

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

**MORPHOLOGICAL
CHARACTERIZATION OF *Malpighia
glabra* L. FRUITS IN TWO
BIOCLIMATIC REGIONS FROM
YUCATÁN STATE**

Esquivel-Chi, Monserrat Concepción; Rubén Humberto Andueza-Noh; Esaú Ruíz-Sánchez; Marcela Gamboa-Angulo; Angel Manuel Herrera-Gorocica; Daniel Potter; Emanuel Hernández-Núñez y Gabriel R. Dzib

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

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Malpighia glabra* L. FRUITS IN TWO BIOCLIMATIC REGIONS FROM YUCATÁN STATE



Caracterización morfológica de frutos de *Malpighia glabra* L. en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán

Morphological characterization of *Malpighia glabra* L. fruits in two bioclimatic regions from Yucatán state

Monserrat Concepción Esquivel Chi; Rubén Humberto Andueza-Noh; Esaú Ruíz-Sánchez; Marcela Gamboa-Angulo; Angel Manuel Herrera-Gorcica; Daniel Potter; Emanuel Hernández-Núñez y Gabriel R. Dzib

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

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Malpighia glabra* L. FRUITS IN TWO BIOCLIMATIC REGIONS FROM YUCATÁN STATE

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 209-223. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.15

Monserrat Concepción Esquivel-Chi

Autor de correspondencia: monserrat.esquivel@itconkal.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2200-4147>

Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal, Conkal, Yucatán, México

Rubén Humberto Andueza-Noh <http://orcid.org/0000-0001-7776-7937>

Conahcyt-Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal, Conkal, Yucatán, México

Esaú Ruíz-Sánchez <https://orcid.org/0000-0003-0245-3305>

Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal, Conkal, Yucatán, México

Marcela Gamboa-Angulo <https://orcid.org/0000-0002-0618-0335>

Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

René Garruña <https://orcid.org/0000-0003-2787-0914>

Conahcyt-Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal, Conkal, Yucatán, México

Angel Manuel Herrera-Gorcica <https://orcid.org/0000-0001-8189-1260>

Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas, México

Daniel Potter <https://orcid.org/0000-0002-9855-0355>

Department of Plant Sciences, University of California, Davis, USA

Emanuel Hernández-Núñez <https://orcid.org/0000-0002-7467-7538>

Departamento de Recursos del Mar, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México

Gabriel Rolando Dzib <https://orcid.org/0009-0000-7508-5860>

Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

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

ABSTRACT: *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.

Key words: acerola, plant genetic resource, bioclimatic region, total soluble solids.

INTRODUCCIÓN

Malpighia glabra L. es una fruta de color rojo brillante similar a una cereza común, pertenece a la familia Malpighiaceae la cual se distribuye de forma natural en América Central y Sudamérica, y en México se encuentra en el sureste (Anderson, 2013; Torres-Contreras *et al.*, 2022). Presenta sinonimia con *Malpighia puniceifolia* L. y *Malpighia emarginata* DC. (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. *M. glabra* ha demostrado ser una de las fuentes naturales más ricas de vitamina C de todo el mundo (Tena-Meza *et al.*, 2021), también es rica en carotenoides, antocianinas, fenoles y otros compuestos bioactivos que le han conferido propiedades nutraceuticas, así como actividad biológica como fuente de insecticida o fungicida (Hoang *et al.*, 2022). En los frutos, se ha reportado su actividad probiótica (Menezes *et al.*, 2021), antioxidante (Nascimento *et al.*, 2018) y antigenotóxica (Da Silva Nunes *et al.*, 2013). En las hojas, también se ha reportado como antioxidante (Fekry *et al.*, 2021), hepatoprotectora (El-Hawary *et al.*, 2021), antifúngica (Cáceres *et al.*, 1993), acaricida (Pinto *et al.*, 2018) e insecticida (Esquivel-Chi *et al.*, 2024). Además, hay reportes que indican que tanto el fruto como las hojas tienen potencial para el tratamiento del covid-19 (Macêdo *et al.*, 2022; Pasa *et al.*, 2022).

La especie *M. glabra* se adapta con facilidad a diferentes tipos de suelo, es tolerante a la sequía y es una planta que puede resistir a las condiciones del cambio climático, como son el aumento en la temperatura (Jasmitha & Honnabyraiah, 2021). Actualmente, la preocupación mundial por la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible, nos hace prestarle atención a esta fruta como un excelente recurso natural de gran valor nutricional (Okigbo *et al.*, 2021). En México, *M. glabra* es una especie frutal nativa, que se encuentra en estado silvestre (Segura *et al.*, 2018), esta especie se consideró un recurso fitogenético importante para la población maya durante la época prehispánica cuando los pobladores consumían los frutos y

mantenían las plantas de *M. glabra* en sus traspatios (Jiménez-Osornio *et al.*, 2018). Cuenta con amplia distribución en Yucatán y con base en evidencias lingüísticas se cree que se originó en la Península de Yucatán (Chowdhury *et al.*, 2005; Kumar *et al.*, 2017). Sin embargo, en esta región no se cultiva y actualmente es poco consumida debido al desconocimiento de sus propiedades.

Los pocos estudios realizados hasta el momento, con el propósito de describir la diversidad morfológica de *M. glabra* para su fitomejoramiento, han sido desarrollados en variedades cultivadas de Japón (Chowdhury *et al.*, 2005) y Brasil (Brunini *et al.*, 2004; Cavalcante *et al.*, 2007), donde se ha reportado una gran diversidad genética. En México no existen trabajos de diversidad morfológica de *M. glabra* y solo se encuentra un trabajo sobre la caracterización morfológica de *Malpighia mexicana* (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016).

Para el caso de poblaciones silvestres de *M. glabra*, aún se desconoce su diversidad morfológica y es necesario desarrollar trabajos de investigación que nos permitan determinar su distribución y variabilidad genética de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas donde se desarrolla y así contribuir en la preservación de este recurso fitogenético (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar morfológicamente los frutos de *M. glabra* en estado silvestre de dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del material vegetal

La colecta de frutos de *M. glabra* se realizó durante los meses de mayo - agosto del 2022, en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán. 1) Región cálido subhúmedo con lluvias en verano, y 2) Región cálido subhúmedo intermedio. La ubicación geográfica y las características ambientales de los sitios de colecta de las cuatro poblaciones se muestra en la Tabla 1. En cada región bioclimática se obtuvieron frutos de dos poblaciones de *M. glabra*, y por cada una de las poblaciones se colectaron 50 frutos de 10 árboles, los cuales se homogenizaron y se tomó una muestra al azar de 30 frutos para su evaluación, con un total de 120 frutos evaluados. El número de frutos colectados por población estuvo sujeto a la disponibilidad de los frutos en campo, estos se guardaron y etiquetaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio de fisiología vegetal del Tecnológico Nacional de México campus Conkal para su evaluación.

Tabla 1. Ubicación geográfica de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en Yucatán.
Table 1. Geographic location of four populations of *M. glabra* collected in Yucatan.

Región bioclimática	Vegetación	Clasificación del suelo	Población	Localidad	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Coordenadas
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	Selva baja caducifolia	Leptosol	1	Mérida	14	26.7	873.3	20.969 N, -89.586 O
		Leptosol	2	Tixcuytún	9	26.2	988.3	21.063 N, -89.563 O
Cálido subhúmedo intermedio	Selva mediana subcaducifolia	Cambisol	3	Yaxcabá	30	26.1	1135.8	20.663 N, -88.812 O
		Cambisol	4	Kancabdzonot	30	25.3	1121	20.511 N, -88.716 O

(Bautista, 2021; Calvo-Irabién *et al.*, 2014; Orellana *et al.*, 1999)

Evaluación de características morfológicas de frutos

Para la caracterización morfológica se evaluaron tres repeticiones de 10 frutos maduros y tres repeticiones de 10 semillas tomados al azar por cada población. Las variables analizadas fueron: peso del fruto y peso unitario de semilla, ambas evaluadas con una balanza analítica (OHAUS, EUA); diámetro polar de fruto y semilla, diámetro ecuatorial de fruto y semilla y el espesor de la semilla, las cuales se midieron con un vernier (Pretul VER-6P). Con los datos del diámetro polar y ecuatorial del fruto y semilla se calculó el índice de forma de fruto y el

índice de forma de semilla, dividiendo el diámetro polar entre el diámetro ecuatorial (Alia-Tejacal *et al.*, 2012). El número de frutos por axila se obtuvo al promediar el total de frutos observados en 30 axilas por planta. Los sólidos solubles totales (°Brix) se evaluaron de la pulpa de 30 frutos por población, colocando una gota de jugo de cada fruto de *M. glabra*, en un refractómetro portátil (CVQ-4012).

Análisis estadístico

Las variables fueron analizadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un diseño completamente al azar. El análisis de los datos se realizó considerando dos niveles. 1) nivel de región bioclimática y 2) nivel de poblaciones. En donde se observaron diferencias significativas se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey, utilizando el software estadístico INFOSTAT ver. 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018). Para evaluar las relaciones morfológicas entre las poblaciones estudiadas, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis de conglomerados con el método de agrupamiento UPGMA y la distancia de similitud de Gower, mediante el programa informático PAST ver. 4.11.

RESULTADOS

Diversidad morfológica de frutos de *M. glabra*

A nivel de regiones bioclimáticas, el análisis de varianza detectó diferencias significativas en siete variables con un nivel de significancia de $p \leq 0.01$. Al realizar la comparación de medias (Tabla 2), se observó que el diámetro polar de fruto varió de 13.23 a 14.48 mm, el índice de forma de fruto osciló de 0.82 a 0.88, el número de frutos por axila presentó un intervalo de variación de 2.42 a 2.85 frutos, el contenido de sólidos solubles totales osciló de 5.91 a 12.47 °Brix, el peso de semilla fue de 0.03 a 0.04 g, el espesor de semilla varió entre 5.25 a 5.75 mm y el índice de forma de semilla estuvo entre 1.18 y 1.28. Los frutos de mayor tamaño se colectaron en la región bioclimática cálido subhúmedo intermedio. Los frutos más dulces (mayor contenido de sólidos solubles totales) se presentaron en la región bioclimática cálido subhúmedo con lluvias en verano (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de medias \pm desviación estándar de las variables de fruto de *M. glabra*, evaluadas a nivel de región bioclimática.

Table 2. Comparison of means \pm standard deviation of fruit variables of *M. glabra*, evaluated at the bioclimatic region level.

Variables morfológicas	Regiones bioclimáticas		Promedio general
	Región 1 Cálido subhúmedo con lluvias en verano	Región 2 Cálido subhúmedo intermedio	
Diámetro polar de fruto (mm)	13.23 \pm 0.27a	14.48 \pm 0.16b	13.86 \pm 0.17
Índice de forma de fruto	0.82 \pm 0.01a	0.88 \pm 0.01b	0.85 \pm 0.01
Frutos por axila	2.42 \pm 0.11a	2.85 \pm 0.14b	2.63 \pm 0.09
Sólidos solubles totales (°Brix)	12.47 \pm 0.44b	5.91 \pm 0.12a	9.19 \pm 0.38
Peso unitario de semilla (g)	0.04 \pm 0.00b	0.03 \pm 0.00a	0.04 \pm 0.00
Espesor de semilla (mm)	5.25 \pm 0.11a	5.75 \pm 0.08b	5.50 \pm 0.07
Índice de forma de semilla	1.18 \pm 0.02a	1.28 \pm 0.03b	1.23 \pm 0.02

Diferentes literales en las medias dentro de cada fila indica diferencia estadística significativa; Tukey ($p \leq 0.01$).

A nivel de poblaciones, el análisis de varianza detectó diferencias significativas con un valor de $p \leq 0.01$, en todas las variables evaluadas con excepción del índice de forma de semilla. El peso del fruto varió de 1.65 a 2.17 g, el diámetro polar del fruto osciló de 12.60 a 15.20 mm, el diámetro ecuatorial del fruto presentó un rango de 15.27 a 18.00 mm, el índice de forma

del fruto varió de 0.78 a 0.90 el número de frutos por axila estuvo entre 2.17 y 3.33 el contenido de sólidos solubles totales presentó un rango de variación de 5.50 a 13.86 °Brix, el peso de semilla varió de 0.03 a 0.05 g, el diámetro polar de semilla fue de 7.40 a 9.53 mm, el diámetro ecuatorial de semilla varió de 6.33 a 8.02 mm y el espesor de semilla presentó un rango de variación de 4.83 a 5.90 mm. Los frutos de la población cuatro mostraron el mayor peso, mayor diámetro polar y mayor diámetro ecuatorial. Los frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales pertenecen a las poblaciones uno y dos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias \pm desviación estándar de las variables de fruto de *M. glabra*, evaluadas a nivel de poblaciones.

Table 3. Comparison of means \pm standard deviation of fruit variables of *M. glabra*, evaluated at the population level

Variables morfológicas	Poblaciones			
	1	2	3	4
Peso de fruto (g)	2.10 \pm 0.18bc	1.75 \pm 0.07ab	1.65 \pm 0.05a	2.17 \pm 0.06 c
Diámetro polar de fruto (mm)	13.87 \pm 0.46b	12.60 \pm 0.24a	13.77 \pm 0.21b	15.20 \pm 0.16 c
Diámetro ecuatorial de fruto (mm)	16.23 \pm 0.45a	16.27 \pm 0.25a	15.27 \pm 0.22 a	18.00 \pm 0.24 b
Índice de forma de fruto	0.86 \pm 0.02bc	0.78 \pm 0.02a	0.90 \pm 0.01 c	0.85 \pm 0.01 b
Frutos por axila	2.67 \pm 0.18a	2.17 \pm 0.13a	2.37 \pm 0.20a	3.33 \pm 0.16b
Sólidos solubles totales (°Brix)	13.86 \pm 0.76c	11.08 \pm 0.30b	6.32 \pm 0.17 a	5.50 \pm 0.15 a
Peso unitario de semilla (g)	0.04 \pm 0.00a	0.05 \pm 0.00b	0.04 \pm 0.00 a	0.03 \pm 0.00 a
Diámetro polar de semilla (mm)	7.40 \pm 0.31a	9.53 \pm 0.33b	8.80 \pm 0.28b	9.27 \pm 0.11b
Diámetro ecuatorial de semilla (mm)	6.33 \pm 0.21a	8.02 \pm 0.12c	6.97 \pm 0.12 b	7.27 \pm 0.11b
Espesor de la semilla (mm)	4.83 \pm 0.18a	5.67 \pm 0.09b	5.60 \pm 0.10 b	5.90 \pm 0.13 b

Diferentes literales en las medias dentro de cada fila indica diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.01$).

Relaciones morfológicas de poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas de Yucatán

El resultado del análisis de conglomerados obtenido con el método UPGMA permitió identificar tres grupos morfológicos. El grupo I, lo integraron los individuos de la población uno y se caracterizaron por presentar mayor contenido de sólidos solubles totales y semillas más pequeñas. El grupo II, se formó con los individuos de la población dos y se caracterizaron por presentar individuos con frutos de menor diámetro polar y menor cantidad de frutos por axila. El grupo III, es el grupo más diverso y se subdividió en dos subgrupos: el subgrupo A, formado por individuos de la población tres, este subgrupo se caracterizó por presentar individuos con frutos de menor peso; y el subgrupo B, formado por individuos de la población cuatro con frutos con la menor cantidad de sólidos solubles totales, frutos más grandes y mayor número de frutos por axila (Figura 1).

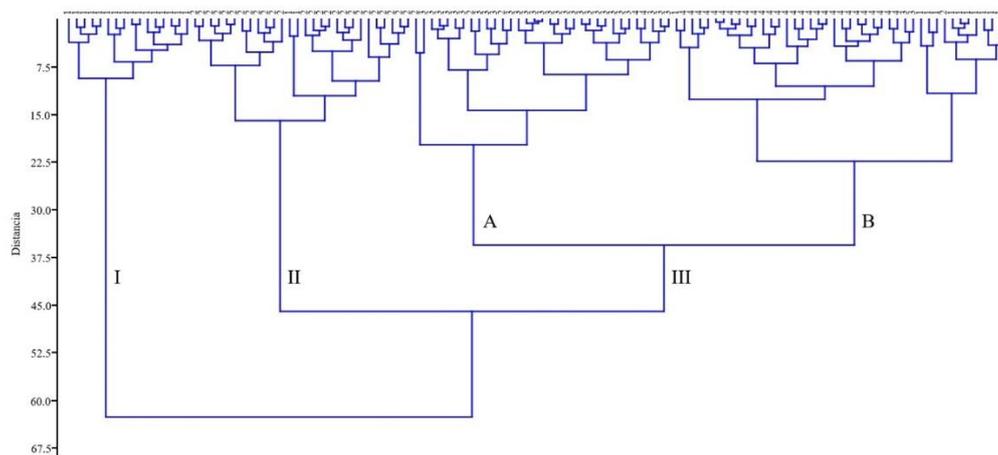


Figura 1. Análisis de conglomerado UPGMA de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán.

Figure 1. UPGMA cluster analysis of four populations of *M. glabra* collected in two bioclimatic regions of the state of Yucatan.

El análisis de componentes principales (ACP), determinó que con los tres primeros componentes principales se explica el 89.421% de la variación total observada. El componente principal uno (CP1) explicó el 67.067% de la variación total acumulada. Las variables contenido de sólidos solubles totales (°Brix), peso de semilla y diámetro polar de la semilla, corresponden a las de mayor contribución para el CP1. El componente principal dos (CP2) explicó el 12.982% de la variación total, siendo las variables peso de fruto, diámetro polar de fruto y diámetro ecuatorial del fruto, las que contribuyeron a la variación explicada de este componente. En cuanto al componente principal tres (CP3), explicó el 9.372% de la variación total acumulada, las variables número de frutos por axila, diámetro polar de fruto, diámetro polar de la semilla, diámetro ecuatorial de la semilla y espesor de semilla, fueron las variables de mayor contribución (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de componentes principales de las características de fruto evaluadas en cuatro poblaciones de *M. glabra* de Yucatán.

Table 4. Principal component analysis of fruit characteristics evaluated in four populations of *M. glabra* from Yucatan

Variable	Componente principal		
	1	2	3
Peso de fruto (g)	0.056137	0.17443*	0.0069748
Diámetro polar de fruto (mm)	0.25279	0.52335*	-0.39481
Diámetro ecuatorial de fruto (mm)	0.23651	0.74191*	0.16558
Sólidos solubles totales (°Brix)	-0.90513*	0.36605	0.14852
Índice de forma de fruto	0.003402	-0.0072205	-0.032765
Frutos por axila	0.034855	0.079262	-0.20169*
Peso unitario de semilla (g)	-0.00010268*	0.00096568	0.0021022
Diámetro polar semilla (mm)	0.19808*	0.026592	0.76309*
Diámetro ecuatorial semilla (mm)	0.082591	0.064051	0.35689*
Espesor semilla (mm)	0.10118	0.0059269	0.20287*
Índice de forma de semilla (mm)	0.015334	-0.0085873	0.044295
Valor propio	20.212	3.912	2.824
Variación explicada	67.067 %	12.982 %	9.372 %
Variación acumulada	67.067 %	80.049 %	89.421 %

*Variables con mayor contribución para cada componente principal.

*Variables with the greatest contribution to each principal component.

El diagrama de dispersión de las colectas sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales del ACP (Figura 2) dio soporte a lo observado en el UPGMA, al permitir la formación de tres grupos con 80.049 % de la variación total explicada. El primer grupo (I) se conformó por los individuos que pertenecen a la población uno y se caracterizaron por presentar frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales. El grupo II, lo integraron en su mayoría individuos de la población dos y se distinguen por presentar características como, menor cantidad de frutos por axila y semillas más grandes. El grupo III, se integró por individuos de las poblaciones tres y cuatro colectados en la región cálido subhúmedo intermedio, este grupo se dividió en dos subgrupos: el subgrupo III-A, formado por individuos de la población tres, se caracterizó por presentar individuos con frutos de menor peso y el subgrupo III-B, formado por individuos de la población cuatro, caracterizados por presentar frutos con la menor cantidad de sólidos solubles totales, frutos más grandes y mayor número de frutos por axila, dentro de este grupo se pudo observar que 12 individuos pertenecientes a la población uno colectados en la región cálido subhúmedo con lluvias en verano se integraron en este grupo (Figura 2).

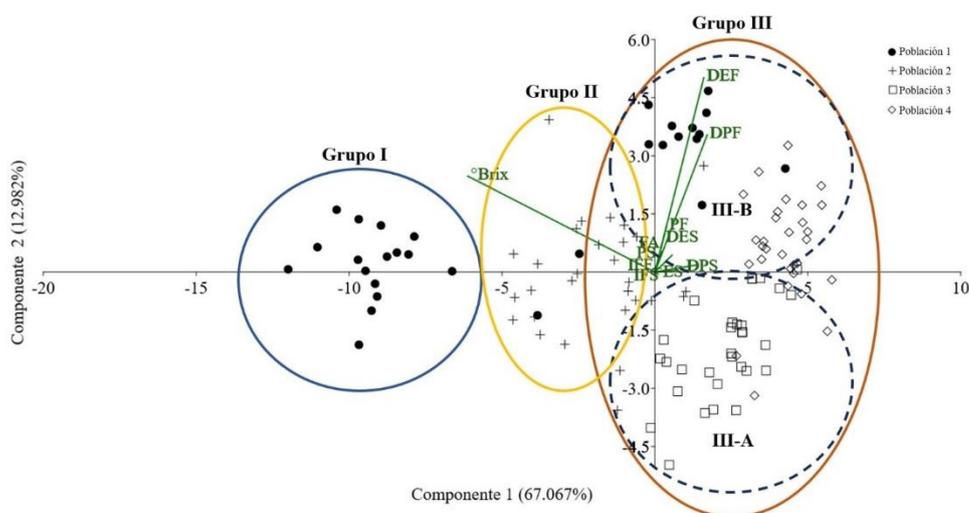


Figura 2. Distribución espacial de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas de Yucatán, con base en los dos primeros componentes principales. PF (peso de fruto), DPF (diámetro polar de fruto), DEF (diámetro ecuatorial de fruto), °Brix (sólidos solubles totales), IFF (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).

Figure 2. Spatial distribution of four populations of *M. glabra* collected in two bioclimatic regions of Yucatan, based on the first two principal components. PF (fruit weight), DPF (polar diameter of fruit), DEF (equatorial diameter of fruit), °Brix (total soluble solids), IFF (fruit shape index), FA (fruits per axil), PS (seed weight), DPS (polar diameter of seeds), DES (equatorial diameter of seeds), ES (seed thickness), and IFS (seed shape index).

DISCUSIÓN

Diversidad morfológica de frutos de *M. glabra*

En este estudio se evalúa por primera vez la diversidad morfológica de frutos de *M. glabra* silvestre. Los resultados demuestran que existe variabilidad morfológica en los frutos de *M. glabra*, la cual puede estar siendo influenciada por las condiciones ambientales de cada región bioclimática (Tabla 1) (Avakoudjo *et al.*, 2022; Donhouedé *et al.*, 2023; Gomes *et al.*, 2000). Resultados similares han sido reportados en *Sorbus domestica* L., *Cerantonia siliqua* L. y *Capparis spinosa* L., donde se ha demostrado que la alta variabilidad morfológica (largo, ancho y peso) de los frutos de estas tres especies estuvo influenciada principalmente por el efecto de la temperatura y la precipitación (Abdelhamid *et al.*, 2022; Boublenza *et al.*, 2019; Poljak *et al.*, 2021). Por otro lado, se ha reportado que las plantas silvestres modifican sus estructuras anatómicas y su fisiología para adaptarse al ambiente y aprovechar los recursos disponibles de su entorno (Romero-Román *et al.*, 2021).

Los resultados del análisis a nivel de región bioclimática, muestran que en la región dos se encontraron los frutos más grandes y en mayor cantidad por axila, mientras que en la región uno se encontraron frutos pequeños, pero con la mayor cantidad de sólidos solubles totales. Aleza *et al.* (2018) y Ouédraogo *et al.* (2020) han señalado que el tipo de suelo y la precipitación juegan un papel importante en el desarrollo y producción de frutos, de tal manera que, a mayor precipitación y mayor presencia de materia orgánica en el suelo, las plantas tienden a incrementar el tamaño y número de los mismos por planta. Considerando lo mencionado anteriormente, los resultados pueden ser atribuidos al tipo de suelo y a la influencia de la precipitación de cada región bioclimática, ya que en la región dos se presenta mayor cantidad de materia orgánica en el suelo y mayor precipitación en comparación a la región uno. En estudios similares en *Adansonia digitata* L. y *Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F., reportan la influencia del tipo de suelo en el aumento de la producción de frutos, en donde se indica que suelos con mayor cantidad de materia orgánica y minerales fueron más fértiles y permitieron que las plantas sean más productivas (Aleza *et al.*, 2018; Sanchez *et al.*, 2011; Widyati *et al.*, 2022). Resultados similares son reportados en accesiones cultivadas de *M. glabra*, bajo condiciones de precipitación y temperatura similares a las reportadas en este estudio. Adicionalmente, se mencionan que las condiciones climáticas ideales para la producción de *M. glabra* se caracterizan por presentar temperaturas de 26 °C y precipitaciones de 1200 a 1600 mm, similar a las condiciones climáticas presentes en la región dos de este estudio (Moura *et al.*, 2018). Por otro lado, Ouédraogo *et al.* (2020) al realizar estudios de caracterización morfológica de *Balanites aegyptica* observaron mayor producción de frutos en las zonas con mayor precipitación y reportan que el tamaño de los frutos está condicionado por la cantidad de precipitación. Por otra parte, el aumento de la cantidad de sólidos solubles totales en frutos de la región uno pudo atribuirse a la alta temperatura y baja precipitación durante el tiempo de fructificación de *M. glabra*, y no al tipo de suelo de cada sitio como indican Rato *et al.* (2008) y Farinelli *et al.* (2021). Esto coincide con lo reportado en estudios similares, donde se menciona la alta acumulación de sólidos solubles totales en frutas (*Vaccinium corymbosum* L. y *Sambucus nigra* L.) colectadas en climas cálidos y con precipitación escasa antes y después de la maduración del fruto (Cvetković *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023).

A nivel de poblaciones, también se encuentra amplia variación morfológica entre los frutos de *M. glabra*. El peso de los frutos presentó alta variabilidad entre las poblaciones (Tabla 3), los cuales están por debajo de lo reportado en frutos de *M. glabra* provenientes de plantas cultivadas (Cavalcante *et al.*, 2007; Farinelli *et al.*, 2021). Los diámetros polar y ecuatorial, también presentaron alta variabilidad entre las poblaciones, pero menores al compararlos con los valores reportados por Cavalcante *et al.* (2021) y Magalhães *et al.* (2018) en frutos de *M. glabra* cultivadas. Las diferencias observadas entre los resultados de estos estudios se deben a que las plantas cultivadas suelen tener frutos más grandes en comparación con los obtenidos de las plantas silvestres, ya que las restricciones ambientales limitan su actividad reproductiva, a diferencia de las plantas cultivadas que reciben manejo para aumentar su productividad (Narwojsz *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022). El peso, el diámetro polar y el diámetro ecuatorial de los frutos son variables importantes de calidad en muchas especies frutales y se utilizan para los programas de fitomejoramiento (Boussaid *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2022).

Con respecto a la forma del fruto, en todas las poblaciones evaluadas presentaron forma de oblato que indica que son más largos que anchos, según la clasificación de Alia-Tejacal *et al.* (2012). Este resultado coincide con lo reportado por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en frutos silvestres de *Malpighia mexicana* y es similar a lo reportado por Magalhães *et al.* (2018) y Lima *et al.* (2014) en frutos de acerola cultivada (índice de forma del fruto: 0.80 y 0.95); pero diferente a lo reportado por Farinelli *et al.* (2021) quienes encontraron frutos más anchos que largos. En cuanto al índice de forma de fruto, algunos autores indican que está variable es un indicador externo de calidad para el mercado comercial, debido a que afecta el atractivo de la fruta y la aceptación del consumidor (Magalhães *et al.*, 2018; Morais *et al.*, 2019; Pathmanaban *et al.*, 2019).

En el presente estudio, las condiciones ambientales en la población cuatro favorecieron al desarrollo de la mayor producción de frutos (Avakoudjo *et al.*, 2022). Goldschmidt (2013) menciona que, en especies silvestres, la fructificación es influenciada por el ambiente, la

vegetación circundante, la disponibilidad de luz, agua, nutrientes minerales y estrés biótico o abiótico. Así mismo, también menciona que el número de frutos es una variable importante para obtener datos de rendimiento en especies frutales, variable evaluada y reportada por primera vez en frutos de *M. glabra*, en este estudio.

A nivel de poblaciones, se observó alta variación en la cantidad de sólidos solubles totales (°Brix) de las poblaciones estudiadas. Los valores de las poblaciones uno y dos fueron mayores a los obtenidos en frutos de plantas de *M. glabra* cultivada (Cavalcante *et al.*, 2021; Farinelli *et al.*, 2021), pero similares a lo reportado en frutos de plantas silvestres de *M. mexicana* (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016). Con los niveles de °Brix, obtenidos en este estudio se puede demostrar que los frutos de *M. glabra* de las poblaciones silvestres de Yucatán tienden a ser más dulces que las variedades de *M. glabra* cultivadas evaluadas por Cavalcante *et al.* (2021) y Farinelli *et al.* (2021). La glucosa, la fructosa y pequeñas cantidades de sacarosa son los principales azúcares reportados en esta especie frutal (Prakash & Baskaran, 2018). Sin embargo, la composición de estos compuestos depende de la influencia de varios factores, por ejemplo, el sitio de cultivo, las condiciones ambientales, las prácticas culturales, la etapa de maduración, el procesamiento y el almacenamiento (Mezadri *et al.*, 2006). La cantidad de sólidos solubles totales es un atributo interno que indica la calidad de las frutas, ya que se encuentra directamente relacionado con el sabor, afectando la aceptación de los consumidores y el precio de la fruta (Yang *et al.*, 2022). La determinación de los °Brix en frutos de *M. glabra*, es una variable importante de medir debido a que ayuda al proceso de selección de genotipos con alto contenido de vitamina C (Gomes *et al.*, 2000). En cuanto a las características de la semilla (peso de semilla, diámetro ecuatorial y polar, espesor e índice de forma de semilla), no hubo mucha variación entre las poblaciones estudiadas. Sin embargo, estos valores fueron menores al compararlos con lo reportado por Menezes *et al.* (2019) en semillas de plantas cultivadas de *M. glabra*, y por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en semillas de *M. mexicana* en estado silvestre.

Organización de la diversidad morfológica de frutos de *M. glabra*

Los resultados obtenidos en el análisis de conglomerados y ACP (Fig. 1 y Fig. 2) muestran que la variación morfológica presente en los frutos de *M. glabra*, está organizada en grupos morfológicos diferenciados.

Para el caso del grupo I observado en el UPGMA y ACP, los individuos que lo conformaron pertenecen a la población uno y fueron colectados en la región bioclimática cálida subhúmeda con lluvias en verano. Los frutos de este grupo presentaron mayor contenido de sólidos solubles totales y semillas pequeñas, características que diferenciaron a las poblaciones de este grupo con respecto a las poblaciones que integraron los grupos II y III. Estudios previos reportan que las condiciones ambientales (alta temperatura y baja precipitación) influyen en el aumento de los sólidos solubles totales (Cvetković *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2022). También se reporta que la alta temperatura o la baja precipitación del lugar de colecta provocan la disminución del tamaño de las semillas de especies silvestres como una estrategia de adaptación de las plantas a las condiciones adversas (Sama *et al.*, 2022).

Los individuos que formaron el grupo II en ambos análisis (UPGMA y ACP), pertenecen a la población dos y también fueron colectados en la región bioclimática cálida subhúmeda con lluvias en verano. Este grupo se caracterizó por ser el menos productivo, al presentar menor número de frutos por axila en comparación con las otras poblaciones, tal vez como mecanismo de adaptación a las bajas precipitaciones de la zona de colecta (Guizani *et al.*, 2019). Cabe recalcar, que los estudios de rendimiento en frutales silvestres son escasos.

El grupo III se subdividió en dos subgrupos (III-A y III-B), que fueron conformados por los individuos de las poblaciones tres y cuatro, colectados en la región bioclimática cálida subhúmeda intermedia. Ambas poblaciones comparten características ambientales similares, sin embargo, el sitio donde se colectaron los individuos de la población tres (subgrupo III-A) presenta un registro de mayor precipitación anual (1135.8 mm). El subgrupo III-A, se caracterizó por presentar individuos con frutos de menor peso; mientras que el subgrupo III-B se caracterizó por tener individuos con menor cantidad de sólidos solubles totales y mayor producción de frutos. La característica que compartieron ambos subgrupos fue la baja cantidad de sólidos solubles totales, lo cual pudo haber sido por la alta cantidad de

precipitaciones. Léchaudel & Joas (2007) indican que el aumento del número de frutos por planta disminuye el contenido de sólidos solubles totales, lo que concuerda con lo encontrado en el subgrupo III-B. La variación natural en las poblaciones ha apoyado a la comprensión de la variabilidad de las frutas y su respuesta al estrés ambiental (Chandra Naithani *et al.*, 2020). Por lo tanto, las regiones bioclimáticas poseen características particulares que están influenciando la morfología y contenido de sólidos solubles totales de *M. glabra*.

CONCLUSIONES

La diversidad morfológica de los frutos silvestres de *M. glabra* se integró por tres grupos con base en los análisis de ACP y de conglomerados. La región bioclimática uno, presentó frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y a nivel población, las poblaciones uno y dos destacaron por presentar frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales (°Brix). En cuanto a la forma de los frutos, la clasificación para las cuatro poblaciones fue de oblato. La diversidad morfológica observada en los frutos de *M. glabra* está influenciada por las condiciones edafoclimáticas de cada uno de los sitios de colecta.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada a Monserrat Concepción Esquivel Chi para realizar los estudios de posgrado (No. 997980).

LITERATURA CITADA

- Abdelhamid, K., Bouchenafa, N., Mederbal, K., & Dahlia, F. (2022). Assessment of morphological variability of leaves and fruits of three natural populations of wild caper (*Capparis spinosa* L.) in western Algeria. *Biodiversity Journal*, 13(2), 373–380. <https://doi.org/10.31396/biodiv.jour.2022.13.2.373.380>
- Aleza, K., Villamor, G. B., Nyarko, B. K., 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>
- Alia-Tejacal, I., Astudillo-Maldonado, Y. I., Núñez-Colín, C. A., Valdez-Aguilar, L. A., Bautista-Baños, S., García-Vázquez, E., Ariza-Flores, R., & Rivera-Cabrera, F. (2012). Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 21–26.
- Anderson, W. R. (2013). Origins of mexican Malpighiaceae. *Acta Botánica Mexicana*, 104, 107-156.
- Avakoudjo, H. G. G., Mensah, S., Idohou, R., Koné, M. W., & Assogbadjo, A. E. (2022). Effects of climate and protection status on growth and fruit yield of *Strychnos spinosa* Lam., a tropical wild fruit tree in West Africa. *Trees*, 36(3), 1117–1129. <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02276-2>
- Bautista, F. (2021). *Los territorios kársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos*. (Primera). Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst.
- Boublenza, I., El haitoum, A., Ghezlaoui, S., Mahdad, M., Vasai, F., & Chemat, F. (2019). Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Scientia Horticulturae*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.064>
- Boussaid, M., Taïbi, K., Ait Abderrahim, L., & Ennajah, A. (2018). Genetic diversity of *Ziziphus lotus* natural populations from Algeria based on fruit morphological markers. *Arid Land Research and Management*, 32(2), 184–197. <https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1424742>
- Brunini, M. A., Barbosa Macedo, N., Coelho, C. V., Ferraz, G., & Siqueira, D. E. (2004). Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 486–489.

- Cáceres, A., Juh-Ez, X., DeI Aguila, J., & Garcíac, 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, 207–213.
- Calvo-Irabién, L. M., Parra-Tabla, V., Acosta-Arriola, V., Escalante-Erosa, F., Díaz-Vera, L., Dzib, G. R., & Peña-Rodríguez, L. M. (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>
- Cavalcante, E. S., Junior, F. A. C. M., Evangelista, T. Y. L., Pereira, G. A., Souza, F. de F., & Junior, G. B. da S. (2021). Yield and physicochemical characteristics of west Indian cherry genotypes grown in the semi-arid region. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(12), 421–426. <https://doi.org/10.22161/ijaers.812.44>
- Cavalcante, Í. H. L., Beckmann, M. Z., Martins, A. B. G., & Campos, M. C. C. (2007). Preliminary selection of acerola genotypes in Brazil. *Fruits*, 62(1), 27–34. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006046>
- Chandra Naithani, D., Rawat, J. M. S., Singh, B., Khanduri, V. P., & Riyal, M. K. (2020). Determination of physico-chemical properties of aonla (*Emblica officinalis* Gaerth) fruits among different populations in Garhwal Himalaya. *International Journal of Fruit Science*, 20(S3), S1579–S1589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1822264>
- Chowdhury, A., Yonemoto, Y., Kato, H., & Macha, M. (2005). Classification of some acerola (*Malpighia glabra* Linn.) cultivars using morphometric descriptors and RAPD markers. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 49(4), 255–263.
- Cvetković, M., Kočić, M., Dabić Zagorac, D., Ćirić, I., Natić, M., Hajder, Đ., Životić, A., & Fotirić Akšić, M. (2022). When is the right moment to pick blueberries? Variation in agronomic and chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) cultivars at different harvest times. *Metabolites*, 12(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/metabo12090798>
- Da Silva, L. R., Figueiredo, A. R., Jacintho Barbosa, M. I. M., De Oliveira, M. M. T., Villa, F., & De Moraes, L. A. S. (2022). Physicochemical characterization and bioactive potential in *Dovyalis hebecarpa* Warb fruits. *Acta Brasiliensis*, 6(3), 101–105. <https://doi.org/10.22571/2526-4338577>
- Da Silva Nunes, R., Silva Kahl, V. F., Da Silva Sarmento, M., Richter, M. F., Abin-Carriquiry, J. A., Martinez, M. M., De Barros Falcão Ferraz, A., & 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>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Diaz, M. P., Robledo, C. W., & Balzarini, M. G. (2018). *Infostat* (2018). FCA Universidad Nacional de Córdoba.
- Donhouedé, J. C. F., Marques, I., Salako, K. V., Assogbadjo, A. E., Ribeiro, N., & Ribeiro-Barros, A. I. F. (2023). Genetic and morphological diversity in populations of *Annona senegalensis* Pers. occurring in Western (Benin) and Southern (Mozambique) Africa. *PeerJ*, 11, 1–26. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.15767>
- El-Hawary, S. S., El-Fitiany, R. A., Mousa, O. M., Salama, A. A. A., & El Gedaily, R. A. (2021). Metabolic profiling and in vivo hepatoprotective activity of *Malpighia glabra* L. leaves. *Journal of Food Biochemistry*, 45(2), 1–15. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13588>
- Esquivel-Chi, M. C., Ruiz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, H.S., Martín, J., Reyes, F., Carnevali, G., Tapia-Muñoz, J. L., 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>
- Farinelli, D., Portarena, S., da Silva, D. F., Traini, C., da Silva, G. M., da Silva, E. C., da Veiga, J. F., Pollegioni, P., & Villa, F. (2021). Variability of fruit quality among 103 acerola (*Malpighia emarginata* d. c.) phenotypes from the subtropical region of Brazil. *Agriculture (Switzerland)*, 11(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111078>
- Fekry, A., Elsabbagh, W., Abu Bakr, M., El-Ghazaly, M., & Mohamed, A. E.-S. (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/aijpm.2021.59935.1042>

- Ferreira, S. S., Silva, P., Silva, A. M., & Nunes, F. M. (2023). Effect of cultivar, maturation stage, and year on sugar and phenolic composition of elderberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(4), 2023–2036. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12271>
- Goldschmidt, E. E. (2013). The evolution of fruit tree productivity: a review. *Economic Botany*, 67(1), 51–62. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9219-y>
- Gomes, J. E., Perecin, D., Baldo, A., Martins, G., José, E., & Almeida, D. E. (2000). Variabilidade fenotípica em genótipos de acerola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(11), 2205–2211.
- Guizani, M., Dabbou, S., Maatallah, S., Montevecchi, G., Hajlaoui, H., Rezig, M., Helal, A. N., & Kilani-Jaziri, S. (2019). Physiological responses and fruit quality of four peach cultivars under sustained and cyclic deficit irrigation in center-west of Tunisia. *Agricultural Water Management*, 217, 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.021>
- Hoang, Q. B., Pham, N. T., Le, T. T., & Duong, T. N. D. (2022). Bioactive compounds and strategy processing for acerola: A review. *Can Tho University Journal of Science*, 14(2), 46–60. <https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2022.011>
- Ito, A., Kajiwar, 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.
- Jasmitha, B. G., & Honnabyraiah. (2021). West Indian cherry: nature's vitamin-C capsule. *AgriCos E-Newsletter*, 2(4), 5–8.
- Jiménez-Osornio, J., Pastrana, D., Molina, A., Ruenes, M. del R., Montañez, P., & Lendecky, Á. (2018). Sustainable agriculture through resurrecting indigenous fruits in Yucatán. In C. Scherrer & S. Verma (Eds.), *Decent Work Deficits in Southern Agriculture: Measurements, Drivers and Strategies* (First, pp. 305–322). Rainer Hampp Verlag.
- Khan, M. R., Khan, M. A., Habib, U., Maqbool, M., Rana, R. M., Awan, S. I., & Duralija, B. (2022). Evaluation of the characteristics of native wild Himalayan fig (*Ficus palmata* Forsk.) from Pakistan as a potential species for sustainable fruit production. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su14010468>
- Kumar, S., Bhajipale, N. S., Sanghai, D. B., & Padgilwar, S. S. (2017). Phytochemical and pharmacological overview of acerola cherry: a review. *International Journal of Research in AYUSH and Pharmaceutical Sciences*, 1(1), 2456–9909.
- Léchaudel, M., & Joas, J. (2007). An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 287–298. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400004>
- Lima, P. C. C., Souza, B. S., Souza, P. S., Borges, S. da S., & de Assis, M. D. O. (2014). Characterization and evaluation of fruits of west Indian cherry. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(3), 550–555. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-336/13>
- Macêdo, M. do A. de M., Souza, R. T. B., Costa, D. N., Santos, J. O. dos, Reis, R. B. dos, Silva, L. L. da, & Andrade, I. M. de. (2022). Prospecção científica e tecnológica de quercetina: uso de espécies de *Malpighia* L. (acerola) como potencial para o tratamento de COVID-19. *Research, Society and Development*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24715>
- Magalhães, D. S., Rufni, J. C. M., Albuquerque, A. S., Viol, R. E., Fagundes, M. C. P., & De Menezes, T. P. (2018). Genetic diversity among accessions of acerola based on the quality of fruits. *Comunicata Scientiae*, 9(2), 133–141. <https://doi.org/10.14295/CS.v9i2.2961>
- Maldonado-Peralta, M. D. los Á., García De Los Santos, G., García Nava, J., Corona Torres, T., Cetina Alcalá, V., & Ramírez Herrera, C. (2016). Calidad morfológica de frutos y endocarpios del nanche rojo (*Malpighia mexicana*, Malpighiaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 117, 37–46.
- Menezes, F. N. D. D., de Melo, F. H. C., Vieira, A. R. S., Almeida, T. C., Lima, M. S., Aquino, J. S., Gomez-Zavaglia, A., Magnani, M., & de Souza, E. L. (2021). Acerola (*Malpighia glabra* L.) and guava (*Psidium guajaba* L.) industrial processing by-products stimulate probiotic lactobacillus and bifidobacterium growth and induce beneficial changes in colonic microbiota. *Journal of Applied Microbiology*, 130(4), 1323–1336. <https://doi.org/10.1111/jam.14824>
- Menezes, T. P., Rufini, J. C. M., Pio, L. A. S., Magalhaes, D. S., & Chain, C. P. (2019). Physical and chemical characterization of fruits and DNA content in genotypes of

- acerola tree. *Brazilian Journal of Agriculture*, 93(3), 336–348. <https://doi.org/10.37856/bja.v93i3.3323>
- Mezadri, T., Fernández-Pachón, M. S., Villaño, D., García-Parrilla, M. del C., & Troncoso, A. M. (2006). El fruto de la acerola: composición, características productivas e importancia económica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(2), 101–109.
- Morais, M. C., Mucha, Â., Ferreira, H., Gonçalves, B., Bacelar, E., & Marques, G. (2019). Comparative study of plant growth-promoting bacteria on the physiology, growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5341–5349. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9773>
- Moura, C. F. H., Ribeiro, L. B., Oliveira, L. de S., de Souza, K. O., de Miranda, M. R. A., da Franca, L. G., & de Souza, P. A. (2018). Acerola—*Malpighia emarginata*. In *Exotic Fruits Reference Guide* (pp. 7–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00003-4>
- Narwojsz, A., Tańska, M., Mazur, B., & Borowska, E. J. (2019). Fruit physical features, phenolic compounds profile and inhibition activities of cranberry cultivars (*Vaccinium macrocarpon*) compared to wild-grown cranberry (*Vaccinium oxycoccos*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 300–306. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00737-7>
- 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>
- Okigbo, R. N., Chiamaka Frances, E., Okigbo, R. N., & Anyaegbu, C. F. (2021). Underutilized plants of Africa. *Journal of Biology and Nature*, 13(2), 34–49.
- Orellana, R., Balam, M., Bañuelos, I., García, E., González-Iturbide, J., Herrera, F., & Vidal, J. (1999). *Atlas de procesos territoriales de Yucatán* (R. Orellana, M. Balam, I. Bañuelos, E. García, J. González-Iturbide, F. Herrera, & J. Vidal, Eds.; Primera). UADY.
- Ouédraogo, S., Bondé, L., Ouédraogo, O., Ouédraogo, A., Thiombiano, A., & Boussim, I. J. (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>
- Pasa, M. C., Da, L., Oliveira, S., Antunes, E., Lima, S., Klein, É., Fernandes Neto, F., Penedo, H., & Alves Da Silva, S. S. (2022). Medicina tradicional e COVID-19 no Brasil. *Revista Biodiversidade*, 21(1), 1–18.
- Pathmanaban, P., Gnanavel, B. K., & Anandan, S. S. (2019). Recent application of imaging techniques for fruit quality assessment. *Trends in Food Science and Technology*, 94, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.10.004>
- Pinto, Z. T., Carneiro, J. F., Carriço, C., Caetano, R. L., Ferreira, V. dos S. B., Mendonça, P. M., Berenger, A. L. R., & Figueiredo, M. R. (2018). Acaricidal effects of seven brazilian plant extracts. *Revista Colombiana de Entomologia*, 44(1), 44–47. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6541>
- Poljak, I., Vahčić, N., Liber, Z., Tumpa, K., Pintar, V., Zegnal, I., Vidaković, A., Valković, B., Kajba, D., & Idžojić, M. (2021). Morphological and chemical diversity and antioxidant capacity of the service tree (*Sorbus domestica* L.) fruits from two ecogeographical regions. *Plants*, 10(8), 1–21. <https://doi.org/10.3390/plants10081691>
- Prakash, A., & Baskaran, R. (2018). Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3373–3384. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3309-5>
- Rato, A. E., Agulheiro, A. C., Barroso, J. M., & Riquelme, F. (2008). Soil and rootstock influence on fruit quality of plums (*Prunus domestica* L.). *Scientia Horticulturae*, 118(3), 218–222. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.06.013>
- Romero-Román, M. E., Schoebitz, M., Bastías, R. M., Fernández, P. S., García-Viguera, C., & López-Belchi, M. D. (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>
- Sama, H., Traoré, D. K., Guenné, S., Hilou, A., & Dicko, M. H. (2022). Effect of pedoclimatic conditions on physicochemical characteristics and agro-industrial potential of

Recibido:
9/octubre/2023

Aceptado:
18/junio/2024

- three native oilseeds fruits from *Burkina Faso*. *BMC Plant Biology*, 22(321), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03713-7>
- Sanchez, A. C., De Smedt, S., Haq, N., & Samson, R. (2011). Comparative study on baobab fruit morphological variation between western and south-eastern Africa: Opportunities for domestication. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(8), 1143–1156. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9647-4>
- Segura, S., Fresnedo, J., Mathuriau, C., López, J., Andrés, J., & Muratalla, A. (2018). The edible fruit species in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(6), 1767–1793. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0652-3>
- Tena Meza, M., Navarro-Cerrillo, R. M., & Brizuela Torres, D. (2021). Distribution of *Malpighia mexicana* in Mexico and its implications for Barranca del Río Santiago. *Journal of Forestry Research*, 32(3), 1095–1103. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01157-z>
- Torres-Contreras, A. M., Garcia-Baeza, A., Vidal-Limon, H. R., Balderas-Renteria, I., Ramírez-Cabrera, M. A., & Ramirez-Estrada, K. (2022). Plant secondary metabolites against skin photodamage: mexican plants, a potential source of UV-radiation protectant molecules. *Plants*, 11(2), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants11020220>
- Widyati, E., Nuroniah, H. S., Tata, H. L., Mindawati, N., Lisnawati, Y., Darwo, Abdulah, L., Lelana, N. E., Mawazin, Octavia, D., Prameswari, D., Rachmat, H. H., Sutiyono, Darwiati, W., Wardani, M., Kalima, T., Yulianti, & van Noordwijk, M. (2022). Soil degradation due to conversion from natural to plantation forests in Indonesia. *Forests* 13(11). <https://doi.org/10.3390/f13111913>
- Yang, X., Zhu, L., Huang, X., Zhang, Q., Li, S., Chen, Q., Wang, Z., & Li, J. (2022). Determination of the soluble solids content in korla fragrant pears based on visible and near-infrared spectroscopy combined with model analysis and variable selection. *Frontiers in Plant Science*, 13(938162), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.938162>
- Zhang, C., Cui, L., & Fang, J. (2022). Genome-wide association study of the candidate genes for grape berry shape-related traits. *BMC Plant Biology*, 22(42), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03434-x>