

Caracterización morfológica de accesiones de *Moringa oleifera* provenientes del sur-sureste de México

Rafael Ruiz Hernández¹
Arturo Pérez-Vázquez^{1§}
Eliseo García Pérez¹
Cesáreo Landeros Sánchez¹
Fredy Morales Trejo²
Ramón Marcos Soto Hernández³

¹Campus Veracruz-Colegio de Postgraduados. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Predio Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz. CP. 91700. Tel. 229 2010770. (rafael.ruiz@colpos.mx; geliseo@colpos.mx; clandero@colpos.mx). ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera. México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9521540. (fredy.morales@colpos.mx). ³Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9570887. (msoto@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: parturo@colpos.mx.

Resumen

La *Moringa oleifera* es una planta con gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas. Los factores ambientales influyen en la morfología y fenología de esta especie. El objetivo fue caracterizar la morfología de 20 accesiones de *Moringa oleifera* provenientes del sur-sureste de México. Las semillas fueron recolectadas en cultivos comerciales de los estados de Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Yucatán. Las semillas fueron sembradas en contenedores y se trasplantaron dos meses después de su germinación en campo con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Cada siete días se registraron las variables cuantitativas y a los 301 días después del trasplante se evaluaron los descriptores morfológicos. Se observó que la accesión C2 presentó el mayor crecimiento (273 cm). La accesión Y2 presentó un diámetro de 43.22 mm y la accesión Y3 presentó 54 hojas. Se encontró una alta variación en el tamaño de la hoja, color de la flor y tallo e inicio de floración. El análisis de componentes principales identificó tres grupos. El análisis de componentes principales (PCA) mostró que los primeros cinco componentes explican 99.21% de la variación total y que los componentes 1 (52.87%) y 2 (37.54%) contribuyen con 90.41%. Del análisis de conglomerados resultaron tres grupos con 0.76 de similitud, basado en la similitud euclidiana. La diferenciación morfológica de los diversos accesos de moringa permitió corroborar diferenciación varietal y la necesidad de instrumentar un programa genético de conservación, selección y fitomejoramiento de moringa en el sur-sureste de México.

Palabras clave: accesiones, agroecosistemas, fenotipos, moringa.

Recibido: agosto de 2021

Aceptado: octubre de 2021

Introducción

Las plantas tienen, en general, la capacidad de adaptarse a las diversas condiciones que existen en el planeta. Este ajuste fisiológico les permite sobrevivir ante climas diversos y adversos. Sin embargo, los factores externos influyen en el crecimiento y la producción a través de la influencia directa en sus procesos fisiológicos y bioquímicos (Tesfay *et al.*, 2011; Santiago y Bezerra, 2017). *Moringa oleifera* Lam., es una especie vegetal perenne, de rápido crecimiento que presenta gran plasticidad agroecológica (Pérez *et al.*, 2010). La importancia mundial de esta planta radica en su uso para mejorar contribuir al mejoramiento de la nutrición y salud humana, a garantizar la seguridad alimentaria, promover el desarrollo económico en zonas rurales y a mitigar los efectos del cambio climático (NRC, 2006).

Todas las partes de la moringa presentan principios bioactivos de importancia alimenticia y medicinal (Martín *et al.*, 2013). Además, presenta una alta capacidad de almacenamiento de compuestos activos que está determinada por la variedad o por la modificación que haya sufrido la accesión en el ambiente recolectado (Baiyeri *et al.*, 2015). En la India, se han identificado las variedades de moringa: PKM-1, PKM-2, Jaffna, Chavakacheri Murungai, Chemmurungai, Kaadumurungai palmurungai, Puna murungai y Kodikkal murungai que muestran diferencias fenológicas y morfológicas.

La caracterización morfológica es una herramienta fundamental para la selección, conservación, mejora y creación de nuevas variedades (Popoola *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2017). El estudio de accesiones en condiciones ambientales homogéneas permite detectar la variabilidad en el crecimiento, floración, número y tamaño de hojas y frutos y permite identificar la resistencia a diversos tipos de estrés ambiental (Resmi *et al.*, 2005). A pesar de la gran adaptabilidad que posee la planta de moringa, se han encontrado poblaciones caducifolias en climas subtropicales (Folkard *et al.*, 1999).

El conocimiento de la diversidad morfológica en moringa puede convertirse en un recurso para su mejoramiento a través de la selección de variedades élite adaptadas a las condiciones locales (Leone *et al.*, 2015). El Sur-Sureste de México, cuenta con diversas plantaciones de moringa. Sin embargo, no existe información detallada de la variación morfológica de los diversos accesos. La variación morfológica en cualquier planta puede atribuirse a factores edafoclimáticos, genéticos, de manejo agronómico o a la su combinación de éstos (Chaves-Bedoya *et al.*, 2017). El objetivo fue caracterizar la morfología de accesiones de *M. oleifera* provenientes del Sursureste de México.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación fue en la región sur-sureste de México por la presencia de cultivos comerciales de moringa y esta característica favorecía la disponibilidad de semilla. Las semillas de los accesos estudiados provienen de Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Yucatán (Cuadro 1, Figura 1). La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Veracruz, ubicado geográficamente a los 19° 16' 32" de latitud norte, 96° 16' 32" de longitud oeste, a una altitud de 16 m (Valdés *et al.*, 2014). El clima es cálido subhúmedo (AW₀), con una precipitación anual acumulada de 1 000 mm y una temperatura media anual de 27 °C (Olguín, 1999).

Cuadro 1. Procedencia de las semillas de *M. oleifera* del sur-sureste de México.

Núm.	Estado	Accesión	Municipio	Comunidad	Longitud	Latitud
1	Veracruz	V1	Soledad de Doblado	El Progreso	-96.4022719	19.0818742
2	Veracruz	V2	Paso del Macho	Loma Pelada	-96.5398368	18.9258796
3	Veracruz	V3	Tierra Blanca	Colonia Pemex	-96.3429545	18.435
4	Veracruz	V4	Misantla	Santa Cruz Hidalgo	-96.8628092	19.9555656
5	Oaxaca	O1	Santa Cruz Xoxocotlán	San Juan Bautista La Raya	-96.7280556	16.9791667
6	Oaxaca	O2	Santa María Huatulco	La Herradura	-96.3658333	15.7772222
7	Oaxaca	O3	Mariscala de Juárez	Guadalupe la Huertilla	-98.1088889	17.8513889
8	Oaxaca	O4	Tuxtepec	San Juan Bautista	-96.1286697	18.087694
9	Guerrero	G1	Acapulco de Juárez	Bejuco	-99.6977778	16.8216667
10	Guerrero	G2	Acapulco de Juárez	Parotillas	-99.61558371	16.8787834
11	Guerrero	G3	Acapulco de Juárez	Concepción	-99.66028879	16.8799601
12	Guerrero	G4	Tecpan de Galeana	Mitla	-99.89343517	16.8789425
13	Chiapas	C1	Tuzantán	Villa Hidalgo	-92.374722	15.108056
14	Chiapas	C2	Tuxtla Gutiérrez	Colonia La Salle	-93.0868889	16.7429445
15	Chiapas	C3	Tuxtla Gutiérrez	Santa Cruz	-93.108986	16.783481
16	Chiapas	C4	Tuxtla Gutiérrez	San Juan	-93.103645	16.747307
17	Yucatán	Y1	Tzucacah	Tzucacah	-89.0391111	20.0720278
18	Yucatán	Y2	Mérida	Frac. el Parque	-89.5872222	20.9711111
19	Yucatán	Y3	Peto	Teshan	-88.62125	20.1486389
20	Yucatán	Y4	Baca	Felipe Carrillo Puerto	-89.6070099	20.9954688

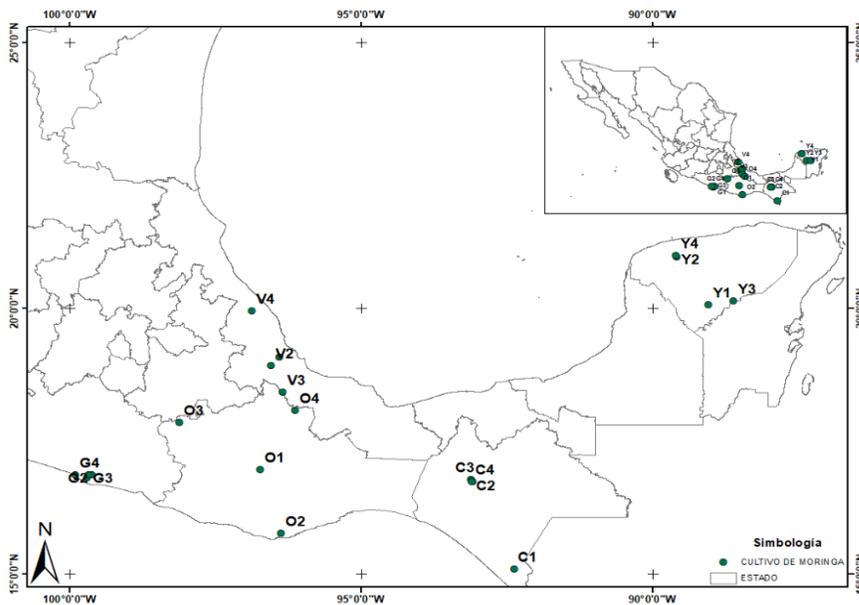


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de recolecta de *M. oleifera* en el Sursureste de México.

Material biológico

Se recolectaron semillas de moringa de diferentes cultivos comerciales en el sur-sureste de México durante los meses de febrero a mayo de 2018. Se seleccionaron 30 semillas sanas de cada punto de recolecta y se midieron las variables de longitud, grosor y peso de la semilla. Se evaluaron 20 accesiones, mismas que se muestran en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables morfológicas de los accesos de moringa del sur-sureste de México.

Núm.	Accesión	Peso promedio (mg) ± error estándar	Largo promedio (mm) ± error estándar	Grosor promedio (diámetro) (mm) ± error estándar
1	V1	364.33** ±8.19	11.93 ±0.26	8.33 ±0.14
2	V2	296.67 ±11.31	9.5 ±0.24	7.33 ±0.18
3	V3	325.33 ±10.5	8.93 ±0.18	8.5 ±0.18
4	V4	331.43 ±4.59	9.57 ±0.2	10.43 ±0.3
5	O1	332.33 ±6.91	11.67 ±0.23	9.5 ±0.13
6	O2	379.67 ±8.2	11.33 ±0.19	10.63 ±0.15
7	O3	324.67 ±6.19	13.53 ±0.25	10.77 ±0.09
8	O4	364.67 ±8.63	11.87 ±0.19	11.37 ±0.15
9	G1	309.67 ±9.83	12.43 ±0.23	9.53 ±0.13
10	G2	356 ±7.99	13.97 ±0.33	10 ±0.16
11	G3	408.67 ±10.42	12.97 ±0.28	11.07 ±0.13
12	G4	580.67 ±2.05	14.2 ±0.18	12.3 ±0.12
13	C1	485.33 ±10.36	14.9 ±0.35	10.93 ±0.21
14	C2	461 ±10.3	13.8 ±0.24	11.83 ±0.14
15	C3	480 ±8.04	13.87 ±0.25	11.97 ±0.14
16	C4	308.33 ±7.08	12.13 ±0.24	9.53 ±0.22
17	Y1	337.67 ±9.38	13.03 ±0.23	11.2 ±0.18
18	Y2	460 ±1.25	14.3 ±0.35	10.6 ±0.19
19	Y3	349.67 ±8.7	12.47 ±0.22	10.37 ±0.21
20	Y4	428.67 ±12.76	13.6 ±0.27	11.27 ±0.23

V= Veracruz; O= Oaxaca; G= Guerrero; C= Chiapas; Y= Yucatán; ** = valor promedio de 30 semillas.

Siembra y trasplante

Las semillas fueron sembradas en bolsas de vivero de color negro de 27 x 27 cm. El sustrato utilizado estuvo compuesto por suelo, estiércol-lombricomposta y arena (5:4:1). Después de 15 días la germinación se seleccionó las plántulas de mayor vigor y de un tamaño similar y dos meses después, se trasplantaron en campo. El tipo de suelo en campo era franco-arcilloso.

Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con cinco repeticiones. El tamaño de la superficie utilizada fue de 900 m². La distancia entre individuos y surcos fue de 3 m. Cada siete días se registraron las variables de altura, diámetro basal (a 10 cm del suelo), número de ramas y hojas. Diariamente se aplicaron 2 L de agua a cada planta a través del riego por goteo.

Caracterización morfológica

Para la caracterización morfológica se utilizaron descriptores cuantitativos y cualitativos para cada órgano de la planta. Los cuantitativos registrados fueron: altura, diámetro del tallo, número de hojas, número de ramas, número de flores, longitud de la hoja, ancho de la hoja, longitud del peciolo, longitud del foliolo, ancho del foliolo y días a la primera floración. Para los descriptores cualitativos se utilizaron los publicados por Mgendi *et al.* (2011); Zhigila *et al.* (2015); Popoola *et al.* (2016). Los descriptores cualitativos fueron: color de peciolo de la hoja (1: verde claro, 2: verde, 3: violeta leve, 4: violeta medio, 5: violeta intenso), forma de la hoja (1: ovalo, 2: oblongo, 3: ovalo oblongo y 4: elíptica), ápice de la hoja (1: obtuso y 2: agudo), pubescencia en la hoja (0: ausente y 2: presente), color de la flor (1: blanco, 2: blanco-crema, 3: blanco-rosa, 4: blanco-crema-rosa y 5: rosáceo), manchas purpuras en las flores (0: ausente y 1: presente) y color de anteras (1: amarillas y 2: naranjas).

Análisis estadísticos

Los valores medios de los descriptores se evaluaron por estadísticas descriptivas. El coeficiente de correlación, los análisis de componentes principales y el análisis de conglomerado se realizaron a través de un agrupamiento jerárquico con coeficiente de la variación en el método del grupo de pares no ponderados (distancia euclidiana). El diagrama de dispersión bidimensional se realizó a través de la variación porcentual de los dos primeros análisis de componentes principales utilizando el programa PAST Versión 3.0.

Resultados y discusión

Germinación

El mayor porcentaje de germinación se obtuvo en la accesión G3 (100%) y el menor porcentaje fue de 13% para las accesiones C4, O1, G4, C1, C4 y Y1. Al momento del trasplante, la accesión V3 midió 108 cm siendo la mayor altura. Se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en la altura y diámetro del tallo de las 20 accesiones evaluadas. La accesión C3 presentó el diámetro mayor y el mayor número de hojas correspondió a la accesión O4 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables registradas de *Moringa oleifera* al momento del trasplante.

Núm.	Accesión	Germinación (%)	Altura (cm) (media \pm error estándar)	Diámetro (mm) (media \pm error estándar)	Núm. de hojas (media \pm error estándar)
1	V1	60*	101.8 \pm 5.12 de	9 \pm 0.55 cdefgh	8.6 \pm 0.24 ab
2	V2	13	98.6 \pm 5.82 de	8.2 \pm 0.37 bcdefg	7 \pm 0.32 a
3	V3	50	108 \pm 7.35 e	10.25 \pm 0.48 gh	7.25 \pm 0.48 a
4	V4	63	59.4 \pm 2.86 a	5.8 \pm 0.37 a	6.6 \pm 0.24 a
5	O1	13	98.6 \pm 3.52 de	8.6 \pm 0.4 cdefgh	7.4 \pm 0.24 ab
6	O2	10	85.8 \pm 2.29 cde	8 \pm 0.55 abcdef	7.8 \pm 0.2 ab
7	O3	43	84 \pm 4.89 bcd	9.4 \pm 0.68 defgh	6.6 \pm 0.24 a
8	O4	47	103.4 \pm 1.83 de	10 \pm 0.32 fgh	12.4 \pm 3.71 b

Núm.	Accesión	Germinación (%)	Altura (cm) (media ± error estándar)	Diámetro (mm) (media ± error estándar)	Núm. de hojas (media ± error estándar)
9	G1	90	62 ±2.21 ab	6.2 ±0.37 ab	6.6 ±0.24 a
10	G2	33	84.4 ±3.26 bcd	7.2 ±0.2 abcd	7.2 ±0.2 a
11	G3	100	72.4 ±3.3 abc	7 ±0.32 abc	6 ±0.63 a
12	G4	13	95.8 ±2.94 de	7.6 ±0.24 abcde	7.8 ±0.37 ab
13	C1	13	85.8 ±3.07 cde	8.6 ±0.4 cdefgh	6.6 ±0.75 a
14	C2	50	82 ±1.64 abcd	7 ±0.55 abc	7.4 ±0.68 ab
15	C3	63	102.5 ±10.31 de	10.5 ±0.5 h	9.75 ± 0.25 ab
16	C4	13	86.75 ±3.35 cde	10 ±0.41 fgh	8.5 ±0.29 ab
17	Y1	13	93 ±2.94 cde	8.6 ±0.4 cdefgh	6.6 ±0.75 a
18	Y2	77	90 ±2.76 cde	10.2 ±0.37 fgh	7.2 ±0.37 a
19	Y3	60	96.6 ±4.35 de	9.6 ±0.4 efgh	8 ±0.32 ab
20	Y4	23	99.8 ±7.7 de	8.4 ±0.4 bcdefgh	8.2 ±0.2 ab

*= valor promedio de 10 plántulas. Medias con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

Se encontró gran variación en el porcentaje de germinación de las accesiones sembradas. Esta variación se atribuye a la calidad de la semilla y al tiempo de almacenaje antes de la siembra (Du Toit *et al.*, 2017). Aunado a esto, al potencial genético y los factores ambientales como la temperatura, precipitación y la altitud influyen en el desarrollo de la semilla antes de la colecta y determinan su tamaño y peso (Baiyeri *et al.*, 2015; Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018).

Este proceso afecta la viabilidad de semillas de más de un año de almacenadas en intervalos de temperatura de 23 a 25 °C. Por tanto, se recomienda que las semillas sean conservadas en las vainas (Fotouo *et al.*, 2015). El promedio de días de germinación de las accesiones sembradas fue de 11. La germinación más temprana ocurrió a los 8 días y la más tardía a los 14 días. Este intervalo es similar a los 6 y 13 días reportado por Popoola *et al.* (2016); Zaku *et al.* (2015); mientras que Kumar *et al.* (2014) mencionaron que la germinación ocurre entre los 10 y 12 días después de la siembra. Ramos *et al.* (2010) reportaron que la germinación empieza a partir de los 8 días después de la siembra y a los 25 días aparecen las hojas primarias.

Altura

Las accesiones C2 y G2 fueron las de mayor tamaño y alcanzaron una altura promedio de 273 y 271 cm respectivamente. La accesión Y4 presentó una altura promedio de 164 cm, siendo el menor crecimiento registrado durante los 301 días después del trasplante (DDT) (Figura 2).

A los seis meses después del trasplante la altura mínima y máxima fueron 1.45 y 2.25 m, respectivamente. Estos valores son inferiores a los 5.17 y 10.27 m reportados por Popoola *et al.* (2016). Esta menor talla se puede atribuir a la falta de precipitación, ya que el agua tiene un efecto directo en el crecimiento de la planta debido a que en condición de sequía disminuye la división y expansión celular (Taiz y Zeiger, 2009).

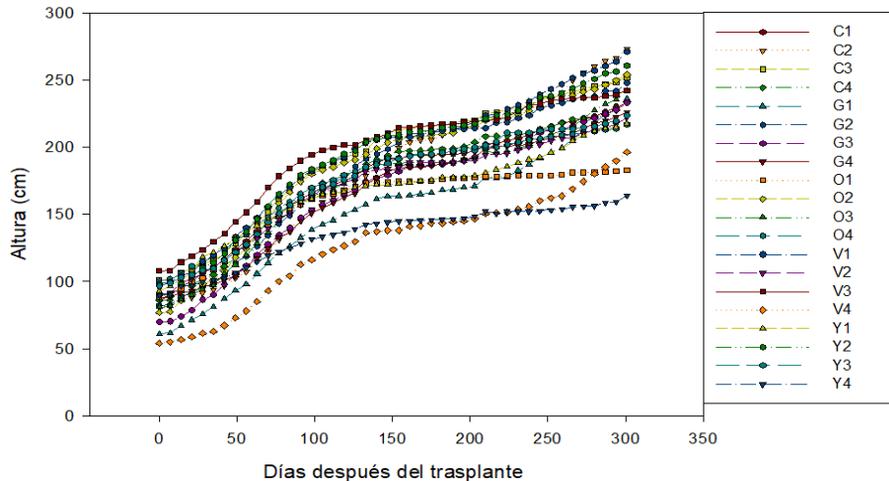


Figura 2. Altura de la planta de las 20 accesiones de *Moringa oleifera* recolectadas en el sur-sureste de México. Periodo: 0 al 301 DDT.

En relación con el número de ramas, se tuvieron pocas y estas emergieron después de los 2 m de altura. Popoola *et al.* (2016) menciona que la ramificación es moderada. Dao y Kabore (2015) registraron en moringa, a los dos meses de 8 a 15 ramas por árbol. En este trabajo se tuvo un crecimiento monopódico en las accesiones evaluadas.

Diámetro del tallo

El mayor diámetro a una altura de 10 cm del suelo se observó en la accesión Y2 con un valor promedio de 43.22 mm y el menor valor correspondió a la accesión Y4 con 25.61 mm a los 301 días después del trasplante. Los colores de tallo con mayor frecuencia fueron gris y gris blanquecino. Panshin y Zeeuw (1970) mencionan que el engrosamiento del tallo se debe a procesos relacionados en xilema y floema. Por tanto, pueden diferir entre accesiones. El engrosamiento del tallo y su morfología entre los ecotipos de moringa es diverso debido a la gran plasticidad que presenta (Förster *et al.*, 2015).

Hojas

Después del trasplante se observó una defoliación en todas las accesiones. A los 301 DDT, la accesión Y3 presentó 54 hojas, siendo el valor más alto. La accesión O1 presentó 9 hojas, siendo la accesión con el menor número promedio de hojas. La longitud de la hoja más corta fue de 28.8 cm (Y3) y la más larga de 47 cm (C2). El ancho de la hoja fluctuó entre 16.8 (O1) y 38.33 cm (Y1). Se registró la presencia de pubescencias en las acciones G4, C3 y G2. Estos valores son superiores al rango de 21.4 a 54.2 cm de largo y de 10.1 a 41.6 cm del ancho reportado por Zhigila *et al.* (2015). Dao y Kabore (2015) reportaron longitudes promedio de hojas desde 16 hasta 44 cm y valores de 10.5 hasta 34 cm de ancho, con un número de pinas de 5 a 12 por hoja.

La longitud de la hoja está influenciada por la humedad relativa y la precipitación promedio anual. Las características fenotípicas se ven afectadas por los factores edáficos y dan como resultado cambios epigenéticos (Shahzad *et al.*, 2013). Las hojas de moringa son consumidas por su alto valor nutricional (Förster *et al.*, 2015). Por ello, el tamaño, color y número de hojas son importantes para la producción de biomasa, contenido nutricional y mejoramiento genético.

También se identificó la presencia de pigmentación púrpura en el peciolo y raquis de las accesiones C1, O2 y Y2. El color oscuro en la hoja representa una mayor cantidad de clorofila y la existencia de este fotosintato promueve un mayor crecimiento (Opare-Obuobi, 2012).

La pigmentación violeta en el peciolo de hoja está determinada por el contenido de antocianinas. La presencia de antocianinas está determinada por las condiciones ambientales y puede ser de coloración púrpura o rosada. Usualmente, los cultivos en áreas bajo sequía presentan mayor producción de antocianinas como mecanismo para evitar el estrés (Shahzad *et al.*, 2013). Se notó la presencia de pubescencias en las hojas, brotes tiernos y filamentos de la antera. Existió defoliación ocasionada por las altas temperaturas y poca precipitación. Vasconcelos *et al.* (2019) mencionaron que el estrés hídrico ocasionado por la falta de precipitación influye en la morfología de la hoja y la fisiología de las plantas. En este trabajo se observó el efecto del estrés en la defoliación y amarillamiento de las hojas.

Flores

El inicio de la floración se registró contando los días desde la siembra de las accesiones. La accesión O4 fue la primera en iniciar el proceso de floración a los 129 días después de la siembra (dds). La última accesión en florecer fue la G3 a los 240 dds. Las accesiones Y2 y Y5 presentaron flores de color blanco rosáceo, la C2 y V3 blancas cremosas y la O1 flores blancas. Las manchas purpuras fueron identificadas en las accesiones G2 y V1 (Cuadro 4). La floración en las accesiones cultivadas comenzó a los 129 dds y se mantuvo durante los meses octubre-mayo. Sin embargo, la caída de flores impidió que muchas llegaran a la antesis limitando el proceso de polinización.

Cuadro 4. Valores de tendencia central para los descriptores cuantitativos de *Moringa oleifera* Lam.

Núm.	Descriptor	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Varianza
1	Altura (cm)	231.45*	27.37	273 (C2)	164 (Y4)	749.32
2	Diámetro (mm)	32.58	4.75	44 (Y2)	23.6 (O1)	22.59
3	Núm. hojas	20.72	9.85	54 (Y3)	9.8 (O1)	97.09
4	Núm. ramas	2.64	2.94	12.6 (C2)	0.4 (O1)	8.64
5	Núm. flores	0.52	0.75	2.67 (Y1)	0 (V4, O1 y O3)	0.56
6	Núm. frutos	0.35	0.43	1.6 (O2)	0 (V4, O1, O3 y G1)	0.19
7	Longitud de la hoja (cm)	37.72	4.51	47 (G1)	28.8 (Y3)	20.33
8	Ancho de la hoja (cm)	26.71	5.72	38.33 (Y1)	16.8 (O1)	32.72
9	Longitud del peciolo (cm)	10.46	1.51	13 (C1)	7.6 (Y3)	2.27
10	Longitud del foliolo (mm)	15.9	2.22	21.75 (Y2)	12 (Y3)	4.92
11	Ancho del foliolo (último) (mm)	7.44	1.18	9.2 (V2)	5 (O3)	1.4
12	Días a la primera floración	180.53	28.89	240 (G3)	129.6 (O4)	834.51

*= valor promedio de cinco plantas. Valores obtenidos a los 301 DDT e inicio de la floración obtenido en DDS.

La floración en moringa puede ocurrir una vez o dos veces al año, dependiendo de las condiciones ambientales (temperatura y precipitación). Price (2000) mencionó que la floración puede ocurrir cuatro veces o durante el año. La pigmentación de las flores varió de blanco, blanco cremoso y blanco rosáceo. Algunas accesiones presentaron pigmentación púrpura en los pétalos. Popoola *et al.* (2016) registraron flores blancas con pigmentación purpura, blanco o blanco cremoso sin pigmentación y 50% de la floración ocurrió en los 161 y 167 días. Moringa es una especie que presenta gran variabilidad en el color de sus flores y en algunas variedades de la India se han registrado flores con base rosa y rosa oscuro (PPV y FR, 2001).

Diversos estudios afirmaron que las flores de color rosa y rosa oscuro reciben más visitas de abejorros que las de color amarillo. Este factor representa, aparentemente, una estrategia de adaptación y reproducción (Bradshaw y Schemske, 2003; Reverté *et al.*, 2016). Por tanto, se promueve la polinización cruzada entre accesiones de moringa y facilita la creación de nuevas variedades. Factores como la temperatura y la humedad del suelo influyen en el incremento de las flores, viabilidad del polen y disminuyen el número de frutos (Muhl *et al.*, 2013).

Coefficiente de correlación (r) de Pearson de los caracteres morfológicos

La matriz de correlación de Pearson entre los descriptores cuantitativos de moringa se muestra en el Cuadro 5. Se encontró una correlación positiva entre el largo de la hoja con el ancho ($r= 0.857$) y el largo de la hoja con el largo del peciolo ($r= 0.851$). También se encontró una correlación entre el diámetro y la altura ($r= 0.675$). Se identificó una correlación negativa entre los días a la primera floración con el número de flores ($r= -0.599$) y con el número de frutos ($r= -0.361$).

Cuadro 5. Matriz de correlación de descriptores cuantitativos de *Moringa oleifera* a los 301 DDT.

	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Núm. hojas	Núm. ramas	Núm. flores	Núm. frutos	L. hoja	A. hoja	L. peciolo	L. foliolo	A. foliolo	DP. floración
Altura (cm)	1											
Diámetro (mm)	0.675*	1										
Núm. hojas	0.042	0.103	1									
Núm. ramas	0.333*	0.18	0.318*	1								
Núm. flores	0.134	0.088	0.166	-0.104	1							
Núm. frutos	0.284	0.344*	-0.226	0.025	0.364*	1						
L. hoja (cm)	0.368*	0.382*	-0.422*	-0.363*	0.073	0.106	1					
A. hoja (cm)	0.327*	0.454**	-0.285	-0.22	0.324*	0.175	0.857*	1				
L. peciolo (cm)	0.187	0.24	-0.472*	-0.484*	0.207	0.109	0.851*	0.686*	1			
L. foliolo (mm)	0.249	0.386*	-0.47*	-0.048	-0.088	0.24	0.288	0.219	0.304*	1		
A. foliolo (mm)	-0.085	0.045	-0.187	-0.117	0.084	0.269	0.068	0.017	0.126	0.636*	1	
DP. floración	-0.161	-0.134	-0.127	-0.113	-0.599**	-0.361*	-0.102	-0.199	-0.219	0.078	-0.343*	1

**= correlación significativa a 0.01. *= correlación significativa a 0.05.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales demostró la variabilidad en los caracteres morfológicos en las 20 accesiones de moringa (Cuadro 6). El porcentaje de variación fue de 52.87, 37.54, 6.16, 1.98 y 0.63 para los componentes 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

Cuadro 6. Análisis de componentes principales para descriptores morfológicos de *Moringa oleífera* a los 301 DDT.

Núm.	Descriptor	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
1	Altura (cm)	0.6	0.785	0.029	-0.11	-0.094
2	Diámetro (mm)	0.075	0.091	0.006	0.291	0.856
3	Número de hojas	0.04	-0.025	0.906	0.378	-0.09
4	Ramas	0.026	0.023	0.113	-0.157	0.179
5	Número de flores	0.013	-0.009	0.003	0.025	-0.03
6	Número de frutos	0.006	0	-0.01	-0.009	0.038
7	Longitud de la hoja (cm)	0.042	0.046	-0.264	0.458	-0.238
8	Ancho de la hoja (cm)	0.064	0.036	-0.276	0.713	-0.102
9	Longitud del peciolo (cm)	0.013	0.002	-0.093	0.114	-0.062
10	Longitud del foliolo (mm)	0.006	0.024	-0.099	-0.023	0.339
11	Ancho del foliolo (último) (mm)	0.008	-0.014	-0.026	-0.019	0.115
12	Hojas	0	0	0	0	0
13	Color de peciolo de la hoja	0.005	0.009	-0.001	0.014	0.067
14	Forma de la hoja	0	0	0	0	0
15	Ápice de la hoja (en hoja madura)	0	0	0	0	0
16	Pubescencia en la hoja	0.004	-0.003	0.001	-0.011	-0.029
17	Días a la primera floración	-0.791	0.609	0.034	0.043	-0.006
18	Color de la flor	0.008	0.001	-0.004	0.015	0.103
19	Manchas purpuras en las flores	-0.003	0.008	0.003	0.007	0.016
20	Color de anteras	0.002	-0.002	-0.003	-0.007	0.027
	Eigenvalue	938.953	666.755	109.553	35.323	11.289
	Variance (%)	52.874	37.546	6.169	1.989	0.636

CP= componente principal.

En la Figura 3, bidimensional de los análisis de componentes principales 1 y 2 se observan 3 grupos. El grupo A comprende las accesiones O2, Y2, C2, G2, C3, V2, G4, C1, V3, Y1, O4 y V1. El grupo B comprende las accesiones G3, O3, G1, Y3 y C4. En el grupo C se identificaron las poblaciones V4, O1 y Y4 (Figura 3). La agrupación fue resultado del CPA con base en el análisis de los descriptores morfológicos.

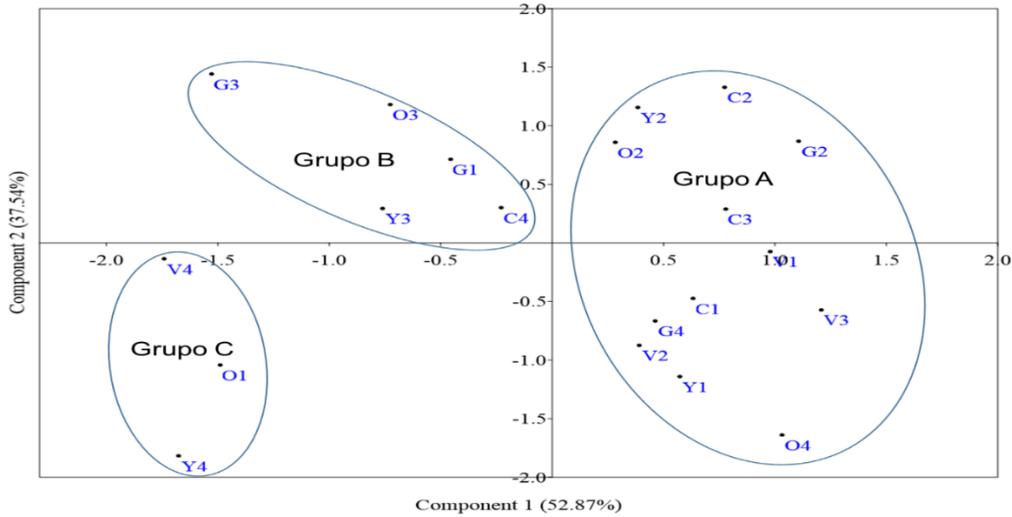


Figura 3. Dispersión de los componentes 1 y 2 para las 20 accesiones de *Moringa oleifera* Lam., del sur-sureste de México.

Clúster

En el grupo A se formaron dos subgrupos: I (O2, Y2, C2, G2) y II (O4, G4, C1, Y1, V2, V3, C3 y V1). En el grupo B se formaron los subgrupos: I (O3, G1, C4, G3) y II (Y3). En el grupo C se identificaron a las accesiones V4, O1 y Y4 (Figura 4).

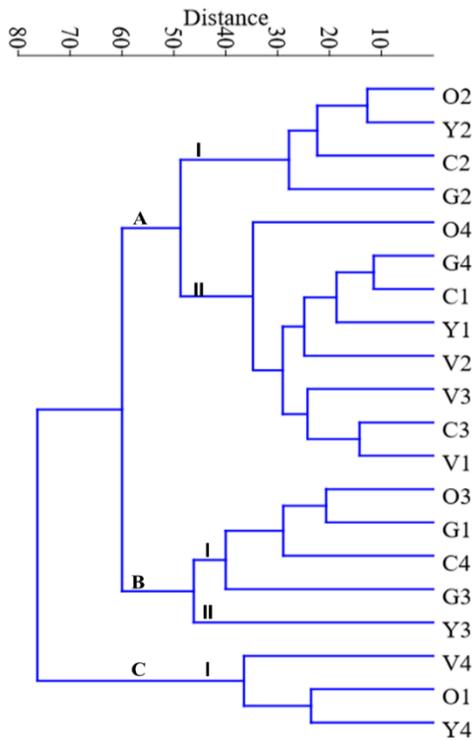


Figura 4. Análisis de clúster basado en datos morfológicos de 20 accesiones de *Moringa oleifera* recolectadas en el sur-sureste de México.

Conclusiones

Existe una diversidad morfológica en los accesos de moringa provenientes del sur-sureste de México. Esta diversidad puede servir para reforzar el conocimiento de moringa y ampliar la información respecto a su fisiología, fenología y producción. El conocimiento morfológico de las accesiones permitirá la creación de programas de conservación, selección y generación de materiales élite con mayor potencial adaptativo, resistencia a plagas y enfermedades y con mayor capacidad productiva y contenido nutricional.

Literatura citada

- Baiyeri, K. P.; Apeh, P.; Stevens, G. C.; Ndukwe, O.; Aba, S. C. and Otitoju, G. T. 2015. Growth performance and nutrient quality of three *Moringa oleifera* accessions grown as potplant under varied manure rates and watering intervals. *Afr. J. Biotechnol.* 14(24):1996-2004. doi: 10.5897/AJB2014.14359.
- Bradshaw, J. H. D. and Schemske, D. W. 2003. Allele substitution at a flower colour locus produces a pollinator shift in monkeyflowers. *Nature.* 426(6963):176-178. doi: 10.1038/nature02106.
- Chaves-Bedoya, G.; Galvis-Pérez, Z. L. y Ortiz-Rojas, L. Y. 2017. Diversidad genética de *Moringa oleifera* Lam. En el nororiente colombiano utilizando marcadores RAMs. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 11(2):408-415. doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7343>.
- Dao, M. C. E. and Kabore, K. H. 2015. Morphological characteristic variation of eleven provenances of *Moringa oleifera* seedlings grown in the northern sudanese area of burkina faso. *Afr. J. Plant Sci.* 9(10):401-411. doi: 10.5897/AJPS2015.1334.
- Du-Toit, E. S.; Fotouo, H. and Robbertse, P. J. 2017. Seed storage conditions influence germination of *Moringa oleifera* Lam. seed. *Acta Hortíc.* 1158:441-446. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173287864>.
- Folkard, G.; Sutherland, J. and Shaw, R. 1999. Water clarification using *Moringa oleifera* coagulant. 'Water and environmental health at london and loughborough' (well), Loughborough University, Loughborough. 109-112 pp.
- Förster, N.; Ulrichs, C.; Schreiner, M.; Arndt, N.; Schmidt, R. and Mewis, I. 2015. Ecotype variability in growth and secondary metabolite profile in *Moringa oleifera*: impact of sulfur and water availability. *J. Agric. Food Chem.* 63(11):2852-2861. doi: 10.1021/jf506174v.
- Fotouo-M, H.; Du-Toit, E. S. and Robbertse, P. J. 2015. Germination and ultrastructural studies of seeds produced by a fast-growing, drought-resistant tree: implications for its domestication and seed storage. *AoB Plants.* 1-12. doi: 10.1093/aobpla/plv016.
- Kumar, A. P.; Sarawgi, A. K.; Bhandarkar, S. and Ojha, G. C. 2017. Agro-morphological characterization and morphological based genetic diversity analysis of Rice (*Oryza sativa* L.) germplasm. *J. Pharmacognosy Phytochem.* 6(6):75-80. <http://www.phytojournal.com/archives/?year=2017&vol=6&issue=6&ArticleId=2062>.
- Ledea-Rodríguez, J. L. G.; Rosell-Alonso, D. G.; Benítez-Jiménez, R. C.; Arias-Pérez, J. V.; Ray-Ramírez, and J. J. y Reyes-Pérez. 2018. Producción de semillas de variedades de *Moringa oleifera* Lam. En el valle del cauto. *Agron. Mesoam.* 29(2):415-423. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.29545>.
- Leone, A.; Spada, A.; Battezzati, A.; Schiraldi, A.; Aristil, J. and Bertoli, S. 2015. Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: an overview. *Inter. J. Mol. Sci.* 16(6):12791-12835. Doi: 10.3390/ijms160612791.

- Martín, C.; Martín, G.; García, A.; Fernández, T.; Hernández, E. and Puls, J. 2013. Potential applications of *Moringa oleifera*. A critical review. *Pastos y Forrajes*. 36(2):137-149. <https://www.researchgate.net/publication/303986314>.
- Mgendi, M. G.; Nyomora, A. M. and Manoko, M. K. 2011. Using morphological markers to assess variations between and within cultivated and non-cultivated provenances of *Moringa oleifera* Lam. in Tanzania. *J. Life Sci.* 5:387-392.
- NRC. 2006. National Research Council. 'moringa' -lost crops of Africa National Academic Press. ISBN: 978-0-309-10333-6. 247-267 pp.
- Olguín, C. P. 1999. Fertiirrigación orgánica: investigación y transferencia. *Terra Latinoam.* 17(3):175-178. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317301.pdf>.
- Opare-Obuobi, K. 2012. Characterisation of local and exotic accessions of moringa (*Moringa oleifera* Lamarck). Department of crop science. College of Agriculture and Consumer Sciences University of Ghana 132 p.
- Panshin, A. J. and Zeeuw, C. D. 1970. Textbook of wood technology. Volume I. 3^{ra} (Ed.). Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada. Textbook of wood technology. Volume I. Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada. 63-64 pp.
- Pérez, A.; Sánchez, T.; Armengol, N. y Reyes, F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark: una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*. 33(4):1-16.
- Popoola, J. O.; Bello, O. A. and Obembe, O. O. 2016. Phenotypic intraspecific variability among some accessions of Drumstick (*Moringa oleifera* Lam.). *Can. J. Pure Appl. Sci.* 10(1):3681-3693. <https://www.researchgate.net/publication/289521612>.
- PPV and FR. 2001. Guidelines for the conduct of test for distinctiveness, uniformity and stability on drumstick (*Moringa oleifera* Lam). Protection of plant varieties and farmers' rights authority. government of India. New Delhi, India. 1-29 pp.
- Price, L. M. 2000. The Moringa tree: revised in 2000 by Kristin Davis. 1-14 pp.
- Ramos, L. M.; Costa, R. S.; Môro, F. V. and Silva, R. C. 2010. Morfología de frutos e sementes e morfofunção de plântulas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Comunicata Scientiae*. 1(2):156-160. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6294707>.
- Resmi, D. S.; Celine, V. A. and Rajamon, L. 2005. Variability among drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) accessions from Central and Southern Kerala. *J. Tropical Agric.* 43(1-2):83-85. <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/141>.
- Reverté, S.; Retana, J.; Gómez, J. M. and Bosch, J. 2016. Pollinators show flower colour preferences but flowers with similar colours do not attract similar pollinators. *Ann. Bot.* 118(2):249-257. Doi: 10.1093/aob/mcw103.
- Santiago, M. T. B. and Bezerra, N. E. 2017. Ecophysiology of *Moringa oleifera* Lam. in function of different rainfall conditions. *Rev. Geoma.* 3(4):236-241.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2009. Fisiología vegetal. 4^{ta}. (Ed.). Porto Alegre. Universidad Jaume. Artmed. 656 p.
- Tesfay, S. Z.; Bertling, I.; Odindo, A. O.; Workneh, T. S. and Mathaba, N. 2011. Levels of anti-oxidants in different parts of moringa (*Moringa oleifera*) seedling. *Afr. J. Agric. Res.* 6(22):5123-5132. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1101>.
- Valdés, R. O. A.; Wassenaar, O. M. P.; Ruiz R. y Pérez, A. V. 2014. Potencial de la asociación moringa y ricinus en el subtrópico veracruzano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(2014):1673-1686. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1056>.

- Vasconcelos, M. C.; Costa, J. C.; Sousa, J. P. S.; Santana, F. V.; Soares, T. F. S. N.; Oliveira L. F. G. D. and Silva-Mann, R. 2019. Biometric and physiological responses to water restriction in *Moringa oleifera* seedlings. *Floresta e Ambiente*. 26(1):1-8. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.016515>.
- Zaku, S. G.; Emmanuel, S.; Tukur, A. A. and Kabir, A. 2015. *Moringa oleifera*: an underutilized tree in Nigeria with amazing versatility: A review. *Afr. J. Food Sci.* 9(9):456-461. <https://doi.org/10.5897/AJFS2015.1346>.