



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CEREZA MAYA
(*Malpighia glabra* L.) Y SU ACTIVIDAD BIOPLAGUICIDA**

TESIS

Que presenta:

Montserrat Concepción Esquivel Chi

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctora en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis:

Dr. Rubén Humberto Andueza Noh

Conkal, Yucatán, México

Septiembre, 2025



TecNM



Conkal, Yucatán, México, a 11 de septiembre del 2025

El comité de tesis de la candidata a grado: Monserrat Concepción Esquivel Chi, constituido por los CC. Dr. Rubén Humberto Andueza Noh, Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dra. María Marcela Gamboa Angulo, Dr. Daniel Potter, Dr. Emanuel Hernández Núñez y el Dr. René Garruña Hernández, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **CARACTERIZACIÓN DE LA CEREZA MAYA (*Malpighia glabra* L.) Y SU ACTIVIDAD BIOPLAGUICIDA**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctora en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Rubén Humberto Andueza Noh

Director de Tesis

Dr. Esaú Ruiz Sánchez

Co-director de Tesis

Dra. María Marcela Gamboa Angulo

Asesora de Tesis

Dr. Daniel Potter

Asesor de Tesis

Dr. Emanuel Hernández Núñez

Asesor de Tesis

Dr. René Garruña Hernández

Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 11 de septiembre del 2025

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Monserrat Concepción Esquivel Chi

AGRADECIMIENTOS

Al antes Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca otorgada durante la realización del Doctorado.

Al Tecnológico Nacional de México campus Conkal y a la división de estudios de posgrados e investigación (DEPI) por ser un espacio de crecimiento y aprendizajes, donde he tenido los mejores momentos de mi vida.

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y al Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, por brindarme las facilidades para realizar parte de mi proyecto de investigación.

Al Dr. Rubén Humberto Andueza Noh, por brindarme la oportunidad y confianza de realizar este proyecto de investigación, por su valiosa dirección y por ser el primero en creer en la cereza maya.

Al Dr. Esaú Ruiz Sánchez y a la Dra. Marcela Gamboa Angulo por su valiosa asesoría, sobre todo por su paciencia y por siempre motivarme y contagiarme su pasión por la investigación.

Al Dr. René por su valioso tiempo y apoyo, por motivarme a crecer y salir de mi zona confort y sobre todo por sus consejos.

Al Dr. Daniel Potter y al Dr. Emanuel Hernández por su valiosa asesoría y tiempo en la revisión del documento de tesis.

A la Lic. Lina Arzápalo y a la Lic. Yenny Niño por su valioso apoyo, sobre todo por siempre escucharme y brindarme su amistad.

Al Dr. Federico Antonio Gutiérrez Miceli por instruirme durante mi estancia de investigación y motivarme a seguir creciendo profesionalmente.

A la Dra. Felicia Moo por su amistad por siempre brindarme su apoyo, por escucharme y creer en mí.

A la Dra. Alejandra González Moreno por asesorarme no solo en lo profesional, sino también en lo personal. Por siempre motivarme y escucharme siempre que lo necesito.

A mi gran amigo el Dr. Marcos Cuá Basulto y a la Dra. Ana Ruiz, por su apoyo en todo momento y su valioso asesoramiento.

A la Técnica Leticia Medina Baizabal por su valioso asesoramiento durante mi estancia académica, así mismo por sus enseñanzas y su paciencia.

A los estudiantes de residencia y ahora licenciados, Víctor y Nikte, gracias por su apoyo y amistad.

DEDICATORIA

A **Dios** por guiar y bendecir mi camino.

A la **Virgencita Inmaculada Concepción** por protegerme, guiarme e iluminar mi andar y darme sabiduría para continuar.

A las tres mujeres más fuertes, valiosas e importantes en mi vida:

Mi mamá, la maestra **Leidy Mex** por su gran amor, su apoyo incondicional y por enseñarme de fortaleza, humildad, resiliencia y constancia. Lo mejor lo he aprendido de ti mami.

Mi hermana **Cruz Esquivel** por su apoyo incondicional y por motivarme siempre a creer en mí y siempre estar dispuesta a apoyarme.

Mi hermanita **Orianita Esquivel** por su ternura y su manera tan bella de alegrar mis días.

Y al amor de mi vida, mi novio el **Dr. Angel Herrera**, por su amor y su valioso apoyo y paciencia en todo momento, cuando más lo he necesitado. Gracias por llegar a mi vida y darme paz.

¡Gracias por tanto mi Amor!

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Introducción	1
1.2 Antecedentes	3
1.2.1 Los recursos fitogenéticos de México	3
1.2.2 La Península de Yucatán.....	4
1.2.3 Marcadores genéticos	6
1.2.4 Especie de estudio: <i>Malpighia glabra</i>	8
1.2.5 Estudios de diversidad morfológica en <i>M. glabra</i>	10
1.2.6 Estudios de diversidad molecular en <i>M. glabra</i>	11
1.2.7 Estudios de evaluación fisiológica en semillas y crecimiento de plántulas de <i>M. glabra</i>	11
1.2.8 Actividad biológica de extractos de <i>M. glabra</i>	12
1.2.9 Influencia de las condiciones ambientales en las características morfológicas, moleculares y químicas de <i>M. glabra</i>	12
1.3 Hipótesis.....	14
1.4 Objetivos	14
1.4.1 General.....	14
1.4.2 Específicos.....	14
1.5 Procedimiento experimental	15
1.6 Literatura citada	15
II. CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE <i>Malpighia glabra</i> L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN.....	29
Resumen.....	29
Summary.....	30
III. CAPÍTULO 3. STRUCTURE AND GENETIC DIVERSITY OF WILD POPULATIONS OF <i>Malpighia glabra</i> L. FROM YUCATÁN, MEXICO.....	31
Abstract.....	31
IV. CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE <i>Malpighia glabra</i> L.	32
Resumen.....	32
Summary.....	33

V.	CAPÍTULO 5. ACARICIDAL ACTIVITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF <i>Malpighia glabra</i> ON PHYTOPHAGOUS <i>Tetranychus urticae</i> AND ITS PREDATOR <i>Amblyseus swirskii</i>	34
	Abstract.....	34
VI.	CAPÍTULO 6. CONCLUSIÓN GENERAL.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

II. CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE *Malpighia glabra* L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN

Tabla 2.1. Ubicación geográfica de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en Yucatán.33

Tabla 2.2. Comparación de medias $\pm$ desviación estándar de las variables de fruto de *M. glabra*, evaluadas a nivel de región bioclimática.34

Tabla 2.3. Comparación de medias $\pm$ desviación estándar de las variables de fruto de *M. glabra*, evaluadas a nivel de poblaciones.36

Tabla 2.4. Análisis de componentes principales de las características de fruto evaluadas en cuatro poblaciones de *M. glabra* de Yucatán.38

III. CAPÍTULO 3. STRUCTURE AND GENETIC DIVERSITY OF WILD POPULATIONS OF *Malpighia glabra* L. FROM YUCATÁN, MEXICO

Table 3.1. Location and environmental characteristics of the population sites of *Malpighia glabra* L., sampled in the four bioclimatic regions of Yucatan state, Mexico.55

Table 3.2. Information on the seven ISSR primers used for PCR of *M. glabra* DNA.....56

Table 3.3. Analysis of molecular variance (AMOVA) at the population and genetic group level of 16 populations of *M. glabra* collected in four bioclimatic regions of Yucatan, state, Mexico.....60

Table 3.4. Allelic richness and genetic diversity metrics for 16 populations of *M. glabra* from the state of Yucatan, Mexico.....62

Table 3.5. Allelic richness and genetic diversity at the level of bioclimatic regions and genetic groups of *M. glabra* collected in the Yucatan state, Mexico.....63

V. CAPÍTULO 5. ACARICIDAL ACTIVITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF *Malpighia glabra* ON PHYTOPHAGOUS *Tetranychus urticae* AND ITS PREDATOR *Amblyseus swirskii*

Table 5.1. Climate and location of sites where leaves of *M. glabra* were collected for preparing ethanolic extracts101

Table 5.2 Compounds identified by GC-MS in the four inhibitory ethanolic extracts of *M. glabra* leaves and relative peak area in the spectra.....108

ÍNDICE DE FIGURAS

II. CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE *Malpighia glabra* L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN

Figura 2.1. Análisis de conglomerado UPGMA de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán.37

Figura 2.2. Distribución espacial de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas de Yucatán, con base en los dos primeros componentes principales. PF (peso de fruto), DPF (diámetro polar de fruto), DEF (diámetro ecuatorial de fruto), °Brix (sólidos solubles totales), IFF (índice de forma de fruto), FA (frutos por axilas), PS (peso de semilla), DPS (diámetro polar de semillas), DES (diámetro ecuatorial de semilla), ES (espesor semilla) e IFS (índice de forma de semilla).39

III. CAPÍTULO 3. STRUCTURE AND GENETIC DIVERSITY OF WILD POPULATIONS OF *Malpighia glabra* L. FROM YUCATÁN, MEXICO

Figure 3.1. Location of the 16 sampled populations of *Malpighia glabra* in the four bioclimatic regions in the state of Yucatan, Mexico.....55

Figure 3.2. Analysis of the genetic structure of *M. glabra* showing (a) the estimation of the optimal number of genetic groups according to Evanno's method, using K values from 2 to 9; and (b) the individual assignment test showing the clustering of the 16 *M. glabra* populations based on the analysis of genotypic data using STRUCTURE, where each population is represented by a vertical bar.....59

Figure 3.3. Analysis of genetic relationships among 16 *M. glabra* populations in four bioclimatic regions of Yucatan, Mexico. (a) UPGMA dendrogram based on Nei's 1972 genetic distance. Red lines indicate genetic group I; green lines indicate genetic group II. (b) PCoA results confirm the UPGMA clustering of the populations in group I and II.....61

IV. CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *Malpighia glabra* L.

Figura 4.1. Plántulas de *M. glabra* emergidas bajo diferentes tratamientos pregerminativos A) Plántulas de *M. glabra* emergidas 21 días después de la siembra, B) Plántulas de *M. glabra* emergidas 45 días después de la siembra.....79

Figura 4.2. Porcentaje de germinación (A) y emergencia (B) de semillas de *Malpighia glabra* L. durante 45 días. Medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes (ANOVA, n =4, p<0.05).81

Figura 4.3. Efecto de los tratamientos pregerminativos en el número de hojas (A), el área foliar (B), el grosor del tallo (C), la altura (D), la longitud de la raíz (E) y el volumen de la raíz (F) de las plántulas de 45 días de *M. glabra*. Medias ($\pm$ EE) con diferentes letras son estadísticamente diferentes (ANOVA, n =3, p<0.05).82

Figura 4.4. Efecto de los tratamientos pregerminativos en el peso seco de las plántulas. A) Peso seco de hoja (PS_{Hoja}), B) peso seco de tallo (PS_{Tallo}), C) peso seco de raíz (PS_{Raíz}) y D)

peso seco total (PSTotal) de plántulas de *M. glabra*. Medias ($\pm$ EE) con diferentes letras son estadísticamente diferentes (ANOVA, $n=3$, $p<0.05$).83

Figura 4.5. Efecto de los tratamientos pregerminativos en la calidad de plántulas de *M. glabra*, A) coeficiente de esbeltez (CE), B) índice de calidad de Dickson (ICD), C) tasa de crecimiento de área foliar (TCR_{AF}) y D) peso seco total (TCR_{PS}). Medias ($\pm$ EE) con diferentes letras son estadísticamente diferentes (ANOVA, $n=3$, $p<0.05$).84

V. CAPÍTULO 5. ACARICIDAL ACTIVITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF *Malpighia glabra* ON PHYTOPHAGOUS *Tetranychus urticae* AND ITS PREDATOR *Amblyseus swirskii*

Figure 5.1. Mean ($\pm$ SE) mortality of *Tetranychus urticae* adults in the laboratory at 24 and 48 h after application of the four inhibitory ethanolic extracts from *M. glabra* leaves (0.2% w/v), abamectin, and water-Tween 20 (control). Means that do not share the same letter differed significantly (ANOVA, post hoc Tukey, $P < 0.01$, $N = 10$).104

Figure 5.2. Mean ($\pm$ SE) mortality of *T. urticae* eggs in the laboratory at 12 days after application of the four inhibitory ethanolic extracts from *M. glabra* leaves (0.2% w/v), abamectin, and water-Tween 20 (control). Means that do not share the same letter differed significantly (ANOVA, post hoc Tukey, $P < 0.01$, $N = 10$).105

Figure 5.3. Mean ($\pm$ SE) mortality of *Amblyseius swirskii* adults in the laboratory at 24 and 48 h after application of the four inhibitory ethanolic extracts from *M. glabra* leaves (0.2% w/v), abamectin, and water-Tween 20 (control). Means that do not share the same letter differed significantly (ANOVA, post hoc Tukey, $P < 0.01$, $N = 10$).106

Figure 5.4. Effect of the four inhibitory extracts on population density (mean $\pm$ SE) of nymphs (A) and adults (B) of *T. urticae* in a greenhouse at 0, 7 and 14 days after application of the ethanolic extracts of *M. glabra* leaves (0.2% w/v). Control: water-0.05% Tween 20. Means that do not share the same letter differed significantly (ANOVA, post hoc Tukey, $P < 0.01$, $N = 10$).107

Figure 5.5. Metabolites detected in the inhibitory ethanolic extracts of *Malpighia glabra* leaves.108

RESUMEN

La cereza maya (*Malpighia glabra* L.) es un excelente recurso fitogenético por su alta calidad nutritiva y alto contenido de compuestos orgánicos que le otorgan diversas actividades biológicas. Por lo cual, el objetivo general de este trabajo fue evaluar la diversidad genética, respuesta fisiológica de la semilla y el efecto bioplaguicida de poblaciones de *M. glabra* colectadas en diferentes regiones bioclimáticas de Yucatán. El presente proyecto de tesis se integró de tres fases. En la fase uno, se caracterizó la morfología del fruto y se evaluó la diversidad genética de *M. glabra*, usando marcadores ISSR. En la fase dos, se evaluó la germinación de semillas y la emergencia y crecimiento de plántulas de la cereza maya utilizando cuatro tratamientos pregerminativos: [1) testigo (agua), 2) inmersión en agua a 60°C por 5 min, 3) inmersión en agua por 48 h, 4) inmersión en ácido giberélico (AG₃) por 48 h]. En la fase tres, se realizó la evaluación toxicológica de cuatro extractos etanólicos de hojas de *M. glabra* colectadas en cuatro localidades del estado de Yucatán. Los resultados de la fase uno permitió observar tres grupos morfológicos caracterizados principalmente por la cantidad de °Brix y el tamaño del fruto. Los resultados de la evaluación molecular únicamente permitieron la formación de dos grupos genéticos, siendo las condiciones ambientales locales las que influyeron en la estructura y diversidad genética de las poblaciones de *M. glabra* estudiadas. Los resultados de la fase dos permitieron determinar que los tratamientos 2 y 3, inmersión en agua a 60°C por 5 min e inmersión en agua por 48 h, fueron los que presentaron mejores resultados en cuanto a emergencia y calidad de plántula. Para la fase tres, los resultados demostraron que los cuatro extractos etanólicos evaluados, causaron efectos tóxicos en *T. urticae* en condiciones de laboratorio e invernadero, y en *A. swirskii* el ácaro depredador de *T. urticae*. Como conclusión, las poblaciones de *M. glabra* en el estado de Yucatán presentan una alta diversidad genética, influenciada principalmente por las condiciones ambientales de cada una de las cuatro regiones bioclimáticas presentes en el estado; condiciones que también influyeron en la composición y concentración de metabolitos presentes en los cuatro extractos etanólicos con efectos tóxicos contra *T. urticae* y el ácaro depredador *A. swirskii*. Los tratamientos pregerminativos no influyeron en la germinación, pero mejoraron los porcentajes de emergencia y la calidad de las plántulas de *M. glabra* bajo condiciones de invernadero.

ABSTRACT

The Mayan cherry (*Malpighia glabra* L.) is an excellent plant genetic resource due to its high nutritional value and high content of organic compounds, which confer various biological activities. It is native to the Yucatán state, where it is reported to be widely distributed in four bioclimatic regions. This distribution could determine the composition of its genetic diversity, its response to germination, as well as the metabolites that may be present in the plant. Therefore, the general objective of this work was to evaluate the genetic diversity, physiological response of the seed and biopesticidal effect of *M. glabra* populations collected in different bioclimatic regions of Yucatán. This thesis project was integrated into three phases. In phase one, fruit morphology was characterized, and the genetic diversity of *M. glabra* was evaluated using ISSR markers. In phase two, seed germination and seedling emergence and growth of Mayan cherry were evaluated using four pre-germination treatments [1) control (water), 2) immersion in water at 60°C for 5 min, 3) immersion in water for 48 h, 4) immersion in gibberellic acid (GA₃) for 48 h]. In phase three, a toxicological evaluation of four ethanolic extracts from *M. glabra* leaves collected from four locations in the state of Yucatán was carried out. The results of phase one allowed us to observe three morphological groups characterized mainly by the amount of °Brix and the size of the fruit; however, the results of the molecular evaluation only allowed the formation of two genetic groups, with the local environmental conditions being those that influenced the structure and genetic diversity of the *M. glabra* populations studied. The results of phase two determined that treatments 2 and 3, immersion in water at 60°C for 5 min and immersion in water for 48 h, were those that presented the best results in terms of seedling emergence and quality. For phase three, the results showed that the four ethanolic extracts evaluated caused toxic effects on *T. urticae* under laboratory and greenhouse conditions, and on *A. swirskii* the predatory mite of *T. urticae*. In conclusion, *M. glabra* populations in the Yucatán state present a high genetic diversity, influenced mainly by the environmental conditions of each of the four bioclimatic regions present in the state, conditions that also influenced the composition and concentration of metabolites present in the four ethanolic extracts with toxic effects against *T. urticae* and the predatory mite *A. swirskii*. On the other hand, pre-germination treatments did not influence germination, but improved the emergence percentages and quality of *M. glabra* seedlings under greenhouse conditions.

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

Los recursos fitogenéticos son un excelente modelo de sustentabilidad con gran importancia en la seguridad alimentaria, en la economía, así como en la identidad y riqueza cultural (Salgotra y Chauhan, 2023; Korpelainen, 2023). En México se reportan 554 especies frutales nativas no convencionales, es decir que se encuentran en huertos de traspatio, en vida silvestre o cultivados, pero que no se explotan comercialmente (Segura *et al.*, 2018). Algunas especies se utilizan desde la época prehispánica como fuente de alimento, las cuales no han sido estudiadas (Nieto-Angel y Borys, 2008). Para el caso específico de la Península de Yucatán, se ha registrado que los mayas utilizaron al menos 39 especies frutales, sin embargo, estudios recientes indican que en la actualidad solo se encuentran 27 especies frutales en huertos de traspatio y el resto en vida silvestre sin aprovechar, tal es el caso de la cereza maya (*Malpighia glabra* Linn) (Jiménez-Osornio *et al.*, 2018).

M. glabra pertenece a la familia Malpighiaceae y al género *Malpighia*, se le conoce comúnmente como acerola en muchos lugares, pero también con diferentes nombres dependiendo del lugar donde se encuentre, ya que se distribuye de forma natural en América Central, América del Sur y los estados del sur de México (Torres- Contreras *et al.*, 2022). En la Península de Yucatán se le han asignado diferentes nombres en lengua maya: Usté, wayate', kaanil bin che' y béek che (Fernández-Concha *et al.*, 2010). Es originaria del estado de Yucatán y se reporta altamente distribuida en cuatro regiones bioclimáticas, con características fisiográficas, vegetales y edáficas particulares: 1) Región con clima semiárido muy cálido, localizada en la costa, desde Sisal hasta el norte de Dzidzantún; 2) Región con clima seco cálido subhúmedo, que ocupa la parte occidental del estado; 3) Región con clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, la cual se localiza al oeste y noreste del estado; 4) Región con clima cálido subhúmedo intermedio, esta región se distribuye en la porción al pie del Puuc y al extremo oriental del estado de Yucatán (Olędzki y Harasym, 2024; Orellana *et al.*, 1999).

Es importante mencionar que el hecho de que *M. glabra* se encuentre distribuida en estas cuatro regiones bioclimáticas bajo condiciones ambientales diferentes podría ser determinante en la composición de su diversidad genética, así como de los metabolitos que

puedan estar presentes en la planta, ya que algunos autores mencionan que las condiciones ambientales de las regiones donde se desarrollan las plantas, juegan un papel importante en la variación morfológica, diversidad genética y composición química de las plantas (Seka *et al.*, 2023; Hamasha *et al.*, 2012; Martínez-Natarén *et al.*, 2014).

Entre los aspectos que se evalúan durante la caracterización de una especie se encuentran las características morfológicas y genéticas. En el caso *M. glabra*, los estudios de caracterización genética que se han realizado, han sido desarrollados en variedades cultivadas, utilizando marcadores morfológicos y moleculares, en países como Japón y Brasil, donde aprovechan esta fruta debido a su importancia nutrimental y económica (Cavalcante *et al.*, 2007; Chowdhury *et al.*, 2005; Salla *et al.*, 2002; Ito *et al.*, 2014). Sin embargo, es necesario caracterizar morfológica y molecularmente genotipos de *M. glabra* que se encuentren en estado silvestre.

Otro aspecto que debe tomar en cuenta cuando se caracteriza una especie, es la calidad fisiológica de sus semillas, ya que de esto dependerá su germinación y emergencia lo que determinará su establecimiento en campo, su reproducción y propagación. En *M. glabra* existen problemas para su propagación asexual (propagación vegetativa) y sexual (propagación por semilla), para el caso específico de la propagación por semilla estudios previos mencionan que las semillas de *M. glabra* presentan baja germinación (15 al 30%), debido a problemas de viabilidad de sus semillas (Musser *et al.*, 1986; Azerêdo *et al.*, 1994; Germano *et al.*, 1994; Azerêdo *et al.*, 2005). Por otro lado, para superar los problemas de viabilidad en las semillas se reporta la utilización de diferentes tratamientos pregerminativos que han demostrado su efectividad al mejorar la tasa de germinación de muchas especies de plantas, por ejemplo, escarificación mecánica, tratamientos químicos, tratamientos hormonales, manejo del agua y la temperatura (Azerêdo *et al.*, 2006; Dutta, 2018; Sher *et al.*, 2019). A pesar de los problemas de germinación que presenta *M. glabra*, los estudios de calidad fisiológica realizados en sus semillas son escasos y no se cuenta con suficiente información respecto a las metodologías desarrolladas para su evaluación (Azerêdo *et al.*, 2006; García-Hoyos *et al.*, 2011).

Por otra parte, investigaciones recientes reportan que los extractos de hojas de *M. glabra* pueden ser utilizados como plaguicidas en el sector agrícola (Esquivel-Chi *et al.*, 2024;

Texeira-Pinto *et al.*, 2018). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los extractos obtenidos de poblaciones silvestres tienden a exhibir una gran variación en su actividad biológica, estas variaciones están asociadas a la composición química en dependencia de factores que pueden influir sobre la actividad biológica, como el lugar de origen, las condiciones ambientales y la etapa de desarrollo de las plantas (Calvo-Irabien *et al.*, 2014; Akintan y Akinneye, 2020). Por lo tanto, es necesario realizar estudios de aislamiento y caracterización de los compuestos bioactivos de hojas de *M. glabra*, así como determinar las dosis adecuadas para su aplicación. Como se puede observar, *M. glabra* posee gran potencial económico como recurso fitogenético frutal en Yucatán. Sin embargo, se han realizado escasas investigaciones para caracterizar a la especie, lo que limita su utilización. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la diversidad genética, respuesta fisiológica de la semilla y efecto bioplaguicida de poblaciones de *Malpighia glabra* colectadas en diferentes regiones bioclimáticas de Yucatán.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Los recursos fitogenéticos de México

Los recursos fitogenéticos se definen como cualquier material vegetal con valor real o potencial para la seguridad alimentaria e incluye el material hereditario total de las plantas (Sonnino, 2017; Salgotra y Chauhan, 2023). En México existe una alta diversidad vegetal, registrada con 23,314 especies de plantas, ocupando el cuarto lugar a nivel mundial (Villaseñor, 2016). Es el centro de origen de especies consideradas como recursos fitogenéticos de gran importancia mundial, como son el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.), algodón (*Gossypium hirsutum* L.) y nopal (*Opuntia* spp.) (Barrera-Guzmán *et al.*, 2020; Bitocchi *et al.*, 2017; Lira *et al.*, 2016; Pérez-Mendoza *et al.*, 2016; Medina-García *et al.*, 2021; Zavala, 2006).

En México, se reportan 755 especies frutales, consideradas como recursos fitogenéticos, de las cuales 642 especies son consideradas como no convencionales y de estas, 554 especies son nativas (Segura *et al.*, 2018). Para el caso de la Península de Yucatán se reporta una gran riqueza de recursos fitogenéticos frutales y se ha documentado a través de registros históricos que durante el período prehispánico los mayas hicieron uso de al menos 39 especies frutales nativas (Colunga-García y May-Pat, 1992). En estudios recopilados entre los años 1990 y 2000 se menciona la presencia de 35 especies frutales en los huertos

familiares de Yucatán, sin embargo, en los censos agrícolas realizados en los años 2014 y 2016 solo se registraron 27 especies frutales en los huertos familiares (Jiménez-Osornio *et al.*, 2018). Estudios actuales reportan que varias de las especies frutales que fueron utilizadas en el pasado por su valor como alimento e importancia económica por la población de la Península de Yucatán, ya no se consumen y empiezan a considerarse como frutales infrautilizados. Una de estas especies que actualmente ya no se encuentra cultivada en los traspatios de la Península de Yucatán es *Malpighia glabra* (Montañéz-Escalante *et al.*, 2014; Jiménez-Osornio *et al.*, 2018).

1.2.2 La Península de Yucatán

La alta diversidad de especies vegetales en México es explicada por la ubicación geográfica en la que se encuentra el país, lo que ha generado la clasificación de 14 provincias biogeográficas, considerando a la Península de Yucatán como una de las provincias biogeográficas más importantes con respecto a recursos fitogenéticos frutales que posee (Morrone *et al.*, 2017; Carrillo y Orellana, 2004).

La península de Yucatán ocupa los territorios de los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Se localiza en el extremo sureste de la República Mexicana entre los 18° 3' 50" y 21° 37' 16" de latitud norte, con escaso relieve y altitudes menores a los 400 msnm. Presenta la forma de un gran bloque de superficie suavemente tendida al oeste y norte, con extensa plataforma continental bajo el mar del Golfo de México y un abrupto talud vertical, sin plataforma continental sobre el mar Caribe. Su relativa cercanía al trópico de Cáncer y a la celda Anticiclónica Bermuda Azores y la ausencia de orografía considerable, hace que esta región presente particularidades en el clima (Bautista y Palacio, 2011; Orellana *et al.*, 2010).

En el estado de Yucatán existe una marcada variación de climas que, agrupado a los tipos de suelo y vegetación circundante, dan lugar a cuatro regiones bioclimáticas que se describen como Región 1) Clima semiárido muy cálido, 2) cálido más seco de los subhúmedos, 3) cálido subhúmedo con lluvias en verano y 4) cálido subhúmedo intermedio. Esta región se distribuye en la costa, desde Sisal hasta el norte de Dzidzantún, donde las condiciones climáticas son cada vez menos secas y más húmedas, esta región posee el clima más seco de los semiáridos con una altitud de 7 m. La precipitación media anual es de 600 mm, siendo intermedias o irregulares con tendencia a distribuirse hacia el verano, con una

temperatura media anual de 26.3 °C, con suelos de tipo gleysol, es decir, suelos moderadamente profundos, no estratificados en áreas inundables y suelos tipo Solonchak caracterizados por su alto contenido de sales, en el cual se desarrolla la selva caducifolia espinosa con una gran cantidad de especies xerofíticas como *Beaucarnea pliabilis* (Baker) Rose y *Mammillaria gaumeri* (Britton Rose) Orcutt. Región 2 Seco cálido subhúmedo. La región 2, se identifica con el clima cálido más seco de los subhúmedos y ocupa de la parte noreste del estado hasta Peto, cuenta con una altitud de 12 m. Presenta poca oscilación térmica con una temperatura media anual de 26 °C, con precipitación media anual de 885.4 mm. En esta región se encuentran suelos de tipo leptosol caracterizados por presentar roca dura, suelos color negro y suelos de tipo leptosol lítico con profundidad menor a 10 cm, de color negro con piedras, en el que se distribuye la selva baja caducifolia con especies como *Erythroxylum rotundifolium* Lunan, *Gymnopodium floribundum* (B. L. Rob exp Millsp. & Loes.) Standl & Steyerf. y *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. Región 3 Cálido subhúmedo con lluvias en verano. Este clima ocupa la región centro-oeste y sur del estado, desde Sierra papacal hasta llegar a Tekax, siendo el clima más seco de los húmedos con una altitud de 7.5 m, y precipitación media anual de 1000 mm, con precipitaciones en verano y alto porcentaje de precipitación invernal con temperatura media anual de 26.5 °C. Presenta suelos de tipo gleysol es decir, son suelos moderadamente profundos, no estratificados en áreas inundables y leptosol caracterizados por presentar roca dura y suelos color negro, en el que se desarrolla la selva baja caducifolia con especies como *Acacia gaumeri* S.F. Blake, *Plumeria rubra* L. y *Psidium guajava* L., esta región también abarca parte de la selva mediana caducifolia donde se desarrollan especies como *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Vitex gaumeri* Greenm. y *Caesalpinia gaumeri* Greenm. Región 4 Cálido subhúmedo intermedio. Esta región se distribuye del extremo sureste en la porción al pie del Puuc y al extremo oriental del estado desde Sotuta hasta Tizimín, con una altitud de 30 m, cuenta con una temperatura media anual de 26.1 °C. La precipitación media anual es de 1200 mm con precipitaciones en verano y alto porcentaje de precipitación invernal, donde predominan los suelos de tipo leptosol caracterizados por presentar roca dura y suelos color negro, en esta región también se observan suelos de tipo cambisol que se identifican por su color rojo o marrón rojizo y por su textura fina y arenosa y suelos tipo luvisol de color rojo o marrón con menos del 5% de materia orgánica que se endurecen cuando se secan, pero no se agrietan. En esta región 2 se

desarrollan la selva mediana subperennifolia con especies como *Acacia cornígera* (L.) Wild., *Ceiba pentandra* (L.) Gaerth y *Manilkara Zapota* (L.) P. Roven., selva baja inundable con especies como *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth., *Mimosa bahamensis* Benth. y *Lonchocarpus rugosus* Benth. y selva mediana subcaducifolia donde se desarrollan especies como *Croton reflexifolius* Kunth., *Bursera simaruba*, *Guettarda combsii* Urb. (Bautista, 2021; Martínez-Natarén *et al.*, 2014; Orellana *et al.*, 2010; Orellana *et al.*, 1999).

1.2.3 Marcadores genéticos

Un marcador genético se puede definir como un alelo cromosómico que permite rastrear una región específica de ADN, como un fragmento de ADN específico con una posición conocida del genoma o como un gen cuya expresión fenotípica suele diferenciarse fácilmente y que puede utilizarse para identificar un individuo o célula; así mismo los marcadores genéticos se clasifican en tres tipos: 1) morfológicos detectables a nivel de fenotipo de un organismo, 2) bioquímicos detectables a nivel de proteínas, incluyendo enzimas y metabolitos y 3) moleculares detectables a nivel ácido nucleico (Chesnokov *et al.*, 2020).

1.2.3.1 Marcadores morfológicos

Los marcadores morfológicos suelen ser indicadores visuales de caracteres fenotípicamente diferentes, como el color, la forma y el tamaño de la flor, las semillas o las hojas entre otros (Chesnokov *et al.*, 2020). Entre las ventajas que presentan los marcadores morfológicos es que su detección y aplicación es relativamente fácil. También presentan desventajas, como el hecho de que su expresión puede verse afectado por el medio ambiente, puede depender de la etapa de crecimiento y muestran un nivel extremadamente bajo de polimorfismo. Sin embargo, aún siguen siendo una herramienta eficaz cuando se usa en combinación con los marcadores moleculares (Bangarwa *et al.*, 2021).

Los marcadores morfológicos han sido utilizados en estudios de caracterización de recursos fitogenéticos, domesticación y para identificación de caracteres por estrés ambiental en plantas (Jiménez-Rojas *et al.*, 2019; Maňourová *et al.*, 2023; Álvarez-Ríos *et al.*, 2020; Soltabayeva *et al.*, 2021). Así como, también se han utilizado en estudios filogenéticos, de hibridación y taxonómicos (Huang *et al.*, 2023; Rieseberg *et al.*, 1993; Kidyoo y Kidyoo, 2023).

1.2.3.2 Marcadores bioquímicos

Son los genes que codifican a un grupo de moléculas biológicas que incluyen proteínas, isoenzimas, aloenzimas y metabolitos secundarios. El otro nombre para los marcadores bioquímicos es el de marcadores proteicos, puesto que es en el perfil proteico en donde se detecta el polimorfismo, el cual se puede detectar con la ayuda de electroforesis en gel, seguida de la tinción de una proteína particular con un tinte específico (Bhat y Hakeem, 2023; Govindaraj *et al.*, 2015).

Las principales ventajas de estos marcadores consisten en que evalúan la codominancia, los efectos pleiotróficos, no presentan epistasis, son fáciles de usar y rentables. Sin embargo, presenta ciertas desventajas frente a otros marcadores, son menos abundantes, detectan menos polimorfismo y se ven afectados por diversas metodologías de extracción, tejidos vegetales, diferentes etapas de crecimiento de las plantas y los factores ambientales. Debido a las desventajas que presentan los marcadores bioquímicos, se desarrollaron los marcadores moleculares (Bhat y Hakeem, 2023; Kumar *et al.*, 2022; Mondini *et al.*, 2009).

Los marcadores bioquímicos, en combinación con los marcadores moleculares han sido utilizados en estudios de diversidad genética, fitomejoramiento, resistencia de enfermedades y tolerancia al estrés en plantas (Rathore *et al.*, 2023; Stuber, 1992; Reuveni, 1995; El-Baz *et al.*, 2003).

1.2.3.3 Marcadores moleculares

Los marcadores moleculares o de ADN son secuencias identificables de ADN que se encuentran en lugares específicos del genoma y se transmiten mediante las leyes de herencia de una generación a la siguiente. Según la técnica utilizada para su detección, los marcadores moleculares se clasifican en tres categorías principales: La primera categoría incluye marcadores de hibridación, la segunda categoría incluye marcadores basados en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la tercera categoría está conformada por marcadores moleculares basados en la secuenciación de ADN (Chukwu *et al.*, 2019; Dar *et al.*, 2019).

La PCR es la técnica que realiza la síntesis enzimática de ADN *in vitro*. Los marcadores que son utilizados bajo esta técnica, han permitido el uso de secuencias de ADN en análisis genéticos proporcionando una mejor comprensión de la diversidad genética y la

diferenciación en poblaciones naturales. Dichos marcadores son: a) secuencias simples repetidas (SSR), b) polimorfismo de longitud de fragmento amplificado (AFLP), c) amplificación aleatoria de ADN polimórfico (RAPD), d) polimorfismo amplificado de secuencias relacionadas (SRAP) y e) inter secuencias simples repetidas (ISSR) (Ersoy *et al.*, 2023; Mondini *et al.*, 2009).

La utilización de los marcadores ISSR, fue reportada por primera vez por Zetkiewicz *et al.* (1994), la cual consiste en amplificar segmentos de ADN a distancia amplificable entre dos regiones repetidas de microsatélites idénticas, orientadas en direcciones opuestas, utilizando secuencias cortas de microsatélites como iniciadores, que son de tamaño variable (de 16 a 20 pb), y pueden estar compuestos por secuencias repetidas de di, tri, tetra o pentanucleótidos (Harshitha y Sandal, 2022; Amon y Nongdam, 2017). Los marcadores ISSR se clasifican dentro el grupo de marcadores genéticos multilocus y dominantes. La principal ventaja de estos marcadores es que suelen producir múltiples fragmentos de ADN en una sola reacción, generando un gran número de loci en el genoma de cualquier especie, sin necesidad previa de conocer la información de su secuencia de ADN. Además, son confiables, rápidos, de bajo costo y se requiere poca cantidad de ADN para su procesamiento. La desventaja que presentan dichos marcadores, es que, al ser dominantes no permite la distinción entre homocigotos y heterocigotos (Dar *et al.*, 2019; Ng y Tan, 2015; Paran y Michelmore, 1993).

Los marcadores ISSR han sido utilizados en diversos estudios de caracterización de recursos fitogenéticos (Nkongolo *et al.*, 2021; Martínez *et al.*, 2020), para evaluar las relaciones genéticas, el polimorfismo y la diversidad genética en especies cultivadas y especies silvestres (Olatunji y Afoloyan, 2019; Rhimi *et al.*, 2019; Yadav *et al.*, 2022; Morillo-Coronado *et al.*, 2022). Así mismo, estos marcadores también se han utilizado en estudios de filogenia, etiquetado de genes, mapeo del genoma y biología evolutiva (Balaji *et al.*, 2022).

1.2.4 Especie de estudio: *Malpighia glabra*

Malpighia glabra es un frutal silvestre comestible nativo de México que pertenece a la familia Malpighiaceae y al género *Malpighia* donde se han reportado 27 especies para México y siete se encuentran en el área maya de la Península de Yucatán (Villaseñor, 2016).

Presenta sinonimia con *Malpighia puniceifolia* L. y *Malpighia emarginata* D.C (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016; Ito *et al.*, 2014). El nombre común más utilizado para referirse a esta fruta es acerola, pero también se le conoce con diferentes nombres dependiendo del lugar donde se encuentre, por ejemplo, cereza de Barbados o de las Antillas, nance rojo, pico de paloma, cerecita o manzanita. En el área maya se le ha dado diferentes nombres en lengua maya como son: usté, wayate', kaanil bin che' y béek che' (Fernández-Concha *et al.*, 2010).

1.2.4.1 Distribución geográfica de *Malpighia glabra*

Se considera que *M. glabra* se originó en la Península de Yucatán (Chowdury *et al.*, 2005). Crece de forma natural en América Central, América del Sur y los estados del sur de México específicamente en la Península de Yucatán (Torres- Contreras *et al.*, 2022) También se puede encontrar de forma cultivada en la región sur de Brasil, las Islas Canarias, Ghana, Etiopía, Madagascar, Zanzíbar, Srilanka, Taiwán, India, Java, Hawái, Australia, Jamaica y Puerto Rico (Kumar *et al.*, 2017; Johnson, 2003; Sivieri, 2018).

1.2.4.2 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Superdivision: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Poligalales

Familia: Malpighiaceae

Género: *Malpighia*

Especie: *Malpighia glabra* L.

(Dey *et al.*, 2018; Rymbai *et al.*, 2014)

1.2.4.3 Características botánicas

Malpighia glabra se caracteriza por ser un arbusto de porte erguido, semipostrado o postrado, de 3 a 4 metros de altura, con ramas densas y dispersas de color verde a pardo. Las hojas son simples, enteras y de disposición opuesta, su forma varía de elíptica a aguda, de color verde oscuro brillante en el haz y verde pálido en el envés, con pecíolos de 1 a 3 mm

seríceos. Las flores miden de 2 a 2.5 cm, se encuentran conformadas por 5 pétalos rosados, diez estambres, 3 estilos y 3 carpelos fusionados en un ovario superior, las flores se encuentran en racimos de 2 a 6 flores por axila foliar. Los frutos de *M. glabra* son de forma ligeramente redondos, dispuestos a manera de tres lóbulos poco pronunciados, de color verde cuando se encuentran inmaduros y de color rojo luminoso cuando se encuentran maduros, con un peso de 2 a 10 gr aproximadamente (Miyashita *et al.*, 1964; Nakasone *et al.*, 1968; Mendes *et al.*, 2012).

1.2.4.4 Composición química

Los estudios fitoquímicos realizados en *M. glabra*, se han centrado principalmente en el análisis de sus frutos, estos presentan alto contenido de vitamina C (Khare, 2007; Belwal *et al.*, 2018), constituyentes volátiles (Bicas *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2005) ácidos grasos (Egydio y Santos, 2012) ácidos fenólicos, antocianinas (Nowak *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2019), flavonoides (Kawaguchi *et al.*, 2007), carotenoides (Azevedo-Meleiro y Rodriguez-Amaya, 2004) y terpenos (Liu *et al.*, 2014). Pero, en años recientes se ha prestado atención al estudio de las hojas donde se reportó la presencia de diferentes compuestos como syringaresinol, 10-hidroxifaeoforbida A, faeoforbida, lupenona, cumarinas (capendina, dafnoretina y escopoletina), flavonoides (ácido cinámico y derivados del ácido quínico) y aminoácidos (adenosina, homoisoleucina y fenilalanina) como compuestos mayoritarios (Esquivel-Chi, 2024; El-Hawary *et al.* 2020).

1.2.5 Estudios de diversidad morfológica en *M. glabra*

En cuanto a los estudios de diversidad morfológica realizados para caracterizar la especie *M. glabra* son escasos, sin embargo, es importante resaltar que los pocos estudios realizados hasta el momento con el propósito de describir la diversidad morfológica de *M. glabra*, solamente han sido desarrollados en variedades cultivadas debido a la importancia comercial que presenta la especie en países donde se cultiva. Por ejemplo, Chowdhury *et al.* (2005) reportó la diversidad genética de cultivares de Japón organizada en dos grupos morfológicos. Calvacante *et al.* (2007) reportó la diversidad morfológica de cultivares en Brasil organizada en 11 grupos morfológicos.

En México no existen trabajos disponibles sobre la caracterización de *M. glabra* y el trabajo más cercano sobre caracterización morfológica de frutos de poblaciones silvestres es

el realizado por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en una especie frutal silvestre (*Malpighia mexicana*) perteneciente a la misma familia que *M. glabra*.

1.2.6 Estudios de diversidad molecular en *M. glabra*

Para *M. glabra*, los estudios que se han realizado a nivel molecular para conocer su diversidad genética se hicieron en plantas cultivadas, utilizando marcadores basados en la técnica de PCR. Por ejemplo, Salla *et al.* (2002) con marcadores RAPD y SSR reportaron alta segregación genética, altos niveles de polimorfismo y variabilidad genética alta en 24 accesiones de cereza cultivadas en Brasil. Chowdhury *et al.* (2005) evaluaron nueve cultivares de cereza en Japón con marcadores RAPD e identificaron dos grupos genéticos y concluyeron que existe una estrecha variabilidad genética entre los cultivares evaluados. Ito *et al.* (2014) evaluaron marcadores SRAP en 19 accesiones de acerola de Japón, e identificaron asociaciones genéticas entre las accesiones evaluadas. Nascimento *et al.* (2024) utilizaron marcadores ISSR para estimar la diversidad genética en cultivares de Brasil y encontraron diferentes niveles de polimorfismo en los diferentes cultivares evaluados.

1.2.7 Estudios de evaluación fisiológica en semillas y crecimiento de plántulas de *M. glabra*

Para el caso de *M. glabra*, la mayoría de los estudios sobre germinación de semillas y emergencia de plántulas, han sido desarrollados utilizando semillas de variedades cultivadas de acerola, donde se reportaron porcentajes de germinación y emergencia de plántulas (de 15 a 30%) bajos, a pesar de utilizar tratamientos pregerminativos como escarificación mecánica, imbibición en agua, temperatura y utilización de sustratos (Araújo y Minami, 1994; Azerêdo *et al.*, 1994;2005;2006). Sin embargo, algunos autores reportan que porcentajes de germinación bajos observados, muy probablemente se deben a la ausencia de embriones en las semillas, factores biológicos, deformación o falta de fertilización del óvulo o la degeneración del saco embrionario por deficiencias en la polinización (Costa *et al.*, 2003; Musser *et al.*, 1986; Maldonado-Peralta *et al.*, 2016). En cuanto al estudio de plántulas, los reportes son escasos, el único trabajo encontrado fue el de Laskowski y Bautista, (2003), quienes mencionaron que las plántulas de *M. glabra* alcanzaron una altura máxima de 3 cm después de 90 días de emergencia.

En general, existen pocos reportes del estudio fisiológico de semillas y plántulas en frutales silvestres, debido a la falta de interés por el desconocimiento de sus propiedades (Dulay *et al.*, 2022). En México hasta el momento, no existen trabajos disponibles sobre la fisiología de semillas y plántulas de *M. glabra* silvestre, por lo que resulta de gran interés el generar información básica sobre el comportamiento fisiológico de la semilla de *M. glabra*, ya que puede ser utilizada en la planeación de estrategias para su manejo y cultivo a futuro.

1.2.8 Actividad biológica de extractos de *M. glabra*

Los estudios de actividad biológica reportados en *M. glabra* han sido principalmente utilizando extractos del fruto. Por ejemplo, el extracto acuoso indujo actividad antigenotóxica al 51% (Nunes *et al.*, 2013), el extracto metanólico presentó propiedades antioxidantes al ser evaluado *in vitro* (Nascimento *et al.*, 2018) y los extractos etanólicos y acuosos presentaron actividad antimicrobial sobre *Staphylococcus aureus* Rosenbach (October *et al.*, 2024). A su vez, los extractos de hojas también se han reportado con diversas actividades biológicas. Por ejemplo, el extracto metanólico presentó actividad antioxidante (Fekry *et al.*, 2021) y el extracto etanólico produjo actividad hepatoprotectora en ratones (El-Hawary *et al.*, 2020) y antifúngica contra cuatro hongos patógenos de importancia médica (Caceres *et al.*, 1993). Sin embargo, los extractos obtenidos de las hojas también son excelentes candidatos para ser utilizados como bioplaguicida. Se reporta que los extractos metanólicos causan hasta un 89% de efectos ovicidas en *Rhipicephalus sanguineus* Latreille y 100% en *Dermaceter nitens* Neunmann (Texeira-Pinto *et al.*, 2018). Los extractos etanólicos se han utilizado como repelentes para el control de *Bemisia tabaci*, donde se identificaron 15 compuestos mayoritarios, pero solo cuatro conocidos (10-hidroxifeofórbido a, feofórbido a, lupenona y siringarensinol), de los cuales, probablemente el efecto haya sido en sinergia y no por separado (Esquivel-Chi *et al.*, 2024). Por lo cual, el aislamiento y la caracterización de los compuestos bioactivos, así como las dosis para su aplicación son necesarios de investigar en estudios futuros (Texeira-Pinto *et al.*, 2018).

1.2.9 Influencia de las condiciones ambientales en las características morfológicas, moleculares y químicas de *M. glabra*

Se ha demostrado que el ambiente influye en la expresión de los caracteres morfológicos, moleculares y químicos de las plantas (Romero-Román *et al.*, 2021; Díaz *et al.*, 2016; Napier *et al.*, 2023; Calvo-Irabien *et al.*, 2014). Por ejemplo, a mayor precipitación y mayor

presencia de materia orgánica en el suelo, las plantas tienden a incrementar el tamaño y número frutos (Aleza *et al.*, 2018; Ouédraogo *et al.*, 2020). También se ha reportado que las diferentes condiciones ambientales en diferentes regiones geográficas influyen en la diversidad molecular del germoplasma de las plantas (Nafees *et al.*, 2015). Así mismo, el ambiente también influye en la variación y composición química de las plantas, formando ecotipos asociados a las condiciones del suelo y el tipo de clima presente en las regiones bioclimáticas (Martínez-Natarén *et al.*, 2014).

Algunos estudios sugieren que el ambiente influye en las características del fruto de *M. glabra*. Por ejemplo, las condiciones climáticas modifican la acidez, el tamaño y ancho de los frutos, variables que determinan su calidad (Gomes *et al.*, 2000). Mohammed, (2011) reporta que las condiciones edafoclimáticas influyeron en la productividad y las características de los frutos. Otro estudio reporta que las precipitaciones determinaron la composición de fenoles totales del fruto (Lima, 2005).

1.3 Hipótesis

Las condiciones ambientales de cada una de las regiones bioclimáticas del estado de Yucatán influyen en la variación de las características morfológicas y la diversidad genética de las poblaciones de *M. glabra*.

Los tratamientos pregerminativos aumentan la germinación de semillas, la emergencia y el crecimiento de plántulas de *M. glabra*.

La zona de colecta de hojas de *M. glabra* influye en la composición química y en los efectos acaricidas de los extractos etanólicos sobre *Tetranychus urticae*.

1.4 Objetivos

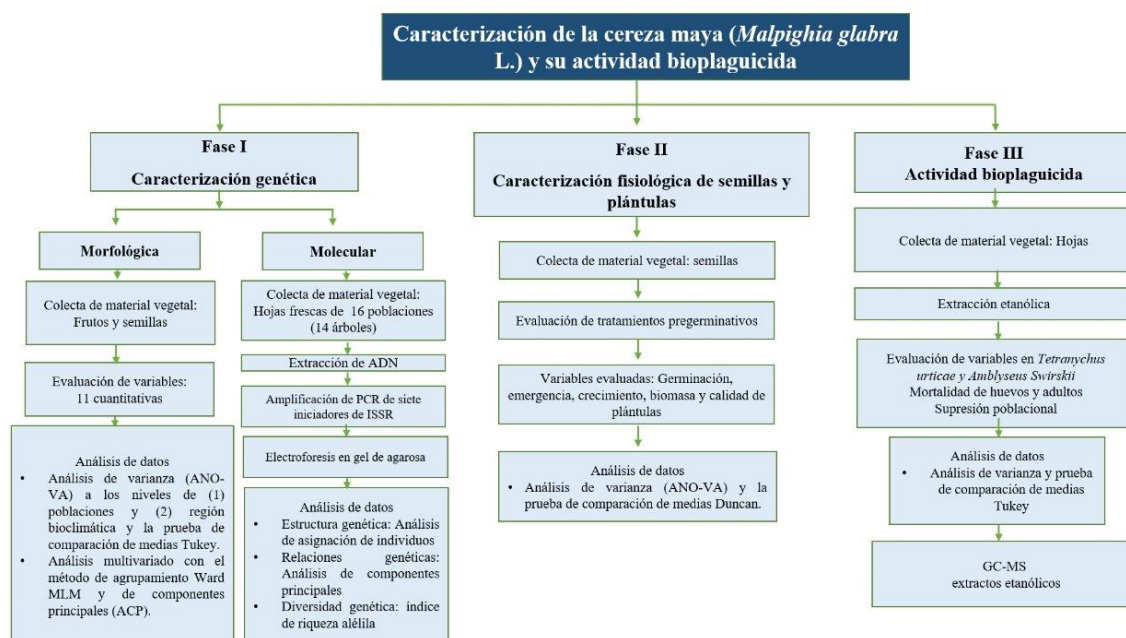
1.4.1 General

Evaluar la diversidad morfológica y genética, la respuesta fisiológica de la semilla y el efecto bioplaguicida de poblaciones de *Malpighia glabra* colectadas en cuatro regiones bioclimáticas de Yucatán.

1.4.2 Específicos

- Caracterizar la variación morfológica de frutos de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas de Yucatán.
- Evaluar la diversidad y estructura genética de poblaciones de *M. glabra* colectadas en cuatro regiones bioclimáticas de Yucatán mediante marcadores ISSR.
- Evaluar el efecto de tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas, emergencia y crecimiento de plántulas de *M. glabra*.
- Evaluar el efecto de los extractos etanólicos de hojas de poblaciones de *M. glabra* sobre *T. urticae* en condiciones de laboratorio e invernadero y determinar su compatibilidad con el ácaro depredador *Amblyseus swirskii*.

1.5 Procedimiento experimental



1.6 Literatura citada

- Akintan MO, Akinneye JO. 2020. Fumigant toxicity and phytochemical analysis of *Petiveria alliacea* (Linnaeus) leaf and root bark oil on adult *Culex quinquefasciatus*. Bulletin of the National Research Centre 44: 129. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00355-3>
- Aleza K, Villamor GB, Nyarko BK, Wala K, Akpagana K. 2018. Shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F.) fruit yield assessment and management by farm households in the Atacora district of Benin. PLOS ONE 13 (1): 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190234>
- Álvarez-Ríos GD, Pacheco-Torres F, Figueredo-Urbina CJ, Casas A. 2020. Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. Journal of Ethnobiology Ethnomedicine 16 (3): 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13002-020-0353-9>
- Amom T, Nongdam P. 2017. The use of molecular marker methods in plants: a review. International Journal of Current Research and Review 9 (17): 1–7. <https://doi.org/10.7324/IJCRR.2017.9171>
- Araújo PSR, y Minami K. 1994. Acerola. Campinas, SP, Brasil: Fundacao Cargill. 81p.

- Azerêdo GA, Matos PV, Lima AA, da Silva A, Guedes MA. 2006. Viabilidade de sementes de acerola (*Malpighia puniceifolia* DC) influenciada pelo substrato, temperatura e coloração de frutos. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 36 (1): 7–11.
- Azerêdo GA, Matos PV, Lopes PK, da Silva A, Rodrigues de FL. 2005. Viabilidade e vigor de sementes de acerola (*Malpighia puniceifolia*) submetidas à embebição sob diferentes temperaturas. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 35 (2): 81–84.
- Azerêdo GA, Matos VP, Germano MLAR, Lima AA. 1994. Efeito da temperatura e períodos de embebição na germinação de sementes de acerola (*Malpighia glabra* L.). In: XIII Congresso Brasileiro de Fruticultura. Salvador de Bahia, Brasil, pp. 68–69.
- Azevedo-Meleiro CH, Rodriguez-Amaya DB. 2004. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. *Journal of Food Composition and Analysis* 17 (3–4): 385–396. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.02.004>
- Balaji CJ, Mahendra SD, Kalyani M, Hanuman AM, Devendra P, Ghodke MK. 2022. Genetic diversity and molecular characterization of initial varietal trials of linseed lines using molecular markers (ISSR and SSR). *Pharma Innovation* 11 (6): 993–999.
- Bangarwa SK, Solanki BKL, Choudhary M, Choudhary MK. 2021. An introduction to DNA-markers and their role in crop improvement. *The Pharma Innovation Journal* 10 (7): 638–64.
- Barrera-Guzmán LA, Legaria-Solano JP, Ortega-Paczka R. 2020. Diversidad genética en poblaciones de razas de maíz mexicanas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43: 121–125.
- Bautista F. 2021. La clasificación maya de los suelos de la península de Yucatán. In: Bautista F. (ed.), *Los territorios cársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos*. Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst: Ciudad de México, México, pp: 39–51.
- Bautista ZF, Palacio G. 2011. Geografía de suelos regional: Península de Yucatán. In: Krasilnikov P, Jiménez NFJ, Reyna TT, García CNE. (eds.), *Geografía de los suelos de México*. Universidad Nacional Autónoma de México: México DF, pp: 355–405.
- Belwal T, Devkota HP, Hassan HA, Ahluwalia S, Ramadan MF, Mocan A, Atanasov AG. 2018. Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia spp.*) and its potential as functional food. *Trends in Food Science & Technology* 74: 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.014>

- Bhat TA, Hakeem KR. 2023. Biotechnologies and genetics in plant mutation breeding Volume 2 Revolutionizing Plant Biology. Apple Academic Press: Palm Bay, FL, USA, 290 p.
- Bicas JL, Molina G, Dionísio AP, Barros FFC, Wagner R, Maróstica MR, Pastore GM. 2011. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. Food Research International 44 (7): 1843–1855. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.012>
- Bitocchi E, Rau D, Bellucci E, Rodriguez M, Murgia ML, Gioia T, Santo D, Nanni L, Attene G, Papa R. 2017. Beans (*Phaseolus ssp.*) as a Model for Understanding Crop Evolution. Frontiers in Plant Science 8: 722. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00722>
- Caceres A, Lopez, B, Juarez X, Del Aguila J, Garcia S. 1993. Plants used in Guatemala for the treatment of dermatophytic infections. 2. Evaluation of antifungal activity of seven American plants. Journal of Ethnopharmacology 40 (3): 207–213. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(93\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0378-8741(93)90070-1)
- Calvo-Irabién LM, Parra-Tabla V, Acosta-Arriola V, Escalante-Erosa F, Díaz-Vera L, Dzib GR, Peña-Rodríguez LM. 2014. Phytochemical diversity of the essential oils of Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) populations along an edapho-climatic gradient. Chemistry and Biodiversity 11 (7): 1010–1021. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201300389>
- Carrillo L, Orellana R. 2004. Establecimiento de la colección de frutales nativos (no convencionales) en el Jardín Botánico Regional Xiitbal neek' del CICY. Amaranto 17 (2): 2–16.
- Cavalcante IHLC, Beckmann MZ, Martins ABG, Campos MCC. 2007. Preliminary selection of acerola genotypes in Brazil. Fruits 62: 27–34. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006046>
- Chesnokov YV, Kosolapov VM, Savchenko IV. 2020. Morphological Genetic Markers in Plants. Russian Journal of Genetics 56: 1406–1415. <https://doi.org/10.1134/S1022795420120042>
- Chowdhury AK, Yonemoto Y, Kato H, Macha MM. 2005. Classification of some acerola (*Malpighia glabra* Linn.) cultivars using morphometric descriptors and RAPD markers. Japanese Journal of Tropical Agriculture 49: 255-263 <https://doi.org/10.11248/jsta1957.49.255>

- Chukwu SC, Rafii MY, Ramlee SI, Ismail SI, Oladosu Y, Okporie E, Onyishi G, Utobo E, Ekwu L, Swaray S, Jalloh M. 2019. Marker-assisted selection and gene pyramiding for resistance to bacterial leaf blight disease of rice (*Oryza sativa* L.). *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 33 (1): 440–455. <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1584054>
- Colunga-García MP, May-Pat F. 1992. El sistema milpero y sus recursos fitogenéticos. In Zizumbo-Villareal D, Rasmussen Ch, Arias-Reyes LM, Terán-Contreras S. (eds.), *La Modernización de la milpa en Yucatán: Utopía o realidad*. CICY-DANIDA: Mérida, México, pp: 97-134.
- Costa LC, Pavani MDCM, Moro FV, Perecin D. 2003. Viabilidade de sementes de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.): avaliação da vitalidade dos tecidos. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25 (3): 532–534. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452003000300043>
- Cruz RG, Beney L, Gervais P, Lira SP, Vieira TMFSV, Dupont S. 2019. Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants musing an in vivo method with yeasts. *Food Chemistry* 277: 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.099>
- Dar AA, Mahajan R, Sharma S. 2019. Molecular markers for characterization and conservation of plant genetic resources. *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 89 (11): 1764–1772. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i11.95286>
- Dey K, Ghosh A, Bauri FK, Bhowmick N, Dey AN, Mishra DK, Das B. 2018. Barbados cherry: Agriculture, breeding, utilization and role in nutritional and economical security-A review. *Agricultural Reviews* 39 (2): 144-150. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1764>
- Diaz S, Kattge J, Cornelissen JHC, Wright IJ, Lavorel S, Dray S, Reu B, Kleyer M, Wirth C, Prentice IC, Garnier E *et al.* 2016. The global spectrum of plant form and function. *Nature* 529: 167–171. <https://doi.org/10.1038/nature16489>
- Dulay E, Santiago DM, Malabrigo P, Tiburan C, Codilan A, Balonga B, Galang M. 2022. Seed germination of selected economically important indigenous fruit trees. *Ecosystems and Development Journal* 12 (2): 65–74.
- Dutta P. 2018. Seed priming: new vistas and contemporary perspectives. In Rakshit A, Singh H. (eds.), *Advances in seed priming*. Springer: Singapore. pp. 3–22. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_1

- Egydio AP, Santos D. 2012. Fatty acid composition of seeds of three *Malpighia glabra* L. genotypes (Malpighiaceae). Boletim de Botânica da Univerdia de São Paulo 30 (1): 1–4.
- El-Baz FK, Mohamed AA, Aly AA. 2003. Development of biochemical markers for salt stress tolerance in cucumber plants. Pakistan Journal Biological Science 6 (1): 16–22. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.16.22>
- El-Hawary SS, El-Fitiany RA, Mousa OM, Salama AAA, Gedaily REA. 2020. Metabolic profiling and in vivo hepatoprotective activity of *Malpighia glabra* L. leaves. Journal of Food Biochemistry 45 (2): 13588. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13588>
- Ersoy N, Göktürk RS, Orhan E, Erkan M, Baktir İ, Samba's Hİ. 2023. Determination of genetic diversity among some naturally growing *Arbutus andrachne* L. genotypes in Türkiye using morphological, biochemical, and molecular markers. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 47 (6): 1130–1141. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3152>
- Esquivel-Chi MC, Ruiz-Sánchez E, Ballina-Gómez HS, Martín J, Reyes F, Carnevali G, Tapia-Muñoz JL, Gamboa-Angulo M. 2024. Repellent screening of ethanol extracts from plants of the Yucatan Peninsula against *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) and chemical profile of *Malpighia glabra* L. leaves. Journal of Plant Diseases and Protection 131: 811–821 <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00901-5>
- Fekry A, Elsabbagh W, Bakr AM, El-Ghazaly M, Mohamed A. 2021. Antioxidant activity of *Malpighia glabra* L., leaves extract. Azhar International Journal of Pharmaceutical and Medical Sciences 1 (2): 88–93. <https://doi.org/10.21608/AIJPMS.2021.59935.1042>
- Fernández-Concha GC, Tapia-Muñoz JL, Duno R, Ramírez IM. 2010. Flora ilustrada de la Península de Yucatán: Listado florístico. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida, México, pp:328.
- García-Hoyos A, Sánchez-Robles J, García-Hernández LA, León-González FD. 2011. Reproducción sexual e influencia de sustratos en el desarrollo de *Malpighia glabra* L. (Malpighiaceae). Polibotánica 32: 119–133.

- Germano MLAR, Matos VP, Azerêdo GA, Lima AA. 1994. Influência de diferentes substratos na germinação de sementes de acerola (*Malpighia glabra* L.). Congresso Brasileiro de Fruticultura. Salvador, BA, pp. 70–71.
- Gomes JE, Perecin D, Martins ABG, Almeida EJD. 2000. Variabilidade fenotípica em genótipos de acerola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35 (11): 2205–2211. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100012>
- Govindaraj M, Vetriventhan M, Srinivasan M. 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genetics research international* 431487: 1–14. <https://doi.org/10.1155/2015/431487>
- Hamasha HR, von Hagen KB, Röser M. 2012. Stipa (Poaceae) and allies in the Old World: molecular phylogenetics realigns genus circumscription and gives evidence on the origin of American and Australian lineages. *Plant Systematic and Evolution* 298: 351–367. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0549-5>
- Harshitha NS, Sandal SS. 2022. DNA fingerprinting and its applications in crop improvement: A review. *The Pharma Innovation International Journal* 11 (5S): 792–797.
- Huang TR, Chen JH, Hummer KE, Alice LA, Wang WH, He Y, Yu SX, Yang MF, Chai TY, Zhu XY, Ma LQ, Wang H. 2023. Phylogeny of *Rubus* (Rosaceae): Integrating molecular and morphological evidence into an infrageneric revision. *Taxon* 72 (2): 278–306. <https://doi.org/10.1002/tax.12885>
- Ito A, Kajiwarra Y, Kanmera S, Ishihata K, Harada K, Ogata T, Kubo T, Tominaga S, Yamamoto M. 2014. Identification of Acerola (*Malpighia glabra* L.) Accessions by SRAP Markers. *Tropical Agriculture and Development* 58 (1): 30–32.
- Jiménez-Osornio J, Pastrana D, Molina A, Ruenes MR, Montañez P, Lendecky Á. 2018. Sustainable agriculture through resurrecting indigenous fruits in Yucatán. *In* Scherrer C, Verma S. (eds.), *Decent Work Deficits in Southern Agriculture: Measurements, Drivers and Strategies*. Rainer Hampp Verlag: Augsburg, Germany, pp: 305–322.
- Jiménez-Rojas MI, Martínez-Castillo J, Potter D, Dzib GR, Ballina-Gómez HS, Latournerie-Moreno L, Andueza-Noh RH. 2019. Morphological diversity of huaya india fruits (*Melicoccus*

- oliviformis* Kunth) in the Maya lowlands. *Genetic Resource and Crop Evolution* 66: 513–522. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-00731-z>
- Johnson PD. 2003. Acerola (*Malpighia glabra* L., *M. puniceifolia* L., *M. emarginata* D.C.): agriculture, production and nutrition. *World Review Nutrition and Dietetics* 91: 67–75. <https://doi.org/10.1159/000069930>
- Kawaguchi M, Tanabe H, Nagamine K. 2007. Isolation and characterization of a novel flavonoid possessing a 4, 2 "-glycosidic linkage from green mature acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 71 (5): 1130–1135. <https://doi.org/10.1271/bbb.60513>
- Khare C. 2007. *Malpighia glabra* Linn. In Khare C. (ed.), *Indian Medicinal Plant*. Springer, New York, NY.
- Kidyoo A, Kidyoo M. 2023. Molecular phylogenetic and morphological analyses support recognition of a new species of *Vincetoxicum* (Apocynaceae, Asclepiadoideae) from eastern Thailand. *Plant Systematics and Evolution* 309 (27): 1–46. <https://doi.org/10.1007/s00606-023-01866-y>
- Korpelainen H. 2023. The role of home gardens in promoting biodiversity and food security. *Plants* 12 (13): 2473. <https://doi.org/10.3390/plants12132473>
- Kumar A, Longmei N, Kumar P, Kaushik P. 2022. Molecular marker analysis of genetic diversity in maize: A review. *OBM Genetics* 6 (1): 1–19. <https://doi.org/10.21926/obm.genet.2201150>.
- Kumar S, Bhajipale NS, Sanghai DB, Padgilwar S. 2017. Phytochemical and pharmacological overview of acerola cherry: A review. *International Journal of Research in AYUSH Pharmaceutical Sciences* 1 (1): 69–72.
- Laskowski L, Bautista D. 2003. Estudio fenológico del crecimiento y desarrollo de la plántula de semeruco *Malpighia emarginata* DC. *Bioagro* 15 (3): 183–191.
- Lima V, Melo E, Maciel MI, Prazeres F, Musser R, Lima D. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. *Food Chemistry* 90 (4): 565–568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.014>

- Lira R, Eguiarte L, Montes S, Zizumbo-Villarreal D, Marín PC-G, Quesada M. 2016. *Homo sapiens* – Cucurbita interaction in Mesoamerica: Domestication, Dissemination, and Diversification. In Lira R, Casas A, Blancas J. (eds.), *Ethnobotany of Mexico*. Ethnobiology. Springer: New York, NY, pp: 389–401. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_15
- Liu JQ, Deng YY, Li TZ, Han Q, Li Y, Qiu MH. 2014. Three new tetranorditerpenes from aerial parts of acerola cherry (*Malpighia emarginata*). *Molecules* 19 (2): 2629–2636. <https://doi.org/10.3390/molecules19022629>
- Maldonado-Peralta MA, Gabino-García S, García-Nava JR, Corona-Torres T, Cetina VM, Ramírez-Herrera C. 2016. Calidad morfológica de frutos y endocarpios del nanche rojo (*Malpighia mexicana*, Malpighiaceae). *Acta Botánica Mexicana* 117: 37–46. <https://doi.org/10.21829/abm117.2016.1166>
- Mañourová A, Chinye IP, Kalousová M, Ruiz-Chután JA, Okafor UC, Tchoundjeu Z, Tsobeng A, Van Damme P, Lojka B. 2023. Domestication potential of *Garcinia kola* Heckel (Clusiaceae): Searching for Diversity in South Cameroon. *Plants* 12 (4): 742. <https://doi.org/10.3390/plants12040742>
- Martínez MA, Morillo AC, Reyes-Ardila W. 2020. Characterization of the genetic diversity in *Passiflora spp.* in the Boyacá Department, Colombia. *Chilean journal of agricultural research* 80 (3): 342–351. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000300342>
- Martínez-Natarén DA, Parra-Tabla V, Ferrer-Ortega MM, Calvo-Irabién LM. 2014. Genetic diversity and genetic structure in wild populations of Mexican oregano (*Lippia graveolens* H.B.K.) and its relationship with the chemical composition of the essential oil. *Plant Systematics and Evolution* 300: 535–547. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0902-y>
- Medina-García G, Zegbe JA, Ruiz-Corral JA, Casa-Flores JI, Rodríguez-Moreno VM. 2021. Influencia del cambio climático en los requerimientos térmicos del nopal tunero (*Opuntia spp.*) en el Centro-Norte de México. *Revista bio ciencias* 8: e1007. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1007>

- Mendes AMS, de Oliveira AR, Texeira AHC, Batos DC, Batista DC, Angelotti F, Leal IM, Oliveira JRP, do Anjos JB, Flori JE, Oliveira JEM *et al.* 2012. Coleção Plantar: acerola (Third edition). Brasília: Embrapa Semiárido. pp: 62–68
- Miyashita RK, Nakasone HY, Lamoureux CH. 1964. Reproductive morphology of acerola (*Malpighia glabra* L.). Technical bulletin / Hawaii Agricultural Experiment Station: Honolulu, HI, pp: 31.
- Mohammed M. 2011. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). In Yahia EM. (ed.), Postharvest biology and Technology of tropical and subtropical fruits. Woodhead Publishing Limited: Sawston, UK, pp: 27–47.
- Mondini L, Noorani A, Pagnotta MA. 2009. Assessing plant genetic diversity by molecular tools. *Diversity* 1(1): 19–35. <https://doi.org/10.3390/d1010019>
- Montañez-Escalante P, Ruenes-Morales M, Ferrer-Ortega M, Estrada-Medina H. 2014. Los Huertos familiares Maya-Yucatecos: Situación actual y perspectiva en México. *Ambienta* 107: 100–109.
- Morillo-Coronado A, Manjarres-Hernández E, Pedreros-Benavides M. 2022. Genetic diversity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Cundinamarca, Colombia. *Plant Genetic Resources* 20(3): 223–229. <https://doi.org/10.1017/S1479262123000060>
- Morrone JJ, Escalante T, Rodríguez-Tapia G. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa* 4277: 277–279. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Musser RS, Couceiro EM, Albuquerque MH. 1986. Efeito do ácido naftaloacético no enraizamento de estacas semi-lenhosas de acerola (*Malpighia glabra* L.) em sistema de micro-aspersão. UFRPE: Recife, PE, 9 p.
- Nafees M, Jaskani MJ, Ahmed S, Awan FS. 2015. Morpho-molecular characterization and phylogenetic relationship in pomegranate germplasm of Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 52 (1): 97.
- Nakasone HY, Yamane GM, Miyashita RK. 1968. Selection, evaluation and naming of acerola (*Malpighia glabra* L.) cultivars. Honolulu: University of Hawaii, pp: 19.

- Napier JD, Heckman RW, Juenger TE. 2023. Gene-by-environment interactions in plants: Molecular mechanisms, environmental drivers, and adaptive plasticity. *The Plant Cell* 35 (1): 109–124. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac322>
- Nascimento, E. M. M., Rodrigues, F. F. G., Costa, W. D., Teixeira, R. N. P., Boligon, A. A., Sousa, E. O., Rodrigues, F. F. G., Coutinho, H. D. M., & da Costa, J. G. M. 2018. HPLC and in vitro evaluation of antioxidant properties of fruit from *Malpighia glabra* (Malpighiaceae) at different stages of maturation. *Food and Chemical Toxicology* 119: 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.11.042>
- Nascimento PHD, Souza SS, de França Souza F, de Melo NF. 2024. Genetic diversity among acerola accessions collected in different states of Brazil using ISSR markers. *Research Square* 1:1–15. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4289993/v1>
- Ng WL, Tan SG. 2015. Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) markers: are we doing it right?. *ASM Science Journal* 9(1): 30–39.
- Nieto-Angel R, Borys MW. 2008. Germoplasma y usos del tejocote en México. In Cruz JG, Torres PA. (eds.), *Enfoques tecnológicos en la fruticultura: Un tributo a Raúl Mosqueda*. Universidad Autónoma de Chapingo: México, pp: 442.
- Nkongolo K, Alamri S, Michael P. 2021. Molecular characterization of soybean (*glycine max*) accessions from the international collection of the plant gene resources of Canada: germplasm identification. *Journal of Crop Improvement* 35(5): 722–744. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1875279>
- Nowak D, Gośliński M, Wojtowicz E, Przygoński K. 2018. Antioxidant properties and phenolic compounds of vitamin C-rich juices. *Journal of Food Science* 83 (8): 2237–2246. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14284>
- Nunes RS, Kahl VFS, Sarmiento MS, Richter MF, Abin-Carriquiry JA, Martinez MM, Ferraz ABF, Da Silva J. 2013. Genotoxic and antigenotoxic activity of acerola (*Malpighia glabra* L.) extract in relation to the geographic origin. *Phytotherapy Research* 27 (10): 1495–1501. <https://doi.org/10.1002/ptr.4896>

- October S, Ansari A, Jaikishun S, Gupta R. 2024. Mineral profiling and antimicrobial effects of the west Indian cherry (*Malpighia emarginata* DC.) fruit extracts against selected pathogenic bacteria. *Journal of Advances in Microbiology* 24 (1): 66–75. <https://doi.org/10.9734/jamb/2024/v24i1787>
- Olatunji TL, Afolayan AJ. 2019. Evaluation of genetic relationship among varieties of *Capsicum annum* L. and *Capsicum frutescens* L. in West Africa using ISSR markers. *Heliyon* 5 (5): e01700. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01700>
- Olędzki R, Harasym J. 2024. Acerola (*Malpighia emarginata*) Anti-Inflammatory Activity—A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 25 (4): 2089. <https://doi.org/10.3390/ijms25042089>
- Orellana R, Balam M, Bañuelos I, García E, González-Iturbe JA, Herrera F, Vidal J. 1999. Evaluación climática. *En* García de FA, Córdoba OJ, Chico PLP. (eds.). *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán: Mérida, Yucatán, México, pp: 162–182.
- Orellana LR, Espadas MC, Nava MF. 2010. Climas. *In* Durán R, Méndez M. (eds.), *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma: Mérida, Yucatán, pp. 10–11.
- Ouédraogo S, Bondé L, Ouédraogo O, Ouédraogo A, Thiombiano A, Boussim IJ. 2020. To what extent do tree size, climate and land use influence the fruit production of *Balanites aegyptiaca* (L) delile in tropical areas (Burkina Faso)? *International Journal of Fruit Science* 20 (3): 282–299. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1619216>
- Paran I, Michelmore RW. 1993. Development of reliable PCR-based markers linked to downy mildew resistance genes in lettuce. *Theoretical and Applied Genetics* 85: 985–993. <https://doi.org/10.1007/BF00215038>
- Pérez-Mendoza C, Tovar-Gómez MR, Obispo-González Q, Legorreta-Padilla FJ, Ruiz-Corral JA. 2016. Recursos genéticos del algodón en México: conservación y uso ex situ e in situ. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (1): 5–16.

- Rathore SM, Tiwari S, Tripathi MK, Gupta N, Yadav S, Singh S, Tomar RS. 2023. Genetic diversity analysis of groundnut germplasm lines in respect to early and late leaf spot diseases and biochemical traits. *Legume Research* 46 (11): 1439–1444. <https://doi.org/10.18805/LR-4833>.
- Reuveni R. 1995. Biochemical markers for disease resistance. In Singh RP, Singh US. (eds.), *Molecular methods in plant pathology*. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp: 99–114.
- Rhimi A, Mnasri S, Ben AR. 2019. Genetic relationships among subspecies of *Capparis spinosa* L. from Tunisia by using ISSR markers. *Molecular Biology Reports* 46: 2209–2219. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04676-z>
- Rieseberg LH, Ellstrand NC, Arnold M. 1993. What can molecular and morphological markers tell us about plant hybridization? *Critical Reviews in Plant Sciences* 12 (3): 213–241. <https://doi.org/10.1080/07352689309701902>
- Romero-Román ME, Schoebitz M, Bastías RM, Fernández PS, García-Viguera C, López-Belchi MD. 2021. Native species facing climate changes: Response of calafate berries to low temperature and UV radiation. *Foods* 10 (1): 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods10010196>
- Rymbai H, Jha AK, Deshmukh NA, War GF, Paul D, Patel RS. 2014. Barbados cherry (*Malpighia glabra* L.). Breeding of underutilized fruit crops, pp: 1-12.
- Salgotra RK, Chauhan BS. 2023. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes* 14 (1): 174. <https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- Salla MFS, Ruas CDF, Ruas PM, Carpentieri-Pípolo V. 2002. Uso de marcadores moleculares na análise da variabilidade genética em acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). *Revista Brasileira de Fruticultura* 24 (1): 15–22. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100005>
- Segura S, Fresnedo J, Mathuriau C, López J, Andrés J, Muratalla A. 2018. The edible fruit species in Mexico. *Genetic Resources Crop Evolution* 65 (6): 1767–1793. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0652-3>
- Seka D, Kouago BA, Bonny BS. 2023. Assessment of the variability of the morphological traits and differentiation of *Cucurbita moschata* in Cote d'Ivoire. *Scientific Reports* 13 (1): 3689. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30295-7>

- Sher A, Sarwar T, Nawaz A, Ijaz M, Sattar A, Ahmad S. 2019. Methods of seed priming. *In* Hasanuzzaman M, Fotopoulos V. (eds.), Priming and pretreatment of seeds and seedlings. Springer: Singapore, pp: 1-10. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_1
- Sivieri K. 2018. Acerola. *In* Sáyago S, Álvarez E. (eds.), Alimentos vegetales autóctonos iberoamericanos subutilizados. Fabro. 230 p.
- Soltabayeva A, Engata A, Omondi JO, Srivastava S. 2021. Morphological, physiological and molecular markers for salt-stressed plants. *Plants* 10 (2): 243. <https://doi.org/10.3390/plants10020243>
- Sonnino A. 2017. International instruments for conservation and sustainable use of plant genetic resources for food and agriculture: an historical appraisal. *Diversity* 9 (4): 50. <https://doi.org/10.3390/d9040050>
- Stuber CW. 1992. Biochemical and molecular markers in plant breeding. *Plant Breeding Reviews* 9: 37-61.
- Teixeira-Pinto Z, Ferreira-Carneiro J, Carriço C, Leal-Caetano R, Baia-Ferreira VdosS, Martins-Mendonça P, Rangel-Berenger AL, Figueiredo MR. 2018. Efecto acaricida de siete extractos de plantas brasileñas. *Revista Colombiana de Entomología* 44 (1): 44–47. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6541>
- Torres-Contreras AM, Garcia-Baeza A, Vidal-Limon HR, Balderas-Renteria I, Ramírez-Cabrera MA, Ramirez-Estrada K. 2022. Plant secondary metabolites against skin photodamage: Mexican plants, a potential source of UV-Radiation protectant molecules. *Plants* 11 (2): 220. <https://doi.org/10.3390/plants11020220>
- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87 (3): 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Yadav P, Yadav KK, Bhagyawant SS. 2022. Molecular assessment of wild and cultivated cicer species using ISSR markers. *Ecological Genetics and Genomics* 25: 100137. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2022.100137>
- Zavala GF. 2006. La conservación de los recursos fitogenéticos de México. *Ciencia UANL*. 9 (2): 115-123.

Zietkiewicz E, Rafalski A, Labuda D. 1994. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics* 20 (2): 176–183.
<https://doi.org/10.1006/geno.1994.1151>

II. CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE *Malpighia glabra* L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN

(Artículo publicado en la revista polibotánica: Núm. 58: 209-223 DOI: 10.18387/polibotanica.58.15)

Monserrat Concepción Esquivel-Chi¹, Rubén Humberto Andueza-Noh, Esaú Ruíz-Sánchez, Marcela Gamboa-Angulo, René Garruña, Angel Manuel Herrera-Gorocica, Daniel Potter, Emanuel Hernández-Núñez y Gabriel Rolando Dzib

1. monserrat.esquivel@itconkal.edu.mx

DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.58.15>

Resumen: *Malpighia glabra* es una especie frutal silvestre ampliamente distribuida en Yucatán, la cual es desaprovechada debido a la falta de conocimiento sobre sus propiedades. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar morfológicamente los frutos de *M. glabra* en estado silvestre de dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán. Para esto, un total de 120 frutos de cuatro poblaciones silvestres de *M. glabra* fueron colectados en el estado de Yucatán. Estos frutos se caracterizaron morfológicamente mediante 11 variables que incluyeron el peso de fruto (g), diámetro polar de fruto (mm), diámetro ecuatorial de fruto (mm), índice de forma de fruto, frutos por axila, sólidos solubles totales (°Brix), peso de semilla (g), diámetro polar de semilla (mm), diámetro ecuatorial de semilla (mm), espesor de semilla (mm) e índice de forma de semilla. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza, y las relaciones morfológicas entre las poblaciones se evaluaron mediante análisis de componentes principales (ACP), y de conglomerados por el método UPGMA utilizando la distancia de similitud de Gower. Los frutos de *M. glabra* presentaron forma de oblato. En general, se observó diferencia estadística entre las variables morfológicas evaluadas. Los análisis multivariados de ACP y UPGMA permitieron la formación de tres grupos, siendo las variables de peso de fruto, diámetro polar de fruto, diámetro ecuatorial de fruto, sólidos solubles totales y frutos por axila las que contribuyeron más en la diferenciación de los grupos. Los tres primeros componentes principales explicaron 89.42% de la variación total acumulada entre los grupos.

Palabras clave: acerola, recurso fitogenético, región bioclimática, sólidos solubles totales

Summary: *Malpighia glabra* is a wild fruit species widely distributed in Yucatan, however, it is underutilized due to the lack of knowledge about its properties. Therefore, the objective of this research was to morphologically characterize the fruits of wild *M. glabra* from two bioclimatic regions of the Yucatán state. For this, a total of 120 fruits from four wild populations of *M. glabra* were collected in the Yucatan state. Fruits were morphologically characterized using 11 traits that included fruit weight (g), fruit polar diameter (mm), fruit equatorial diameter (mm), fruit shape index, fruits per axil, total soluble solids (°Brix), seed weight (g), polar seed diameter (mm), equatorial seed diameter (mm), seed thickness (mm) and seed shape index. The data were analyzed by analysis of variance, and morphological relationships between populations were evaluated by principal component analysis (PCA) and cluster analysis by the UPGMA method using Gower's similarity distance. The fruits of *M. glabra* presented an oblate shape. In general, statistical difference was observed between the morphological traits evaluated. Multivariate analysis of PCA and UPGMA allowed the formation of three groups, with the variables of fruit weight, fruit polar diameter, fruit equatorial diameter, total soluble solids and fruits per axil being the ones that contributed the most in the differentiation of groups. The first three principal components explained 89.42% of the cumulative variation between the groups.

Keywords: acerola, plant genetic resource, bioclimatic region, total soluble solids

III. CAPÍTULO 3. STRUCTURE AND GENETIC DIVERSITY OF WILD POPULATIONS OF *Malpighia glabra* L. FROM YUCATÁN, MEXICO (Artículo sometido a la revista *Molecular Biology Reports*)

Montserrat Concepción Esquivel-Chi¹, Rubén Humberto Andueza-Noh², Esaú Ruíz-Sánchez¹, Marcela Gamboa-Angulo, Daniel Potter, Emanuel Hernández-Núñez, René Garruña, Gabriel Rolando Dzib

1. monserrat.esquivel@itconkal.edu.mx
2. ruben.andueza@itconkal.edu.mx

Abstract

Background. *Malpighia glabra* (Malpighiaceae), a wild fruit tree native to the Yucatan Peninsula, Mexico and economically important in countries such as Brazil and Japan. Its fruits are one of the richest natural sources of vitamin C and bioactive compounds. The aim of this study was to evaluate the diversity and genetic structure of wild populations of *M. glabra* collected in different bioclimatic regions of Yucatan, Mexico.

Methods and Results. Genomic DNA was extracted from leaves from 14 individuals in each of 16 populations of *M. glabra* collected from four bioclimatic regions in Yucatan state, and seven ISSR markers were amplified by PCR to analyze genetic diversity. UPGMA and PCoA results revealed two genetic clusters. The greatest genetic variation was found within populations (52%) and within genetic clusters (62%). Population 1 was the most diverse and at the bioclimatic region level, diversity was greatest in the intermediate warm subhumid region. **Conclusions.** ISSR markers showed high levels of polymorphic loci and moderate to high genetic diversity. The high level of genetic diversity in the bioclimatic regions and genetic groups of wild *M. glabra* indicates that these valuable genetic resources should be conserved and deployed in species conservation and enhancement strategies.

Keywords: Acerola, Bioclimatic region, ISSR markers, Yucatán Peninsula

IV. CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *Malpighia glabra* L.

(Artículo sometido en la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems)

Montserrat C. Esquivel-Chi¹, Rubén Andueza-Noh², René Garruña, Angel M. Herrera-Gorocica, Esaú Ruíz-Sánchez, Marcela Gamboa-Angulo, Daniel Potter, Emanuel Hernández-Núñez

1. monserrat.esquivel@itconkal.edu.mx
2. ruben.andueza@itconkal.edu.mx

Resumen

Antecedentes. *Malpighia glabra* es una especie frutal nativa, con gran potencial nutrimental y económico a la cual se le atribuyen diversas actividades biológicas. Sin embargo, presenta serios problemas relacionados con su germinación. **Objetivo.** Evaluar la respuesta fisiológica de las semillas y plántulas de *M. glabra* sometidas a cuatro tratamientos pregerminativos. **Metodología.** Los tratamientos pregerminativos utilizados fueron: 1) testigo (agua), 2) inmersión en agua a 60°C por 5 min, 3) inmersión en agua por 48 h, 4) inmersión en ácido giberélico (AG₃) por 48 h. La germinación, emergencia y el crecimiento de las plántulas se evaluaron hasta los 45 días. **Resultados.** La inmersión en AG₃ provocó retraso en la germinación, sin embargo, afecto positivamente en el tamaño y peso seco de las hojas. Los tratamientos que presentaron mayor valor de emergencia fueron inmersión en agua con 45% y choque térmico con 40%, también presentaron los valores mayores en peso seco de tallo y raíz. **Implicación.** Los tratamientos pregerminativos son una opción accesible y económica para mejorar la germinación de semillas de *M. glabra*. **Conclusión.** Los tratamientos no influyeron en el porcentaje de la germinación final. Sin embargo, la inmersión en agua y la inmersión en agua caliente obtuvieron los mayores porcentajes de emergencia y peso seco de tallo y raíz.

Palabras clave: acerola, recurso fitogenético, inmersión en agua caliente, plántulas.

Summary

Background. *Malpighia glabra* is a native fruit species, with great nutritional and economic potential to which several biological activities are attributed. However, it presents serious problems related to its germination. **Objective.** To evaluate the physiological response of *M. glabra* seeds and seedlings subjected to four pregermination treatments. **Methodology.** The pregerminative treatments used were: 1) control (water), 2) immersion in water at 60°C for 5 min, 3) immersion in water for 48 h, 4) immersion in gibberellic acid (AG₃) for 48 h. Germination, emergence and growth of seedlings were evaluated up to 45 days. **Results.** Immersion in AG₃ caused delays in germination, but had a positive effect on the size and dry weight of the leaves. The treatments that resulted in the highest emergence value were water immersion with 45% and thermal shock with 40%, they also resulted the highest values in dry weight of stem and root. **Implication.** Pregerminative treatments are an accessible and economical option to improve the germination of *M. glabra* seeds. **Conclusion.** The treatments did not influence the final germination percentage. However, water immersion and hot water immersion yielded the highest germination percentages and stem and root dry weight.

Keywords: acerola, plant genetic resource, hot water immersion, seedlings.

V. **CAPÍTULO 5. ACARICIDAL ACTIVITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF *Malpighia glabra* ON PHYTOPHAGOUS *Tetranychus urticae* AND ITS PREDATOR *Amblyseus swirskii***

(Artículo sometido en la revista *Journal of Plant Diseases and Protection*)

Montserrat C. Esquivel-Chi¹, Esaú Ruiz-Sánchez², Marcela Gamboa-Angulo³, Rubén H. Andueza Noh, Marcos E. Cua-Basulto, Angel M. Herrera-Gorocica, René Garruña-Hernández, Germán Giácoman-Vallejos, Avel A. González-Sánchez, Kati B. Medina-Dzul

1. monserrat.esquivel@itconkal.edu.mx
2. esau.rs@conkal.tecnm.mx
3. mmarcela@cicy.mx

Abstract

Tetranychus urticae, one of the most damaging agricultural pests, is conventionally controlled with acaricides, but acaricide-resistant populations have emerged. Insecticidal plant extracts have emerged as an excellent alternative. Here, we evaluated the effects of ethanolic extracts (0.2% w/v in water-0.5% Tween 20) of *M. glabra* leaves, from Chicxulub Puerto (CHI), Izamal (IZA), Tetiz (TET), and Tixcacaltuyub (TIX) in the Yucatan Peninsula, on *T. urticae* in the laboratory and greenhouse and determined their compatibility with the predatory mite *A. swirskii*. Ethanolic extracts were analyzed with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); six metabolites were identified, with α -tocospiro A, α -tocopherol, and β -sitosterol comprising the majority of compounds in all extracts. In laboratory bioassays, using acaricide-immersed leaves, extracts CHI and TET killed 80–90% of adults and 90–97% of eggs of *T. urticae*, and in acaricide-coated glass vials, these extracts killed 80–95% of adults of *A. swirskii* after 48 h of exposure. When greenhouse plants were sprayed with extracts CHI, TET or TIX, the population density of nymphs and adults of *T. urticae* was lower on day 7, but not on day 14.

Key words: Twospotted spider mite, toxicity, botanical extracts, tocopherol, phytosterols

VI. CAPÍTULO 6. CONCLUSIÓN GENERAL

Los marcadores morfológicos y moleculares demostraron su eficiencia en la evaluación y caracterización de la diversidad genética de poblaciones silvestres de *M. glabra* colectadas en cuatro regiones bioclimáticas del estado de Yucatán, y permitieron observar que las condiciones ambientales presentes (principalmente la precipitación) en cada una de las regiones, influyeron en la variación de las características morfológicas y la diversidad genética de las poblaciones de *M. glabra*. Las diferencias ambientales entre regiones influyeron en el flujo génico y promovieron la divergencia genética. Esta variabilidad refleja el proceso de adaptación local, y la formación de diferentes grupos genéticos que dependió de los marcadores utilizados (morfológicos y moleculares).

Por otra parte, los tratamientos pregerminativos no influyeron en la germinación final de semillas de *M. glabra*, sin embargo, el ácido giberélico (AG₃) retardó la germinación. Así mismo, la inmersión de semillas de *M. glabra* en agua caliente y en agua durante 48 h, aumentó los porcentajes de emergencia y crecimiento de plántulas bajo condiciones de invernadero. El agua caliente y el AG₃ presentaron el índice de Dickson más alto y la mayor tasa de crecimiento relativo del área foliar, variables atribuidas a la calidad de las plántulas producidas en invernadero. Por lo tanto, los tratamientos pregerminativos utilizados en este estudio representan una opción para optimizar la propagación de plántulas de *M. glabra* en invernadero.

La composición y concentración de metabolitos encontrados en cada uno de los cuatro extractos etanólicos de hojas de *M. glabra*, presentó diferencias asociadas al origen de cada sitio de colecta, que representan a cada una de las regiones bioclimáticas del estado de Yucatán. La composición y concentración de los metabolitos influyó directamente en los efectos acaricidas que se presentaron sobre las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *T. urticae* bajo condiciones de laboratorio e invernadero. Así mismo, también influyó en los altos efectos tóxicos que causaron los cuatro extractos sobre el ácaro depredador *A. swirskii*. Esto indica que las condiciones ambientales de cada sitio de colecta influyen en la biosíntesis de metabolitos secundarios, determinando así el potencial bioplaguicida de *M. glabra*.

Finalmente, este estudio realizado en la cereza maya, constituye uno de los primeros trabajos que valorizan este importante recurso fitogenético del estado de Yucatán, sentando las bases para futuras investigaciones y su posible aprovechamiento en programas de conservación.