguez-Álvarez, J. L., Luna-Morales, C. C., Rojas-Martínez, R. I., & Segura-Ledesma, S. (2010). Potential biogeographic distribution of guava (*Psidium guajava* L.) in Mexico. *Acta Horticulturae*, 849, 55-62. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.849.5
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2015). *Base de datos electrónicos SNIB-CONABIO*. México: Author.
- Dobzhansky, T. (1970). *Genetics of the evolutionary process*. New York: Columbia University.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2007). *Data sheet of Pouteria sapota*. Retrieved from <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=8917>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (Quinta edición). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Govindasamy, B., Duffy, P. B., & Coquard, J. (2003). High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse gases. *Climate Dynamics*, 21(5), 391-404. doi: 10.1007/s00382-003-0340-6
- Guarino, L., Jarvis, A., Hijmans, R. J., & Maxted, N. (2002). Geographic Information Systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. In: Engels, J. M. M., Ramanatha-Rao, V., Brown, A. H. D., & Jackson, M. T. (Eds.), *Managing Plant Genetic Diversity* (pp. 387-404). Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Hansche, P. E. (1988). Respuesta a la selección. In: Moore, J. N., & Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales* (pp. 207-228). México: AGT Editor.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. doi: 10.1002/joc.1276
- Hijmans, R. J., Guarino, L., Cruz, M., & Rojas, E. (2001). Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletters*, 127, 15-19. Retrieved from http://www.diva-gis.org/docs/pgr127_15-19.pdf
- Hijmans, R. J., Guarino, L., & Mathur, P. (2012). *DIVA-GIS: versión 7.5*. Berkeley: Lizard Tech, Inc. and the University of California.
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12(12), 2272-2281. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x
- Jones, P. G., & Gladkov, A. (1999). *FloraMap: a computer tool for predicting the distribution of plants and other organisms in the wild, version 1.0*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Jones, P. G., Guarino, L., & Jarvis, A. (2002). Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 2. FloraMap. *Plant Genetic Resources Newsletters*, 130, 1-6. Retrieved from http://gisweb.ciat.cgiar.org/SIG/download/biological_mapping/jones_et_al.pdf
- Missouri Botanical Garden. (2015). *Tropicos.org*. Retrieved from <http://www.tropicos.org>
- Mondragón-Jacobo, C., Toriz-Ahumada, L. M., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2010). Generation of pink-fleshed guavas to diversify commercial production in central Mexico. *Acta Horticulturae*, 849, 333-340. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.849.39
- Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76(2), 207-252. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42576206>

- Newman, M. F. (2008). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Sapotaceae Juss.* México: Universidad Autónoma de México. Retrieved from http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/F57_Sapo.pdf
- Núñez-Colín, C. A., & Goytia-Jiménez, M. A. (2009). Distribution and agroclimatic characterization of potential cultivation regions of physic nut in Mexico. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 44(9), 1078-1085. doi: 10.1590/S0100-204X2009000900002
- Pennington, T. D., & Sarukhán-Kermez, J. (2005). *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies.* México: Universidad Nacional Autónoma de México y el Fondo de Cultura Económica.
- Popenoe, W. (1934). *Manual of tropical and subtropical fruits excluding the banana, coconut, pineapple, citrus fruits, olive, and fig.* New York: MacMillan Company. Retrieved from <https://archive.org/details/manualoftropical00poperich>
- Quamme, H. A., & Stushnoff, C. (1988). Resistencia al estrés ocasionado por el medio ambiente. In: Moore, J. N., & Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales* (pp. 323-355). México: AGT Editor.
- Rajan, S., Yadava, L. P., Kumar, R. A. M., & Saxena, S. K. (2007). GIS based diversity analysis of guava growing distribution in Uttar Pradesh. *Acta Horticulturae*, 735, 109-113. doi: 10.17660/ActaHortic.2007.735.14
- Scheldeman, X., & van Zonneveld, M. (2011). *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas.* Roma: Bioversity Internacional. Retrieved from http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Manual_de_capacitaci%C3%B3n_en_an%C3%A1lisis_espacial_de_diversidad_y_distribuci%C3%B3n_de_plantas_1504_02.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). *Anuario estadístico de la producción agrícola en 2014.* Retrieved from <http://www.siap.gob.mx>
- Sistrunk, W. A., & Moore, J. N. (1988). Calidad. In: Moore, J. N., & Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales* (pp. 367-395). México: AGT Editor.
- Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Hernández, E., Pelayo-Zaldivar, C., & Franco-Mora, O. (2015). Caracterización poscosecha de selecciones de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) procedentes del Soconusco, Chiapas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 217-224. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358638159010>
- Villegas-Monter, A., & Granados-Friely, J. C. (2012). Conservación y aprovechamiento de los recursos fitogenéticos en las sapotáceas. In: Espinosa-Zaragoza, S., Villegas-Monter, A., Avendaño-Arzate, C. H., López-Báez, O., Moreno-Martínez, J. L., & Salgado-Mora, M. G. (Eds.), *Zapote mamey y otras sapotáceas* (pp. 39-68). Tapachula: Universidad Autónoma de Chiapas-Editorial Ambiente.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236-244. doi: 10.2307/2282967
- Wright, S. (1978). *Evolution and the genetics of populations, vol. 4: Variability within and among natural populations.* Chicago: University of Chicago.
- Zagaja, S. W. (1988). Exploración de recursos genéticos. In: Moore, J. N., & Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales* (pp. 3-12). México: AGT Editor.