Scientific article https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2023.05.003

Distribution, eco-climatic characterization and modelling of suitable soursop cultivation zones in Mexico

Distribución, caracterización eco-climática y modelos de zonas adecuadas de cultivo de guanábana en México

Claudia P. Grijalva-Verdugo[1]; Jesús Rubén Rodríguez-Núñez[1]; Juan Manuel Villarreal-Fuentes[2]; Iran Alia-Tejacal[3]; Eduardo Campos-Rojas[4]; Carlos A. Núñez-Colín[1*]

[1]Universidad de Guanajuato, Programa de Ingeniería en Biotecnología. Mutualismo núm. 303, Col. La Suiza, Celaya, Guanajuato, C. P. 38060, MÉXICO.
[2]Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas. Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, Huehuetán, Chiapas, C. P. 30660, MÉXICO.
[3]Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62210, MÉXICO.
[4]Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, México, C. P. 56230, MÉXICO.
*Corresponding author: carlos.nunez@ugto.mx, tel. +52 46 15 98 59 22 ext. 6360.

Abstract

Soursop (*Annona muricata* L.) is a tropical fruit tree highly valued for its organoleptic characteristics, and is the most important Annonaceae species in Mexico. This study aimed to generate maps of the natural geographic and eco-climatic distribution where soursop grows in Mexico, and to model potential zones according to climate change scenarios estimated for 2050. The natural distribution model showed that this species is found in most tropical and some subtropical areas of Mexico. This fruit tree grows in three different eco-climatic regions (two tropical and one temperate): A_{w1} (found on the edges of the Balsas basin, and in the south, southeast and central north of the Veracruz region, as well as in the center of the Mexican Pacific coast), A_m (north and central south of the Veracruz region, and the Yucatán peninsula) and $C_{(w0)}$ (east of the Trans-Mexican Volcanic Belt). Modelling of suitable climate adaptation zones showed that the Pacific coast of Mexico and Veracruz, as well as some areas of the Balsas basin and the Yucatán peninsula, have potential for soursop cultivation. Likewise, in the scenario of global climate change, beneficial effects on the adaptation of this species are predicted.

Keywords: *Annona muricata* L., Annonaceae, geographic information systems, climate modeling, tropical fruit trees.

Resumen

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un frutal tropical altamente apreciado por sus características organolépticas, y es la especie de Annonaceae más importante en México. El presente estudio tuvo como objetivo generar mapas de la distribución geográfica natural y eco-climática donde se desarrolla la guanábana en México, y modelar las zonas potenciales de acuerdo con los escenarios del 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. Este frutal se desarrolla en tres regiones eco-climáticas diferentes (dos tropicales y una templada): A_{w1} (se encuentra en los bordes de la cuenca del Balsas, y en el sur, sureste y centro norte de la región veracruzana, así como en el centro de la costa pacífica mexicana), A_m (norte y centro sur de la región veracruzana, y la península de Yucatán) y $C_{(w0)}$ (oriente del eje volcánico Transmexicano). El modelado de las zonas adecuadas de adaptación climática mostró que la costa pacífica mexicana y veracruzana, así como algunas zonas de la cuenca del Balsas y la península de Yucatán, tienen potencial para cultivar guanábana. Asimismo, en el escenario del cambio climático global se pronostican efectos benéficos en la adaptación de esta especie.

Palabras clave: *Annona muricata* L., Annonaceae, sistemas de información geográfica, modelación climática, frutales tropicales.

Please cite this article as follows (APA 7): Grijalva-Verdugo, C. P., Rodríguez-Núñez, J. R., Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Campos-Rojas, E., & Núñez-Colín, C. A. (2024). Distribution, eco-climatic characterization and modelling of suitable soursop cultivation zones in Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 30*(2) 13-26. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2023.05.003

Revista Chapingo Serie Horticultura

Received: May 9, 2023 / Accepted: February 27, 2024

https://revistas.chapingo.mx/horticultura/

Introduction

The Annonaceae family is composed of approximately 108 genera and more than 2,400 species, being one of the families that contributes most to the biodiversity of many tropical and subtropical regions around the world (Chatrou et al., 2012). Within this family, the genus Annona stands out, to which important fruit crops belong, with most of the species growing in tropical climates (Segura et al., 2012; Escobedo-López et al., 2019). In Mexico, the most important *Annona* species is soursop (*Annona muricata* L.), with a national production of 30,790.70 t in 2019, from 3,176.44 ha harvested, with a production value of $11,586,710.61 USD (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022). Additionally, in recent years, anticancer effects have been reported with the use of leaf extracts from this species (Grijalva-Verdugo et al., 2022).

According to Villaseñor (2016), in one of the most recent national floristic lists, guanabana is a species not native to Mexico. However, de la Cruz-Chacón et al. (2016), when specifically discussing the Annonaceae family in Mexico, consider soursop to be native to the country, because it has a wide diversity of phenotypes in the producing regions. In addition, it is possible to find it naturally in forests (Escobedo-López et al., 2019). Therefore, it is necessary to know its distribution and the different climatic variants where this species grows, and to identify possible cultivation regions considering climate change scenarios. This is to establish a plan for the protection of its genetic resources, as well as the collection, characterization and evaluation of germplasm for use in breeding programs (Zagaja, 1988).

This is possible with the use of various Geographic Information Systems (GIS) methods (Jones et al., 2002; Guarino et al., 2002; Núñez-Colín & Goytia-Jiménez, 2009; Hijmans et al., 2012; Scheldeman & van Zonneveld, 2011; Núñez-Colín et al., 2017; Rodríguez-Núñez et al., 2021); therefore, the objectives of this research were to model the possible natural distribution of soursop in Mexico, carry out an eco-climatic characterization and model the possible cultivation regions considering climate change scenarios using GIS.

Materials and methods

The information sources for the desk-based analyses were made up of data from 33 projects registered in the SNIB-CONABIO database (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, 2015; Appendix Table), the Tropicos.org database (Missouri Botanical Garden, 2021; 63 data) and the optimal climate requirements of soursop registered in the FAO Eco-Crop database (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007; Table 1).

Introducción

La familia Annonaceae está compuesta por aproximadamente 108 géneros y por más de 2,400 especies, siendo una de las familias que más contribuye en la biodiversidad de muchas regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Chatrou et al., 2012). Dentro de esta familia destaca el género *Annona*, al cual pertenecen importantes cultivos frutícolas, y la mayoría de las especies se desarrollan en climas tropicales (Segura et al., 2012; Escobedo-López et al., 2019). En México, la especie de *Annona* más importante es la guanábana (*Annona muricata* L.), con una producción nacional de 30,790.70 t en 2019, provenientes de 3,176.44 ha cosechadas, con un valor de producción de $11,586,710.61 USD (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022). Adicionalmente, en los últimos años se han reportado efectos anticancerígenos con el uso de extractos de hojas de esta especie (Grijalva-Verdugo et al., 2022).

De acuerdo con Villaseñor (2016), en uno de los más recientes listados florísticos nacionales, la guanábana es una especie no nativa de México. No obstante, de la Cruz-Chacón et al. (2016), al hablar específicamente de la familia Annonaceae en México, consideran a la guanábana como nativa del país, debido a que tiene una amplia diversidad de fenotipos en las regiones productoras. Además, es posible encontrarla de manera natural en bosques (Escobedo-López et al., 2019). Por ello, es necesario conocer su distribución y las diferentes variantes climáticas donde se desarrolla esta especie, e identificar las posibles regiones de cultivo considerando escenarios de cambio climático. Esto para establecer un plan sobre la protección de sus recursos genéticos, así como la colecta, caracterización y evaluación de germoplasma para su uso en programas de mejoramiento genético (Zagaja, 1988).

Lo anterior es posible con el uso de diversos métodos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Jones et al., 2002; Guarino et al., 2002; Núñez-Colín & Goytia-Jiménez, 2009; Hijmans et al., 2012; Scheldeman & van Zonneveld, 2011; Núñez-Colín et al., 2017; Rodríguez-Núñez et al., 2021); por lo cual, los objetivos de esta investigación fueron modelar la posible distribución natural de la guanábana en México, realizar una caracterización eco-climática y modelar las posibles regiones de cultivo considerando escenarios de cambio climático mediante SIG.

Materiales y métodos

Las fuentes de información para los análisis de gabinete estuvieron conformadas por datos de 33 proyectos registrados en la base de datos de la SNIB-CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, 2015; Cuadro Anexo), la base de datos

Table 1. Bioclimatic parameters assumed by the Eco-Crop model for soursop (*Annona muricata* L.).
Cuadro 1. Parámetros bioclimáticos asumidos por el modelo Eco-Crop para guanábana (*Annona muricata* L.).

Parameter / Parámetro	Value / Valor
Minimum growing season / Temporada de crecimiento mínimo	180 days / días
Maximum growing season / Temporada de crecimiento máximo	365 days / días
Killing temperature / Temperatura de muerte	0 °C
Minimum temperature (no damage) / Temperatura mínima (sin daños)	13 °C
Optimal minimum temperature / Temperatura mínima óptima	20 °C
Optimal maximum temperature / Temperatura máxima óptima	30 °C
Maximum temperature (no damage) / Temperatura máxima (sin daños)	36 °C
Minimum precipitation / Precipitación mínima	800 mm
Optimal minimum precipitation / Precipitación mínima óptima	1,200 mm
Optimal maximum precipitation / Precipitación máxima óptima	2,200 mm
Maximum precipitation / Precipitación máxima	4,200 mm

Source: Bioclimatic requirements for the Eco-Crop model according to the FAO crop database (2007).

Fuente: Requerimientos bioclimáticos para el modelo Eco-Crop de acuerdo con la base de datos de cultivos de la FAO (2007).

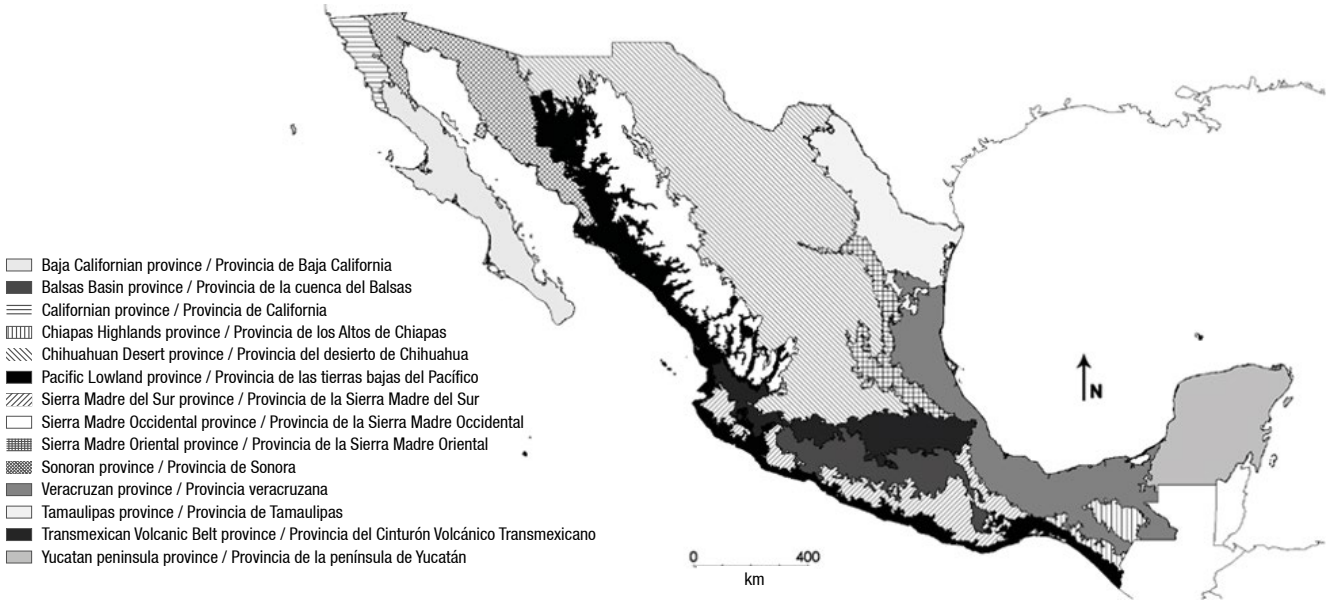

Figure 1. Biogeographic regions of Mexico according to Morrone et al. (2017).
Figura 1. Regiones biogeográficas de México de acuerdo con Morrone et al. (2017).

All analyses used maps with biogeographic regions of Mexico (Figure 1) described by Morrone et al. (2017). This was to be able to analyze the results based on similar bioclimatic regions and not on political entities.

Natural distribution

To model the natural distribution of soursop, the FloraMap 1.03 program was used, which specializes in modelling probabilistic distribution maps based on accession data (Jones & Gladkov, 1999). The program

Tropicos.org (Missouri Botanical Garden, 2021; 63 datos) y los requerimientos climáticos óptimos de guanábana registrados en la base de datos Eco-Crop de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007; Cuadro 1).

En todos los análisis se emplearon mapas con regiones biogeográficas de México (Figura 1) descritas por Morrone et al. (2017). Esto para poder analizar los resultados a partir de regiones bioclimáticas similares y no sobre entidades políticas.

uses eigenvectors of climatic variables (temperature, isothermality and precipitation) and the transformation of precipitation data. To match the values with the temperature scale, the Rain power A transform (Jones & Gladkov, 1999) was used, with a value of 0.1. In addition, six principal components explaining 94.92 % of the total variance were used to generate the maps (Jones & Gladkov, 1999; Jones et al., 2002). Probability maps were calculated without weighting, i.e. all coefficients of the climatic variables evaluated were equal to 1. All FloraMap maps were obtained with a minimum probability of 75 % of locating specimens. To obtain a probabilistic natural distribution map, all the data mentioned above were used.

Eco-climatic characterization

With the use of Floramap 1.03, and considering the same parameters used for the natural distribution, the eco-climatic characterization was carried out through cluster analysis of the accessions using Ward's method (Ward, 1963) and Euclidean distances to identify accessions that grow in similar climates, as a characterization of the different eco-climatic regions where soursop grows. With this, a probabilistic map of each group was generated to determine the different climatic zones where the species is distributed. The climate of each group was characterized according to the Köppen classification modified by García (2004).

Modelling potential and under climate change scenarios

This modelling was carried out with DIVA-GIS package version 7.5 (Hijmans et al., 2012). Distribution models of suitable climate zones for soursop were calculated using the Eco-Crop model, which considers regions that meet the bioclimatic parameters required for the adaptation of each species with a resolution of 2.5 min. The program establishes as excellent regions those that fit practically all the optimal crop growing conditions, and the region classification decreases according to the absence of bioclimatic parameters, up to the area where the species could no longer grow (Hijmans & Graham, 2006; FAO, 2007) (Table 1). In addition, two scenarios were considered. In the first, called current potential zones, actual climate data accumulated over 50 years (1950-2000) were used, taken from the Worldclim (WC) climate database (Hijmans et al., 2005). In the second, named potential future zones, the data were modelled considering a doubling of the atmospheric CO_2 concentration to simulate the global climate change scenario, which is used in the *CCM3* model to calculate the climate database (Govindasamy et al., 2003).

Both models were compared to locate the most suitable areas for establishing *in vivo* germplasm

Distribución natural

Para modelar la distribución natural de la guanábana se utilizó el programa FloraMap 1.03, el cual está especializado en modelar mapas probabilísticos de distribución basados en datos de accesiones (Jones & Gladkov, 1999). El programa emplea eigenvectores de variables climáticas (temperatura, isotermalidad y precipitación) y la transformación de los datos de precipitación. Para equiparar los valores con la escala de temperatura, se utilizó la transformación del coeficiente del Poder A de la lluvia (Rain power A transform) (Jones & Gladkov, 1999), con un valor de 0.1. Además, se utilizaron seis componentes principales que explicaron 94.92 % de la varianza total para la generación de los mapas (Jones & Gladkov, 1999; Jones et al., 2002). Los mapas de probabilidad se calcularon sin ponderación; es decir, todos los coeficientes de las variables climáticas evaluadas fueron iguales a 1. Todos los mapas de FloraMap se obtuvieron con una probabilidad mínima de 75 % de localizar los especímenes. Para obtener un mapa probabilístico de distribución natural, se usaron todos los datos mencionados anteriormente.

Caracterización eco-climática

Con el uso de Floramap 1.03, y considerando los mismos parámetros que se emplearon para la distribución natural, se realizó la caracterización eco-climática mediante el análisis clúster de las accesiones usando el método de Ward (Ward, 1963) y las distancias euclidianas para identificar accesiones que se desarrollan en climas similares, como una caracterización de las diferentes regiones eco-climáticas donde se desarrolla la guanábana. Con ello, se generó un mapa probabilístico de cada grupo para conocer las distintas zonas climáticas donde se distribuye la especie. El clima de cada grupo se caracterizó de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (2004).

Modelación potencial y bajo escenarios de cambio climático

Esta modelación se realizó con el paquete DIVA-GIS versión 7.5 (Hijmans et al., 2012). Se calcularon modelos de distribución de zonas climáticas adecuadas para la guanábana utilizando el modelo Eco-Crop, que considera regiones que cumplen los parámetros bioclimáticos requeridos para la adaptación de cada especie con una resolución de 2.5 min. El programa establece como regiones excelentes aquellas que se ajustan a prácticamente todas las condiciones óptimas del cultivo, y la clasificación de la región va decreciendo de acuerdo con la ausencia de parámetros bioclimáticos, hasta la zona donde ya no se podría desarrollar la especie (Hijmans & Graham, 2006; FAO, 2007) (Cuadro 1). Además, se consideraron

banks, mother orchards and evaluation plots for soursop (Hijmans et al., 2001; Hijmans & Graham, 2006), this accordance with the optimal climatic characteristics for its development (FAO, 2007). Only climatic data related to temperature and precipitation were considered in the analyses, and no other factors such as wind or soil due to the complexity of the models; moreover, the variables considered are more significant and allow for better prediction (Jones et al, 2002; Hijmans et al., 2012).

Results

Natural distribution

The general natural distribution of soursop in Mexico showed that the species is distributed with a high percentage of probability in most of the tropical regions of Veracruz and the Yucatán peninsula. With lower probability/Less likely, the species is distributed in the northern, central and some southern points of the Mexican Pacific coast, the Balsas basin region, the southern areas of the Chihuahuan desert and the Sierra Madre Occidental, and the Sierra Madre del Sur and Chiapas highlands region (Figure 2). Most of the soursop's natural range is below the Tropic of Cancer (Figure 2).

Eco-climatic characterization

According to the dendrogram of the cluster analysis (Figure 3), it was found that soursop grows in three different climatic groups: two with a completely tropical climate and one with a temperate climate (Garcia, 2004), designated as A_{w1} (intermediate sub-

dos escenarios. En el primero, denominado zonas potenciales actuales, se utilizaron los datos climáticos reales acumulados de 50 años (1950-2000), tomados de la base de datos climáticos Worldclim (WC) (Hijmans et al., 2005). En el segundo, nombrado zonas potenciales futuras, se modelaron los datos considerando el doble de la concentración de CO_2 atmosférico para simular el escenario del cambio climático mundial, el cual se emplea en el modelo CCM3 para calcular la base de datos climática (Govindasamy et al., 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 guanábana (Hijmans et al., 2001; Hijmans & Graham, 2006); esto de acuerdo con las características climáticas óptimas para su desarrollo (FAO, 2007). En los análisis sólo se consideraron datos climáticos relacionados con la temperatura y la precipitación, y no otros factores como el viento o el suelo debido a la complejidad de los modelos; además, las variables consideradas son más significativas y permiten una mejor predicción (Jones et al, 2002; Hijmans et al., 2012).

Resultados

Distribución natural

La distribución general de guanábana de manera natural en México mostró que la especie se distribuye con alto porcentaje de probabilidad en la mayoría de las regiones tropicales de Veracruz y la península de Yucatán. Con menor probabilidad, la especie se distribuye en el norte, centro y algunos puntos del sur de la costa pacífica mexicana, la región de la cuenca del

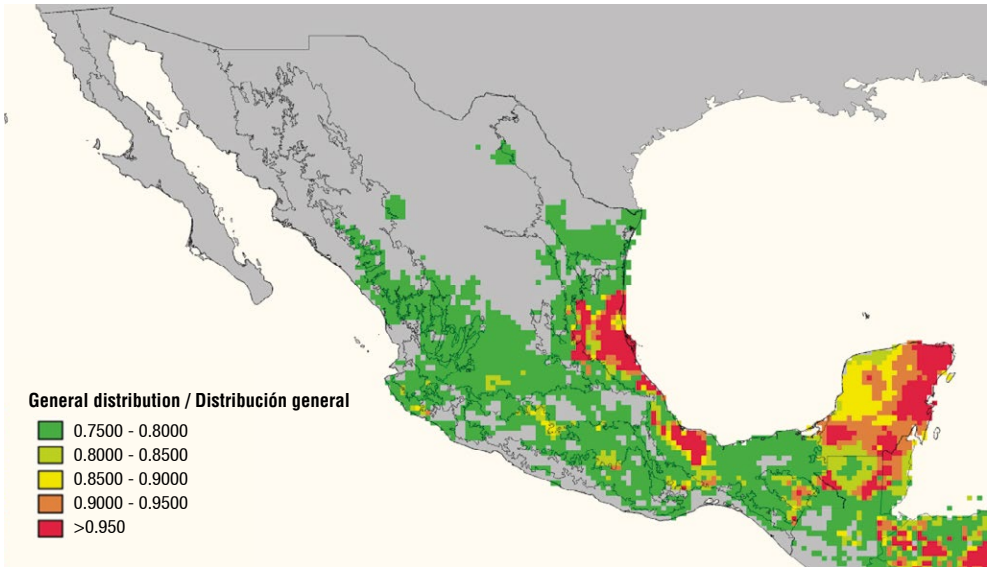

Figure 2. Modelling of the natural distribution of soursop (*Annona muricata* L.) in Mexico.
Figura 2. Modelación de la distribución natural de la guanábana (*Annona muricata* L.) en México.

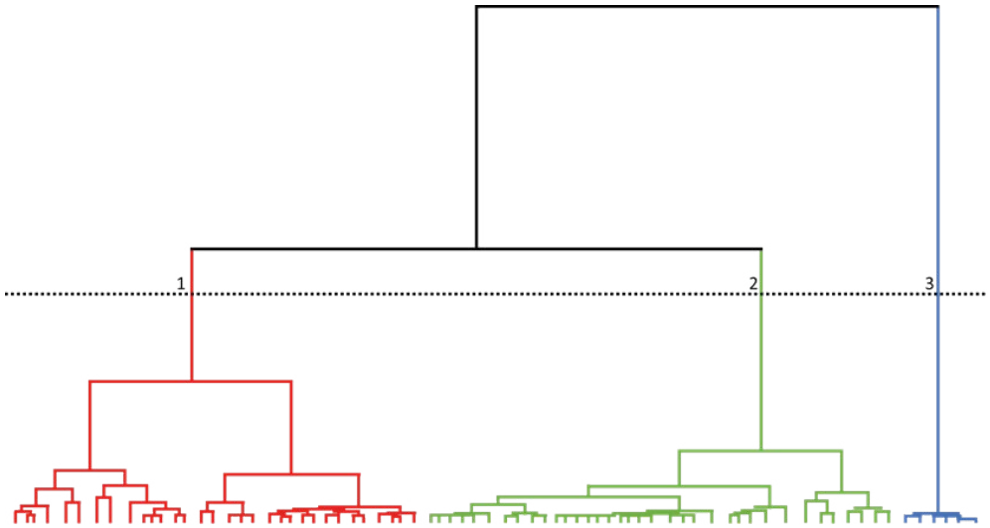

Figure 3. Dendrogram of soursop (*Annona muricata* L.) accessions based on their climatic characteristics using Ward's method.

Figura 3. Dendrograma de accesiones de guanábana (*Annona muricata* L.) a partir de sus características climáticas usando el método de Ward.

humid tropical with summer rains), A_m (humid tropical with summer rains) and $C_{(w0)}$ (sub-humid temperate with summer rains, being the driest for this subtype), for groups 1, 2 and 3, respectively.

When comparing the climograms (Figure 4), it is evident that group 3 showed lower rainfall and temperature, typical of humid and sub-humid tropical climates. This group showed winter temperatures below 13 °C, which is the minimum with no damage, but did not reach the killing temperature of the species (Table 1). Groups 1 and 2 contrasted only in the distribution of precipitation, but not in its annual amount, as group 1 had drier winters, although both are rainy in summer.

Group 1, which corresponds to climate A_{w1}, is naturally distributed with greater probability along the edges of the Balsas basin, and in the south, southeast and central north Veracruz region, as well as in the center of the Mexican Pacific coast (Figure 5a), although it also has a good probability in other areas of the Mexican Pacific coast, the Yucatán peninsula and southern Tamaulipas.

Group 2, which corresponds to climate Am, is distributed only in the north and central south of the Veracruz region and the Yucatán peninsula, within the latter with greater probability in the Caribbean zone (Figure 5b). Group 3, which corresponds to climate C(w0), has an extremely restricted distribution in the east of the Trans-Mexican Volcanic Belt, since it has an atypical climate for soursop (Figure 5c).

Balsas, las zonas sureñas del desierto chihuahuense y la Sierra Madre Occidental, y la región de la Sierra Madre del Sur y los altos de Chiapas (Figura 2). La mayoría de las zonas de distribución natural de la guanábana es por debajo del trópico de Cáncer (Figura 2).

Caracterización eco-climática

De acuerdo con el dendrograma del análisis de agrupamiento (Figura 3), se encontró que la guanábana se desarrolla en tres diferentes grupos climáticos: dos con clima completamente tropical y uno templado (García, 2004), designados como A_{w1} (tropical subhúmedo intermedio con lluvias en verano), A_m (tropical húmedo con lluvias de verano) y $C_{(w0)}$ (templado subhúmedo con lluvias de verano, siendo el más seco para este subtipo), para los grupos 1, 2 y 3, respectivamente.

Al comparar los climogramas (Figura 4), es evidente que el grupo 3 presentó una precipitación y temperatura menor, típico de climas tropicales húmedos y subhúmedos. Este grupo mostró temperaturas invernales menores a 13 °C, que es la mínima sin daños, pero no llegó a la temperatura de muerte de la especie (Cuadro 1). Los grupos 1 y 2 sólo contrastaron en la distribución de la precipitación, pero no en su cantidad anual, al presentar inviernos más secos el grupo 1, aunque ambos son de lluvias en verano.

El grupo 1, que corresponde al clima A_{w1}, se distribuye de manera natural con mayor probabilidad en los bordes de la cuenca del Balsas, y en el sur, sureste y

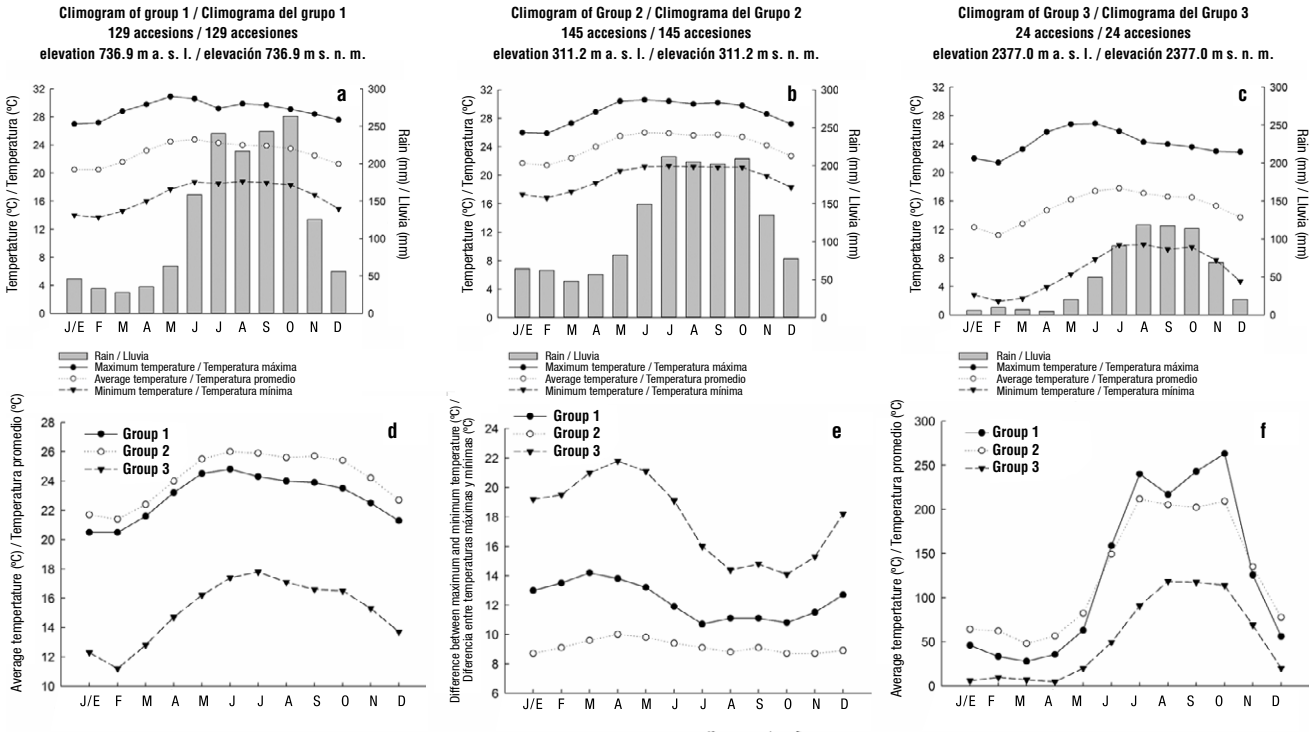

Figure 4. Climograms of the three eco-climatic groups of soursop in Mexico: a) group 1 (climate Aw_1), b) group 2 (climate A_m), c) group 3 (climate $C_{(w0)}$), d) comparison of the average temperature of the three groups, e) comparison of the temperature differential of the three groups and f) comparison of the monthly precipitation of the three groups.

Figura 4. Climogramas de los tres grupos eco-climáticos de guanábana en México: a) grupo 1 (clima Aw_1), b) grupo 2 (clima A_m), c) grupo 3 (clima $C_{(w0)}$), d) comparación de la temperatura media de los tres grupos, e) comparación del diferencial de temperaturas de los tres grupos y f) comparación de la precipitación mensual de los tres grupos.

Modelling potential and under climate change scenarios

The Eco-Crop model, using the WorldClim climate database, showed that the current areas with excellent climates for soursop cultivation are almost the entire Pacific coast of Mexico and Veracruz, and some areas of the Balsas basin and the Yucatán peninsula. On the other hand, other areas of the Balsas basin and the Yucatán peninsula, as well as the south-southwest of the Chihuahuan desert, west of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Chiapas highlands have more restricted climates (Figure 6a).

With the same model, but with the CCM3 database - as a global climate change model - it was observed that the Mexican Pacific coast and the Veracruz region maintain, or even expand, the areas with excellent climates for soursop cultivation. Likewise, there is an expansion of areas in the Balsas basin, the Yucatán peninsula, the Chiapas highlands and the southern Chihuahuan desert, the last with some limitations (Figure 6b).

centro norte de la región veracruzana, así como en el centro de la costa pacífica mexicana (Figura 5a). Aunque también presenta buena probabilidad en otras zonas de la costa pacífica mexicana, la península de Yucatán y el sur de Tamaulipas.

El grupo 2, que corresponde al clima A_m, se distribuye únicamente en el norte y centro sur de la región veracruzana y la península de Yucatán, dentro de esta última con mayor probabilidad en la zona caribeña (Figura 5b). Por su parte, el grupo 3, que corresponde al clima $C_{(w0)}$, tiene una distribución sumamente restringida en el oriente del eje volcánico Transmexicano, ya que presenta un clima atípico para la guanábana (Figura 5c).

Modelación potencial y bajo escenarios de cambio climático

El modelo Eco-Crop, con la base de datos climáticos WorldClim, mostró que las zonas actuales con climas excelentes para el cultivo de guanábana son casi todo el territorio de la costa pacífica mexicana y veracruzana,

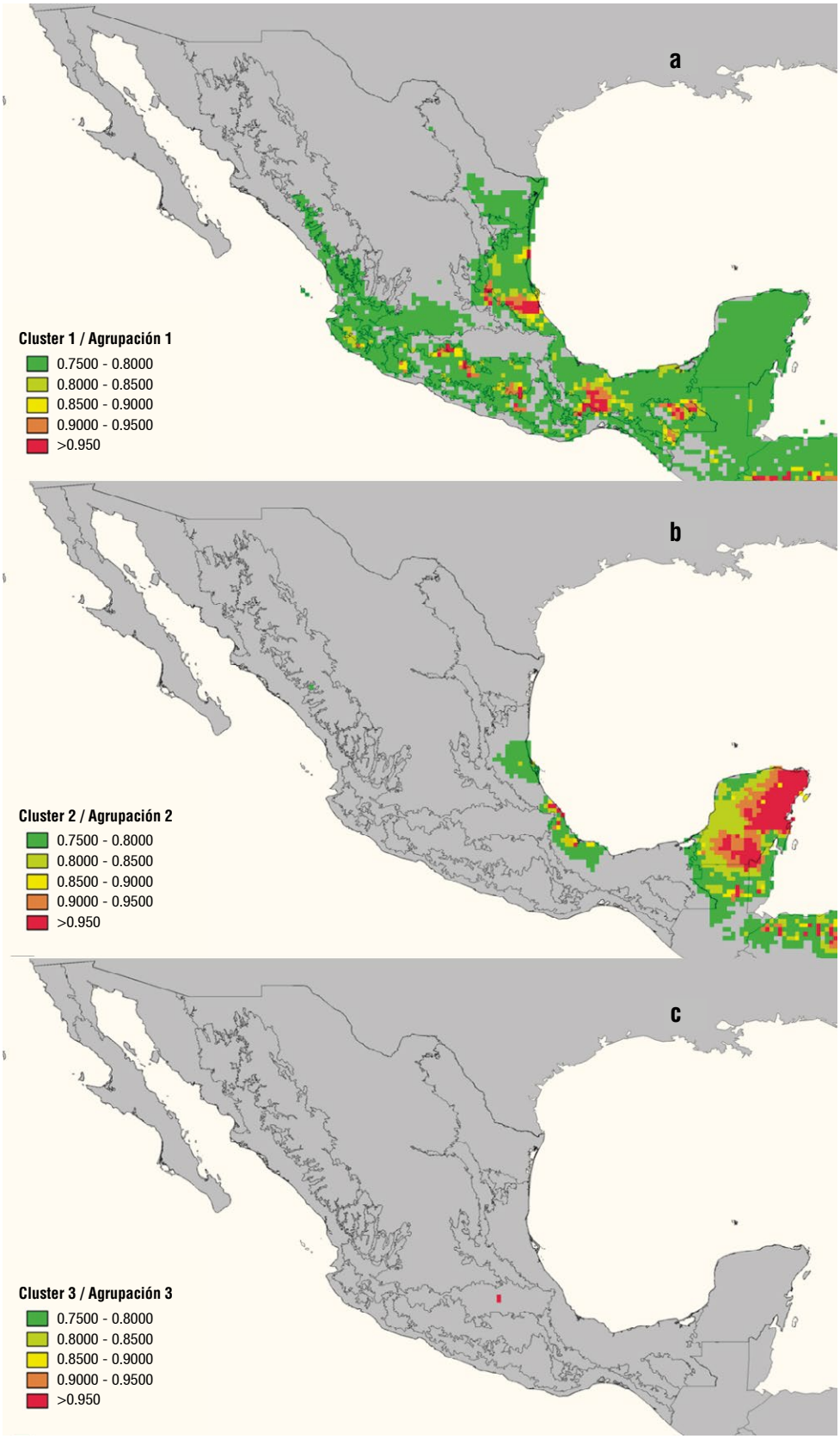

Figure 5. Modelling of the distribution of the three eco-climatic groups of soursop (*Annona muricata* L.) in Mexico: a) group 1, b) group 2 and c) group 3.

Figura 5. Modelación de la distribución de los tres grupos eco-climáticos de guanábana (*Annona muricata* L.) en México: a) grupo 1, b) grupo 2 y c) grupo 3.

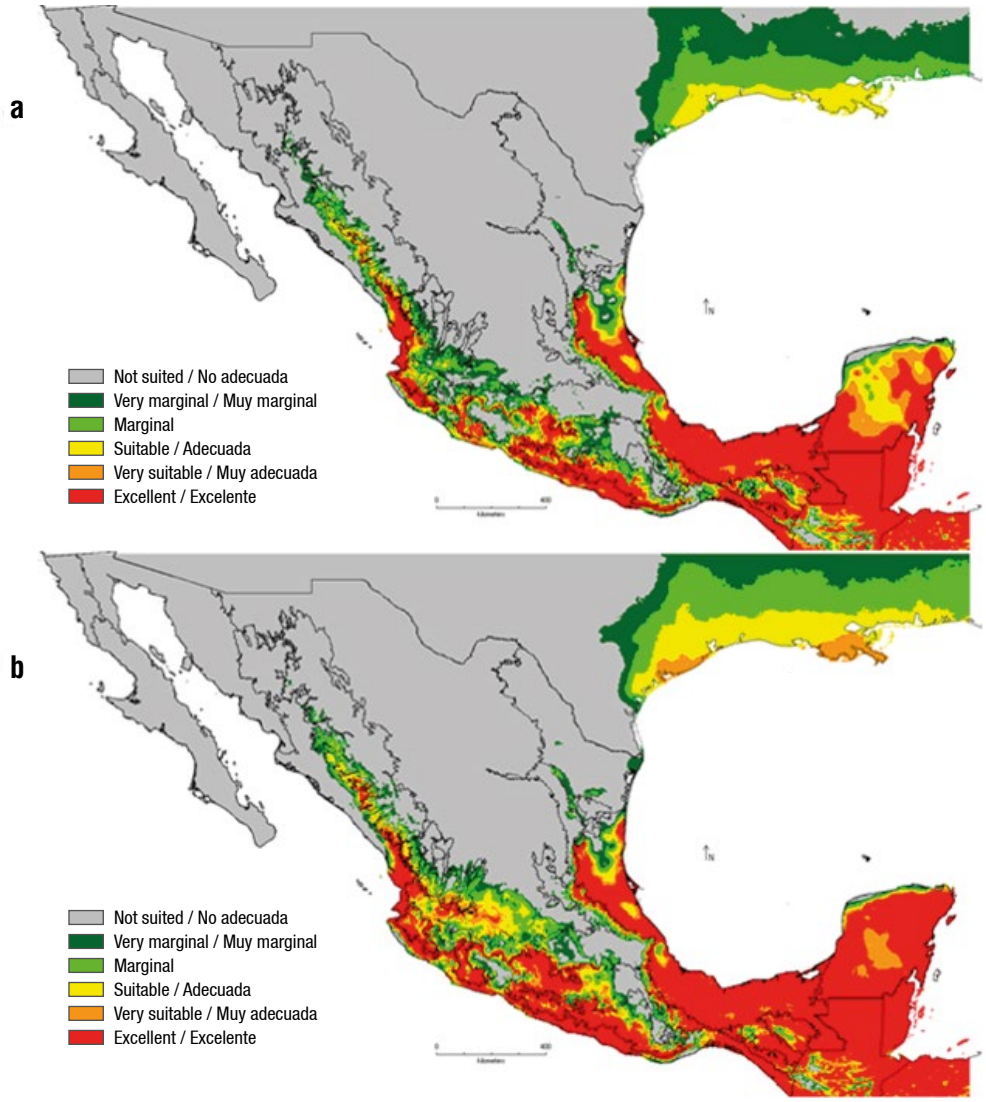

Figure 6. Modelling of suitable zones for soursop (*Annona muricata* L.) cultivation in Mexico using the Eco-Crop model: a) WorldClim climate database and b) CCM3 model climate database to estimate the climate change scenario.

Figura 6. Modelación de las zonas adecuadas para el cultivo de guanábana (*Annona muricata* L.) en México usando el modelo Eco-Crop: a) base de datos climáticos WorldClim y b) base de datos climáticos del modelo CCM3 para estimar el escenario de cambio climático.

Discussion

The general natural distribution coincided with the conditions reported for soursop, which grows mainly in tropical climates —type A according to the Köppen classification modified by García (2004)— (Chatrou et al., 2012; Segura et al., 2012; Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014; Escobedo-López et al., 2019). However, considering the data presented in the present work, the distribution could be extended to some subtropical and even temperate areas. De la Cruz-Chacón et al. (2016) note that there is a high variability of soursop-producing areas in Mexico, which are located in regions with a high probability of finding this species naturally. Other authors point out that most orchards use seeds for soursop propagation, which could explain

y algunas zonas de la cuenca del Balsas y la península de Yucatán. Por su parte, otras zonas de la cuenca del Balsas y la península de Yucatán, así como el sur suroeste del desierto chihuahuense, oeste del eje volcánico Transmexicano y Altos de Chiapas presentan climas con más restricciones (Figura 6a).

Con el mismo modelo, pero con la base de datos CCM3 —como modelo de cambio climático global— se observó que la costa pacífica mexicana y la región veracruzana mantienen, o incluso expanden, las zonas con climas excelentes para el cultivo de guanábana. Asimismo, hay una expansión de zonas en la cuenca del Balsas, la península de Yucatán, los Altos de Chiapas y el sur del desierto chihuahuense, en esta última con algunas limitaciones (Figura 6b).

the high variability of germplasm (Evangelista-Lozano et al., 2003; Terán-Erazo et al., 2019; Villarreal-Fuentes et al., 2020).

On the other hand, the three eco-climatic groups, being contrasting in some of their environmental conditions, indicate that soursop may have developed variants, resulting in different gene pools (Dobzhansky, 1970). This strengthens the hypothesis put forward by de la Cruz-Chacón et al. (2016), who argue that soursop can be considered native to Mexico, not as a center of origin, but as a center of diversification according to Vavilov's (1951) treatises.

Eco-climatic group 3, although it has a very restricted distribution, presents climatic patterns similar to cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). Rodríguez-Núñez et al. (2021) report three eco-climatic groups for this fruit tree: $C_{(m)(w)}$, $(A)C_{(e')}$ and $(A)C_{(e)}$; i.e. one temperate and two subtropical, more similar to the temperate group. Custard apple is one of the Annonaceae best adapted to temperate climates (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014), contrary to what was reported for soursop, which was considered almost exclusive to tropical climates (Chatrou et al., 2012; Segura et al., 2012; Escobedo-López et al., 2019). Group 3 accessions could be a good source of genes for resistance to chilling injury in the postharvest of soursop, as has been reported for other fruit trees such as guava (*Psidium guajava* L.), where tropical and temperate gene pools have also been evaluated (Cázares-Sánchez et al., 2010; Mondragón-Jacobo et al., 2010). Additionally, it would be interesting to evaluate the profile of nutraceutical substances reported for soursop (Villarreal-Fuentes et al., 2020; Grijalva-Verdugo et al., 2022), since it has only been studied in fruits from tropical areas (Grijalva-Verdugo et al., 2022).

Modelling of suitable regions for soursop cultivation using Eco-Crop highlights as areas with excellent conditions the current producing areas of the country and the places where *ex situ* and *in vivo* germplasm banks have been established (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014; Villarreal-Fuentes et al., 2020; Terán-Erazo et al., 2022). Additionally, global climate change – according to the CCM3 database – will not affect the adaptation of the crop in current areas, which could even be expanded to regions where there are currently climatic constraints.

Conclusions

Three climatic groups were found for soursop cultivation in Mexico, where one of them –which has a restricted distribution - is temperate and had not been previously reported.

Discusión

La distribución general de manera natural mostró coincidencia con las condiciones reportadas para la guanábana, la cual se desarrolla principalmente en climas tropicales –del tipo A de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (2004)– (Chatrou et al., 2012; Segura et al., 2012; Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014; Escobedo-López et al., 2019). Sin embargo, considerando los datos expuestos en el presente trabajo, la distribución se podría extender a algunas zonas subtropicales, e incluso templadas. De la Cruz-Chacón et al. (2016) mencionan que existe una alta variabilidad de zonas productoras de guanábana en México, las cuales están ubicadas en regiones con alta probabilidad de encontrar esta especie de manera natural. Otros autores señalan que la mayoría de las huertas emplean semillas para la propagación de guanábana, lo cual podría explicar la alta variabilidad de germoplasma (Evangelista-Lozano et al., 2003; Terán-Erazo et al., 2019; Villarreal-Fuentes et al., 2020).

Por otro lado, los tres grupos eco-climáticos, al ser contrastantes en algunas de sus condiciones ambientales, indican que la guanábana pudo haber desarrollado variantes, dando como resultado diferentes acervos genéticos (Dobzhansky, 1970). Esto fortalece la hipótesis expuesta por de la Cruz-Chacón et al. (2016), quienes afirman que la guanábana se puede considerar nativa de México, no como centro de origen, sino como un centro de diversificación de acuerdo con los tratados de Vavilov (1951).

El grupo eco-climático 3, aunque tiene una distribución muy restringida, presenta patrones climáticos similares a la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). Rodríguez-Núñez et al. (2021) reportan tres grupos eco-climáticos para dicho frutal: $C_{(m)(w)}$, $(A)C_{(e')}$ y $(A)C_{(e)}$; es decir, uno templado y dos subtropicales, más parecidos al grupo de los templados. La chirimoya es una de las Annonaceae que mejor se adapta a climas templados (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014), contrario a lo reportado para guanábana, la cual se consideraba casi exclusiva de climas tropicales (Chatrou et al., 2012; Segura et al., 2012; Escobedo-López et al., 2019). Las accesiones del grupo 3 podrían ser una buena fuente de genes de resistencia a daños por frío en la postcosecha de la guanábana, como se ha reportado para otros frutales como la guayaba (*Psidium guajava* L.), donde también se han evaluado acervos genéticos tropicales y templados (Cázares-Sánchez et al., 2010; Mondragón-Jacobo et al., 2010). Adicionalmente, sería interesante evaluar el perfil de sustancias nutraceúticas que se ha reportado para guanábana (Villarreal-Fuentes et al., 2020; Grijalva-Verdugo et al., 2022), ya que sólo se ha estudiado en frutos provenientes de zonas tropicales (Grijalva-Verdugo et al., 2022).

The climatic variability of soursop adaptation leads to the inference that to conserve germplasm, genotypes from all three climatic groups need to be represented.

Modelling of suitable growing areas showed that climate change will not affect the current soursop growing regions in Mexico, and even beneficial effects on the adaptation of this species are predicted.

It is recommended to grow soursop in the regions of the Balsas basin and the Yucatán peninsula due to its high adaptation potential, in order to increase the production of this crop in Mexico.

Acknowledgments

The authors would like to thank the *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* (CONABIO) for providing data from the *Red Mesoamericana de Biodiversidad* (REMIB). This research was funded by the SAGARPA-CONACYT fund through project 266891 and by the *Universidad de Guanajuato* through project CIIC 197/2023.

End of English version

References / Referencias

Andrés-Agustín, J., & Segura-Ledesma, S. (2014). Conservación y uso de los recursos genéticos de Annonaceae en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 118-124. https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500014

Cázares-Sanchez, 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. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.849.5

Chatrou, L. W., Erkens, R. H. J., Richardson, J. E., Saunders, R. M. K., & Fay, M. F. (2012). The natural history of Annonaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society, 169*(1), 1-4. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01242.x

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2015). *Base de datos electrónicos SNIB-CONABIO*.

De la Cruz-Chacón, I., Castro-Moreno, M., Luna-Cázares, L. M., & González-Esquinca, A. R. (2016). La familia Annonaceae Juss. en México**.** *Lacandonia*, 10(2), 71-82.

Dobzhansky, T. (1970). *Genetics of the evolutionary process*. Columbia University.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2007). *Data sheet of Annona muricata*. https://gaez.fao.org/pages/ecocrop-find-plant

Escobedo-López, D., Campos-Rojas, E., Rodríguez-Núñez, J. R., Alia-Tejacal, I., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Priority areas to collect germplasm of Annona (Annonaceae) in Mexico based on diversity and species richness indices. *Genetic Resources and Crop Evolution, 66*, 401-414. https://doi.org/10.1007/s10722-018-0718-2

La modelación de regiones adecuadas para el cultivo de guanábana mediante Eco-Crop resalta como zonas con excelentes condiciones a las actuales zonas productoras del país y a los lugares donde se han establecido los bancos de germoplasma *ex situ* e *in vivo* (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014; Villarreal-Fuentes et al., 2020; Terán-Erazo et al., 2022). Adicionalmente, el cambio climático global —de acuerdo con la base de datos CCM3— no afectará la adaptación del cultivo en las zonas actuales, las cuales incluso se podrían expandir a regiones donde actualmente se tienen limitantes climáticas.

Conclusiones

Se encontraron tres grupos climáticos para el cultivo de guanábana en México, donde uno de ellos —que presentan una distribución restringida— es templado y no había sido reportado.

La variabilidad climática de adaptación de la guanábana hace inferir que para conservar germoplasma se necesita representar a genotipos de los tres grupos climáticos.

La modelación de zonas adecuadas de cultivo mostró que el cambio climático no afectará a las regiones actuales de cultivo de guanábana en México, incluso se pronostican efectos benéficos en la adaptación de esta especie.

Se recomienda cultivar guanábana en las regiones de la cuenca del Balsas y la península de Yucatán debido a su alto potencial de adaptación, esto para incrementar la producción de dicho cultivo México.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por facilitar los datos de la Red Mesoamericana de Biodiversidad (REMIB). Esta investigación fue financiada por el fondo SAGARPA-CONACYT mediante el proyecto 266891 y por la Universidad de Guanajuato a través del proyecto CIIC 197/2023.

Fin de la versión en español

Evangelista-Lozano, S., Cruz-Castillo, J. G., Pérez-González, S., Mercado-Silva, E., & Dávila-Ortiz, G. (2003). Producción y calidad frutícola de guanábanos (*Annona muricata* L.) provenientes de semilla de Jiutepec, Morelos, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 9*(1), 69-79. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2001.05.027

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 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 cases. *Climate Dynamics, 21*(5), 391-404. https://doi.org/10.1007/s00382-003-0340-6

Grijalva-Verdugo, C. P., Rodríguez-Núñez, J. R., Núñez-Colín, C. A., Aguirre-Mancilla, C. L., Montoya-Anaya, D., Villarreal-Fuentes, J. M., Balois-Morales, R., & Rodríguez-Carrillo. M. G. (2022). Total polyphenolics, antioxidants, and cytotoxic activity of infusions from soursop (*Annona muricata*) leaves from two Mexican regions. *Agronomía Colombiana, 40*(2), 300-310. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.102621

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). International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

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. https://doi.org/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. http://www.diva-gis.org/docs/pgr127_15-19.pdf

Hijmans, R. J., Guarino, L., & Mathur, P. (2012). *DIVAGIS: versión 7.5.* 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. https://doi.org/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*. 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. https://hdl.handle.net/10568/65806

Missouri Botanical Garden. (2021, December 04). *GBIF data portal*. http://data.gbif.org/datasets/resource/12084

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. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.849.39

Morrone, J. J., Escalante, T., & Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa, 4277*(2), 277-279. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8

Núñez-Colín, C. A., Alia-Tejacal, I., Villarreal-Fuentes, J. M., Escobedo-López, D., Rodríguez-Núñez, J. R., & Peña-Caballero, V. (2017). Distribution, eco-climatic characterization and potential cultivation zones of mamey sapote in Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 23*(2), 83-96. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.05.014

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. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000900002

Rodríguez-Núñez, J. R., Campos-Rojas, E., Andrés-Agustín, J., Alia-Tejacal, I., Ortega-Acosta, S. A., Peña-Caballero, V., Madera-Santana, T. J., & Núñez-Colín, C. A. (2021) Distribution, eco-climatic characterisation, and potential growing regions of *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae) in Mexico. *Ethnobiology and Conservation, 10*, 05. https://doi.org/10.15451/ec2020-10-10.05-1-17

Scheldeman, X., & van Zonneveld, M. (2011). *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas*. Bioversity Internacional. https://hdl.handle.net/10568/104630

Segura, S., Andrés, J., Fresnedo, J., Zavala, F., Marroquín, L., Vidal, E., Nicolás, M., Vidal, L., Bolívar, N., Castañeda, A., González, A., Barrios, S., & Carmona, A. (2012). Where do we go with Annona in Mexico? *Acta Horticulturae, 948*, 79-90. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.948.8

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022, August 10). *Cierre de la producción agrícola 2019*. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Terán-Erazo, B., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización física, química y morfológica de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Agrociencia, 53*(7), 1013-1027. https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1860

Terán-Erazo, B., Alia-Tejacal, I., Marisal-García, K. P., Núñez-Colín, C. A., Guillén-Sánchez, D., Juárez-Pérez, P., López-Martínez, V., Avonce-Vergara, N., Villarreal-Fuentes, J. M., Sainz-Aispuro, M. J., & Campos-Rojas, E. (2022). Quality and phytochemical content in soursop fruits (*Annona muricata* L.) from Tecomán, Colima, Mexico. *Acta Horticulturae, 1340*, 21-25. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.3

Vavilov, N. I. (1951). *Origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants*. The Chronica Botanica Co. https://doi.org/10.2134/agronj1952.00021962004400020016x

Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Hernández-Salvador, M. A., Hernández-Ortiz, E., Marroquín Agreda, F. J., Núñez-Colín, C. A., & Campos-Rojas, E. (2020). *In situ* characterization of soursop (*Annona muricata* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 26*(3), 189-205. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.05.008

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 87*(3), 73-122. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017

Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association, 58*, 236-244. https://doi.org/10.2307/2282967

Zagaja, S. W. (1988). Exploración de recursos genéticos. In: Moore, J. N., & Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales* (pp. 3-12). AGT Editor.

APPENDIX / ANEXO

Projects and sources of *Annona muricata* L. data used in the analyses from the SNIB-CONABIO database, Mexico.
Proyectos y fuentes de los datos de *Annona muricata* L. usados en los análisis a partir de la base de datos SNIB-CONABIO, México.

Project / Proyecto	Source / Fuente	Project citation / Cita del proyecto	Number of data used / Número de datos usados
AA002	E008 K004 P026 U021	Lorea-Hernández, F., Peredo, M., & Durán, C. (2014). *Actualización de las bases de datos del Herbario XAL. Fase III*. Instituto de Ecología, A. C.	30
AA009	AA009	Guadarrama-Olivera, M. A. (2006). *Actualización de las bases de datos de las colecciones de plantas vasculares y macromicetos del herbario de la UJAT*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.	2
AC002	AC002	Zamora-Crescencio, P., Sánchez-González, M. C., & Aragón-Axomulco, L. (2005). *Formación del banco de datos del herbario (UCAM)*. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Investigaciones Históricas y Sociales.	3
AE013	V057	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2003). *Catálogo electrónico de especímenes depositados en el Herbario de la Universidad de Texas en Austin, Fase IV*. The University of Texas.	1
B123	B123	Diego-Pérez, N. (1997). *Lista florística de la Costa Grande del estado de Guerrero*. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. B123.	1
BC002	BC002	Cuevas-Sánchez, J. A. (2006). *Computarización de la base de datos del Banco Nacional de Germoplasma Vegetal - fase 2*. Universidad Autónoma Chapingo.	36
BC003	BC003	Chávez-Rendón, C. (2006). *Actualización e incremento del banco de datos de la colección de herbario del Jardín Etnobotánico de Oaxaca*. Centro Cultural Santo Domingo. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. BC003.	1
BC007	BC007	Fernández-Nava, R., Reyes-Toledo, B., & Casales-Gómez, M. (2007). *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.	2
BK031	BK031	Bonilla-Barbosa, J. R. (2007). *Flora acuática vascular y de zonas inundables del área de protección de flora y fauna Laguna de Términos, Campeche, México*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas.	3
CC010	V050 CC010	Escobar-Ocampo, C., & Castillo-Hernández, J. J. (2007). *Sistematización de la colección entomológica y actualización de la colección del herbario CHIP del Instituto de Historia Natural y Ecología (IHNE), Chiapas.* Secretaría de Medio Ambiente, Vivienda e Historia Natural. Bases de datos SNIB-CONABIO Plantas, proyectos No. CC010, V050_plantas y H297.	3
DC013	DC013	Vázquez-Torres, M., & Bojórquez, L. H. (2011). *Base de datos computarizada del herbario CIB, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana*. Universidad Veracruzana. Instituto de Investigaciones Biológicas.	2
EC018	EC018	Valdez-Hernández, M. (2013). *Base de datos del Herbario CIQR de El Colegio de la Frontera Sur, unidad Chetumal.* El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal.	13
gbif	12084	Missouri Botanical Garden (accessed through GBIF data portal, http://data.gbif.org/datasets/resource/12084, 2012-12-04)	3
gbif	14128	California Academy of Sciences, CAS Botany (accessed through GBIF data portal, http://data.gbif.org/datasets/resource/14128, 2012-12-04)	1
gbif	14346	Field Museum of Natural History Seed Plant Collection (accessed through GBIF data portal, http://data.gbif.org/datasets/resource/14346, 2012-12-04)	4
gbif	247	University of Arizona Herbarium (accessed through GBIF data portal, http://data.gbif.org/datasets/resource/7900, 2012-12-04)	2
H146	H146	Flores-Guido, J. S. (1999). *Actualización del banco de datos florístico de la Península de Yucatán (BAFLOPY)*. Universidad Autónoma de Yucatán.	2
HA005	BC006 EC009	Pérez-Farrera, M. A., Martínez-Camilo, R., Martínez-Meléndez, N., & Martínez-Meléndez, M. (2011). *Integración de bases de datos, actualización y sistematización de la colección de flora del Herbario Eizi Matuda (HEM)*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.	8

Projects and sources of *Annona muricata* L. data used in the analyses from the SNIB-CONABIO database, Mexico. (*cont.*)
Proyectos y fuentes de los datos de *Annona muricata* L. usados en los análisis a partir de la base de datos SNIB-CONABIO, México. (*cont.*)

Project / Proyecto	Source / Fuente	Project citation / Cita del proyecto	Number of data used / Número de datos usados
HA016	BA006 DC002 HA016 U009	Hernández-Aguilar, S. (2014). *Depuración de la colección y base de datos del Herbario CICY. Fase IV*. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.	19
INFyS2010	INFyS. 2010	CONAFOR. (2011). *Base de datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004 – 2009*. Comisión Nacional Forestal y de Suelos, Zapopan, Jalisco, México	20
J084	J084	Batis-Muñoz, A. I., Alcocer-Silva, M. I., Gual-Díaz, M., Sánchez-Dirzo, C., & Vázquez-Yanes, C. (1999). *Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación.* Universidad Nacional Autónoma de México.	8
L138	L138	Guadarrama-Olivera, M. A. (2000). *Flora de la reserva de la biósfera de los Pantanos de Centla, en el estado de Tabasco, México*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.	1
L255	L255	Rendón-Aguilar, B., & Núñez-Farfán, J. (1999). *Flora útil del Municipio de la Huerta, Jalisco*. Universidad Nacional Autónoma de México.	2
L289	L289	Téllez-Valdés, O., & Martínez, J. (2000). *Base de datos de la flora de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México.* Universidad Nacional Autónoma de México.	1
Mobot	Mobot	Base de datos del Herbario del Jardín Botánico de Missouri, EUA (2005).	12
P140	P140	Gutiérrez-Garduño, M. V. (1999). *Sistematización del Herbario Nacional Forestal Biól. Luciano Vela Gálvez*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.	4
P143	P143	Carnevali-Fernández, G., & Durán, R. (2009). *Depuración de la Colección y del Banco de datos del Herbario CICY. Fase III.* Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Bases de datos SNIB-CONABIO Proyectos No. DC002, BA006 y U009.	15
Q017	J097	Rzedowski, J., & Zamudio, S. (2001). *Etapa final de la captura y catalogación del Herbario del Instituto de Ecología, AC*. Centro Regional del Bajío.	3
SI-BMM	SI-BMM	Gual, D. M., Rendón, C. A., Alamilla, F. L., Cifuentes, R. P., & Lozano, R. A. (2013). *Bosque mesófilo de montaña de México.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.	2
T015	T015	Dávila-Aranda, P., & Lira-Saade, R. (2001). *La flora útil de dos comunidades indígenas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Coxcatlán y Zapotitlán de las Salinas, Puebla.* Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB2013-CONABIO proyectos No. T015, Q014-Flora útil y P091-Flora útil.	1
U008	L188	Jiménez-Ramírez, J., & Martínez-Gordillo, M. (2003). *Fusión y actualización de las bases de datos del Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME), Guerrero*. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. U008, R031-Municipio H. Castillo, L188, L092 y E004.	1
U011	U011	Santana-Michel, F. J., Cuevas-Guzmán, R., & Guzmán-Hernández, L. (2003). *Actualización de la base de datos sobre la flora de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, México*. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. U011 y A007.	2
U048	U048	Guízar-Nolazco, E. (2004). *Banco de datos florísticos del Herbario CHAP.* Universidad Autónoma Chapingo.	2