

Caracterización morfoagronómica de accesiones no tóxicas de *Jatropha curcas* L.**Morphoagronomic characterization of non-toxic accessions of *Jatropha curcas* L.**

Hilda Beatriz Wencomo-Cárdenas¹ <https://orcid.org/0000-0002-1450-5611>, Arturo Pérez-Vázquez² <https://orcid.org/0000-0002-8440-7814>,
Eliseo García-Pérez² <https://orcid.org/0000-0002-4752-3752> y Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez³ <https://orcid.org/0000-0002-3702-6920>

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. Central España Republicana. CP 44280, Matanzas, Cuba. ²Colegio de Postgraduados, Campus-Veracruz. km. 88.5, Carretera Federal Xalapa-Veracruz, CP 91690. Apartado Postal 421 Veracruz, México. ³Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto no. 26, Xalapa, Veracruz, CP 91000, México. Correo electrónico: parturo@colpos.mx

Resumen

Objetivo: Caracterizar la variabilidad morfoagronómica de 12 accesiones no tóxicas de *Jatropha curcas* L., en el campo experimental del Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, en la región centro del estado de Veracruz, México.

Materiales y Métodos: Se tomaron seis accesiones propagadas por semillas y seis por estacas, establecidas hace ocho años. Se midieron los indicadores altura, número de ramas, diámetro del tallo, cantidad de racimos y su longitud, cantidad y longitud de las inflorescencias, cantidad de frutos y semillas y sus dimensiones. Los datos se procesaron mediante el análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y de correlación. Se explicó 91,65 % de la variabilidad a través de cinco componentes.

Resultados: La cantidad, longitud y ancho de los frutos, cantidad de semillas y sus dimensiones; así como altura, número de ramas y racimos y diámetro, fueron los indicadores más variables con los que se explicó 54,17 % de la variabilidad en las dos primeras componentes. Se formaron tres grupos. El grupo II, fue el de mejor comportamiento en 10 de los 15 indicadores evaluados. Las accesiones I-32 e I-65 demostraron el mejor comportamiento. Se constató la existencia de correlaciones fuertes y positivas entre la cantidad de fruto y cantidad y longitud de las semillas; y moderadas entre la temperatura mínima y la altura.

Conclusiones: Se observó alta variabilidad en función de los caracteres estudiados, mientras que el grado de afectación por enfermedades fue de medio a bajo. Las accesiones I-32 e I-65 evidenciaron el mejor comportamiento en 10 de los indicadores evaluados.

Palabras clave: características agronómicas, *Jatropha curcas*, plantas o leguminosas

Abstract

Objective: To characterize the morphoagronomic variability of 12 non-toxic *Jatropha curcas* L. accessions, in the experimental field of the College of Postgraduate Studies-Veracruz Campus, in the central region of Veracruz state, Mexico.

Materials and Methods: Six accessions propagated by seeds and six by stakes, established eight years earlier, were taken. The indicators height, number of branches, stem diameter, quantity and length of racemes, quantity and length of inflorescences, quantity of fruits and seeds and their sizes, were measured. The data were processed through principal component analysis, cluster and correlation analysis. Of the variability, 91,65 % was explained through five components.

Results: The quantity, length and width of the fruits, quantity of seeds and their sizes; as well as height, number of branches and racemes and diameter, were the most variable indicators with which 54,17 % of the variability was explained in the first two components. Three groups were formed. Group II was the one with the best performance in 10 of the 15 evaluated indicators. The accessions I-32 and I-65 showed the best performance. The existence of strong and positive correlations between quantity of fruit and seed quantity and length; and moderate between minimum temperature and height, was observed.

Conclusions: High variability was observed with regards to the studied traits; while the degree of affectation by diseases was from moderate to low. The accessions I-32 and I-65 showed the best performance in 10 of the evaluated indicators.

Keywords: agronomic characters, *Jatropha curcas*, oil crops

Introducción

Jatropha curcas L., conocida como piñón, es una planta oleaginosa originaria de América tropical (Tsuchimoto, 2017), que pertenece a la familia

Euphorbiaceae, con aproximadamente 188 especies, de amplia distribución en Centroamérica, el Caribe, Sudamérica, Asia y África. Según Laviola

Recibido: 10 de febrero de 2020

Aceptado: 23 de septiembre de 2020

Como citar este artículo: Wencomo-Cárdenas, Hilda B.; Pérez-Vázquez, A.; García-Pérez, E. & Valdés-Rodríguez, Ofelia A. Caracterización morfoagronómica de accesiones no tóxicas de *Jatropha curcas* L. *Pastos y Forrajes*. 43 (3):244-253, 2020.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

et al. (2017), lo más probable es que haya sido distribuida desde el Caribe por los navegantes portugueses a países de África a través de Cabo Verde y Guinea Bissau, así como a naciones del sudeste de Asia, como Indonesia, Malasia y Filipinas.

En la actualidad, se cultiva *J. curcas* para la producción de biocombustible (Borah *et al.*, 2018) en el centro y sudeste de la India. También en Asia, África y América se realizan investigaciones acerca de sus potencialidades para este fin (Savaliya *et al.*, 2015).

J. curcas se considera una planta multipropósito (Zavala, 2016), debido a la variedad de usos que tiene. Su cobertura vegetal se aprovecha, en la mayor parte de la India, para proteger los cultivos del daño causado por los animales, ya que el vacuno y caprino no la consume. En este sentido, el extracto acuoso del aceite de sus semillas contiene toxinas biodegradables, que se pueden aplicar como insecticida natural en diversos cultivos (Laviola *et al.*, 2017).

El uso comestible de *J. curcas* solo se ha documentado en México (Pecina-Quintero *et al.*, 2014), en los estados de Quintana Roo y Veracruz. En este último, en particular en Totonacapan, se usa tradicionalmente como alimento (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2013). En esta región, sus semillas se emplean como botana, salsas, tamales y en platillos tradicionales (Martínez-Herrera *et al.*, 2012). Estos materiales se consideran no tóxicos, por carecer de ésteres de forbol. Para el caso de los territorios del sur del estado, su uso es muy limitado, debido a que la mayoría de las plantas son tóxicas (Sukla *et al.*, 2015).

En los últimos años, se ha prestado gran atención a las características fisiológicas, agronómicas, agroecológicas y productivas de *J. curcas* (Niestche *et al.*, 2015). Esta caracterización considera descriptores cuantitativos y cualitativos (Martín y Montes, 2015). Algunos trabajos en varias poblaciones de esta especie han informado bajo nivel de variabilidad genética (Santos *et al.*, 2016).

A partir de lo anterior, el objetivo de este estudio fue caracterizar la variabilidad morfoagronómica de accesiones no tóxicas de *J. curcas*, propagadas por semillas y por estacas o varetas; establecidas hace ocho años en el campo experimental del Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, en la región centro del estado de Veracruz, México.

Materiales y Métodos

Área de estudio. La investigación se llevó a cabo en el banco de germoplasma de *J. curcas* L.

no tóxicas, ubicado en el campo experimental del Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, en la región centro del estado de Veracruz, México. Esta instalación se localiza en el km 88,5 de la carretera Federal Xalapa-Veracruz, Colonia Tepetates, municipio Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, vía Paso de Ovejas. Su ubicación geográfica corresponde a 19° 11' 8.62" N y 96° 20' 31.26" O, a una altitud de 24 m. El clima es del tipo Aw (w) (i) g, que se corresponde con el clima subhúmedo de lluvias en verano. La precipitación y temperatura media anual es de 1 239, 5 mm y de 25 °C, respectivamente, con menos de 5 % de precipitación en invierno y fluctuación de temperatura de 5 a 7 °C (García, 1988).

Características climáticas. Los datos de temperatura (máxima, media y mínima) y precipitaciones se obtuvieron de la Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, de enero a septiembre de 2019.

En la figura 1 se muestra el comportamiento de las temperaturas (máxima, media y mínima); además de las precipitaciones durante el período de evaluación (enero a septiembre). La temperatura máxima fue de 35,6 °C, y la mínima de 20,3 °C.

Material vegetativo. Se trabajó en una plantación de 49 accesiones (23 sembradas por semillas y 26 por estacas), con ocho años de edad, sembradas según diseño completamente al azar, recolectadas en el estado de Veracruz. De ellas, se seleccionaron seis propagadas por semillas y seis por estacas, con tres repeticiones. Para la selección se tuvieron en consideración los resultados de trabajos de investigación realizados por García (2015), en los que se evaluaron características morfológicas y productivas de estas accesiones, y los estudios de Zavala (2016), quien hizo una caracterización morfo genética en sus centros de origen. En la tabla 1, se muestran las accesiones evaluadas.

Diseño experimental. El experimento se estableció según diseño de bloques completamente al azar. Se consideró cada planta a muestrear como una réplica. Las plantas se sembraron en junio del 2011, a una distancia de 3 m entre surcos x 2 m entre plantas. La única práctica de manejo fue el control periódico de plantas arvenses (malezas).

Variables morfológicas evaluadas. Se tomaron datos de las plantas propagadas por semillas y por estacas (varetas), usando los descriptores indicados por Campuzano (2009), Laviola *et al.* (2009) y por la Red de *Jatropha* spp. (SAGARPA y SNICS, 2014).

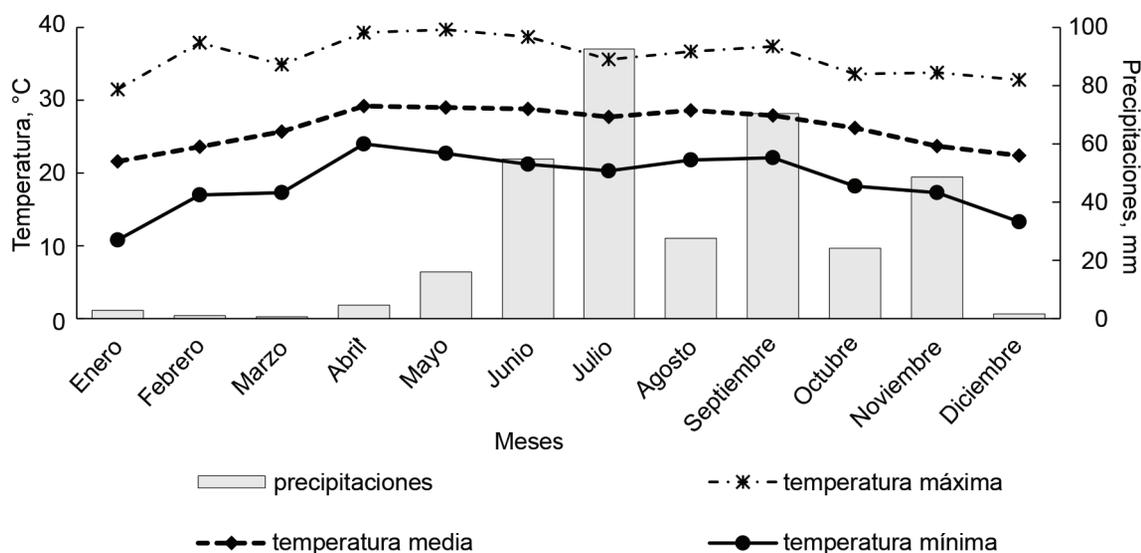


Figura 1. Comportamiento de la temperatura (máxima, media y mínima) y de las precipitaciones.

Tabla 1. Localización de las accesiones del estado de Veracruz, México.

Accesiones	Localidad	Municipio	Latitud N	Latitud O	Altura, msnm	Propagación
I-13	Paplanta	Paplanta	20° 27' 28.9"	97° 19' 16.2"	173	estacas
I-18	Insurgentes socialistas	Paplanta	20° 11' 25.5"	97° 15' 53.4"	119	semillas
I-26B	Cementerés	Nautla	20° 10' 38.9"	96° 53' 37.0"	9	semillas
I-32	Tuzamapán	Coatepec	19° 24' 00.7"	96° 52' 05.9"	892	estacas semillas
I-34	Alvarado	Papaloapán	18° 47' 26.1"	95° 45' 31.7"	22	estacas semillas
I-64	Tepetates	Sotavento	19° 11' 39.7"	96° 20' 38.0"	16	semillas
I-65	Tepetates	Sotavento	18° 11' 41.1"	96° 20' 37.2"	16	estacas
I-78	Paso del correo	Totonaca	20° 21' 24.0"	97° 14' 30.0"	39	estacas
I-80	Buenos Aires	Nautla	19° 56' 09.0"	95° 50' 00.0"	321	estacas semillas

Zavala (2016)

La variable altura de la planta (AP) se midió desde la base del tallo hasta el ápice, con una regla graduada en cm. El diámetro o grosor del tallo (DT) se determinó con un pie de rey (mm), a 10 cm por encima del nivel medio del suelo. El número total de ramas se obtuvo al contar las de cada una de las plantas muestreadas. Las mediciones antes mencionadas se realizaron en julio y septiembre, después de las lluvias.

También se contabilizó el número de ramillas y su longitud (mm), la cantidad de inflorescencias y su longitud (mm) y el número de racimos (NRac) y de frutos (NF) por planta. Estos últimos se muestrearon con frecuencia semanal. Se midió la

longitud (LF), el ancho (AF) y el espesor (EF) según la metodología descrita por Laviola y Macedo (2009). Además, se contabilizó el número de semillas por fruto y el número de semillas por fruto. Las semillas se extrajeron de los frutos de forma manual, y una vez secas se tomó una muestra al azar (50). Con un pie de rey se midió la longitud, el ancho y el espesor (mm).

Plagas y enfermedades. Se estimó el porcentaje de enfermedades en cada uno de los árboles evaluados (infestación producida por hongos, virus, o por ambos, en la planta entera) y el porcentaje de daños producidos por insectos, potencialmente plaga. Se utilizó una escala de cuatro grados:

Grado	Rango de lesiones
0	0 a 1 % (inmune)
1	2 a 10 (resistente)
2	11 a 20 % (tolerante)
3	> de 20 % (susceptible)

Análisis estadístico. Los datos se procesaron mediante un análisis de componentes principales (ACP). Se tomó como criterio de análisis las componentes principales que presentaron valores propios superiores a 1, y factor de suma o de preponderancia mayor que 0,70 (Morrison, 1967). Se aplicó el análisis de conglomerados para la agrupación y selección de las accesiones, utilizando como índice de similitud la distancia euclidiana, a partir de lo obtenido en el ACP (Torres *et al.*, 2006). Se determinaron los estadígrafos media y desviación estándar para las variables analizadas. Se utilizó, además, el análisis de correlación lineal para conocer la interrelación entre las variables. Todos los análisis se realizaron mediante el programa estadístico SPSS® versión 22,0 para Microsoft® Windows®.

Resultados y Discusión

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis de componentes principales. Se detectó una varianza acumulada de 91,65 % en las cinco primeras componentes. Las variables que mejor explicaron la varianza en la primera componente (34,20 %) fueron la cantidad, la longitud y el ancho de los frutos, además de la cantidad de semillas y sus dimensiones. La segunda componente extrajo una varianza de 19,96 %, explicada por la altura, el número de ramas y el diámetro (estos dos de forma negativa).

En la formación de la tercera componente influyeron la longitud de las ramillas, la cantidad y longitud de las inflorescencias, que explicaron 18,91 % de la varianza. Para la cuarta componente, se extrajo el 10,68 % de la varianza, fundamentada por la longitud de los racimos (de forma negativa); mientras que la quinta componente se explicó por el número de ramillas, y extrajo 7,87 % de la varianza.

El valor de la varianza de la primera componente (34,20) fue bajo, lo que evidencia la complejidad de

Tabla 2. Resultados del ACP y relación entre los indicadores.

Indicador	Componentes principales				
	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄	CP ₅
Altura, m	-0,089	0,708	-0,189	0,628	-0,027
Número de ramas	-0,134	-0,938	0,077	-0,111	0,175
Diámetro del tallo, mm	-0,152	-0,821	0,121	0,401	-0,138
Número de ramillas	0,059	-0,107	-0,193	0,090	0,926
Longitud de ramillas, mm	0,089	-0,036	0,902	-0,193	-0,145
Cantidad de inflorescencias	0,419	-0,221	0,739	-0,236	0,017
Longitud de inflorescencias, mm	-0,012	-0,081	0,932	-0,027	-0,126
Número de racimos	0,058	0,905	-0,031	0,139	0,009
Longitud de racimos, m	0,291	-0,030	0,302	-0,762	-0,169
Cantidad de frutos	0,959	0,114	0,077	-0,122	0,041
Longitud frutos, mm	0,961	-0,074	0,111	-0,179	0,031
Ancho frutos, mm	0,952	-0,083	0,120	-0,188	0,047
Espesor frutos, mm	0,622	0,497	-0,178	0,128	0,533
Cantidad semillas	0,933	0,152	0,015	-0,010	-0,078
Longitud semillas, mm	0,798	0,327	0,358	0,246	0,230
Ancho semillas, mm	0,784	0,213	-0,499	0,156	0,109
Espesor semillas, mm	0,480	0,054	-0,599	0,604	0,080
Valor propio	5,81	3,39	3,21	1,81	1,33
Varianza, %	34,20	19,96	18,91	10,68	7,87
Acumulado, %	34,20	54,17	73,08	83,77	91,65

las correlaciones entre las variables; es decir, existe alta variación entre los caracteres de las plantas, lo que también se relaciona con una gran diversidad morfológica, pues cada una de ellas puede que tenga un determinante propio, diferente en la productividad. No obstante, este análisis es válido, ya que cada una de las componentes seleccionadas tuvo un valor propio, superior a 1. Según los criterios de Kaiser (1960), ello supone considerar un factor que mejora la varianza proporcionada en un inicio para cada variable. Resultados similares, en cuanto al valor de la varianza, informaron Yengle-Ruíz (2012) en investigaciones realizadas para obtener índices sintéticos de calidad ambiental, así como Olivares (2014) en el diagnóstico socioambiental de un estudio de caso, y López-Roldán y Fachelli (2015), en trabajos de metodología de la investigación social cuantitativa.

Las variables espesor de los frutos y de las semillas no se incluyeron en ninguna de las cinco componentes, ya que el valor del factor de suma o de preponderancia (0,622 y 0,604; respectivamente) fue inferior a 0,70. Por tanto, se pudiera prescindir de ellos, cuando se realicen otras evaluaciones en circunstancias semejantes a las de esta investigación.

Para que la variabilidad correspondiente a cada indicador esté mejor relacionada con cada eje, en correspondencia con este tipo de análisis, el valor propio debe ser uno o mayor que uno (Philippeau, 1986). Esto se pudo comprobar en este trabajo, en el que la variabilidad estuvo bien distribuida, ya que dicho indicador en todos los casos fue superior.

Al respecto, se debe considerar lo planteado por Machado (2011), quien refiere que por lo regular las plantas frutales y otras leñosas suelen poseer alto grado de variabilidad. Esto se debe a que son netamente heterocigóticas y alógamas (de polinización cruzada), situación que conduce a la segregación genética en la descendencia, como sucede en *J. curcas*.

Lo anterior pudiera indicar que, independientemente de las condiciones edafoclimáticas, las poblaciones y, en particular, las accesiones de *J. curcas* (no tóxicas), pudieron expresar marcada variación entre individuos para algunos indicadores y agruparse en función de esas variables, lo que puede representar un elemento positivo en el trabajo de caracterización y evaluación. En ello pudo influir la variabilidad interespecífica e intraespecífica de la muestra estudiada, ya que estuvo conformada por varias accesiones recolectadas de disímiles ambientes y sembradas de forma diferente (por se-

milla y por estaca). También varían de forma marcada desde el punto de vista morfológico, y según las condiciones climáticas en las que transcurre la evaluación. Este es el caso de las diferencias que existen con respecto a las condiciones en que se desarrollaron los estudios de biología floral, cuantificación y medición de los componentes florales y su relación con el clima, realizados por García (2015). Este autor identificó los descriptores morfológicos relacionados con la producción en accesos de *J. curcas*, recolectados en diferentes regiones del estado de Veracruz, y propagados por semillas y estacas.

El valor alcanzado por la varianza acumulada y el valor propio de las componentes, permitió que casi todos los indicadores se incluyeran en el análisis de conglomerados, y poder determinar así la diferenciación o similitud entre las accesiones. Se exceptuaron las variables espesor de los frutos y de las semillas, ya que no contribuyeron a la expresión de la variabilidad de las componentes.

El análisis de conglomerados sobre la base de los resultados del ACP permitió la formación de tres grupos. Las accesiones pertenecientes a cada uno de ellos se muestran en la tabla 3, al igual que la media y la desviación estándar de cada uno de los grupos.

Los valores más altos, para la cantidad y la longitud de las ramillas y de las inflorescencias, la longitud de los racimos, el número y el ancho de los frutos, así como de la cantidad de semillas y sus dimensiones, se encontraron en el grupo III. Este último estuvo formado por las accesiones I-32 E, I-65 E (plantas sembradas por estacas). Le siguió el grupo II (I-32, I-34, I-18, I-80, I-13E, I-80E y I-78E), en cuanto al número de ramas, el diámetro del tallo, la cantidad de ramillas y la longitud de los frutos. En lo que respecta a la altura y cantidad de racimos, las cifras más altas correspondieron al I, representado por las accesiones I-26B, I-64, I-34E.

Como se puede observar, en los grupos I y II, se encuentran accesiones de plantas propagadas por semillas y por estacas. Esto pudiera indicar que en las poblaciones de esta especie se pueden encontrar genotipos, cuyo desarrollo se produce de forma rápida, mientras que otros son un poco más lentos, sin tener en cuenta que se sembraron o propagaron de manera directa por semilla, método que presupone un mejor establecimiento del vegetal. Por ello, independientemente de las diferencias que se observaron entre los indicadores, se debe señalar la evidente variabilidad que existe en la población de *J. curcas*.

Tabla 3. Distribución de los individuos, media y desviación estándar, según el análisis de conglomerados.

Indicador	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
	X	DS	X	DS	X	DS
Altura, m	3,3	0,20	2,8	0,18	2,4	0,58
Número de ramas	9,3	1,20	12,0	0,48	11,5	1,50
Diámetro del tallo, mm	123,2	6,17	256,7	8,70	187,2	33,25
Cantidad de ramillas	7,3	1,33	8,0	0,61	8,0	2,00
Longitud de ramillas, mm	0,7	0,00	0,7	0,02	0,7	0,03
Cantidad de inflorescencias	6,0	1,00	7,3	0,71	9,5	0,50
Longitud de inflorescencias, mm	0,7	0,01	0,7	0,01	0,7	0,05
Cantidad de racimos	18,3	1,66	11,1	0,02	12,0	5,00
Longitud de racimos, mm	0,7	0,03	0,8	0,02	0,8	0,01
Cantidad de frutos	36,7	9,26	23,1	6,91	158,0	20,00
Longitud de frutos, mm	2,4	0,08	2,5	0,28	11,4	0,96
Ancho de frutos, mm	1,6	0,20	1,7	0,11	7,3	0,59
Cantidad semillas	62,0	18,90	48,9	23,66	212,0	38,00
Longitud semillas, mm	1,7	0,05	1,7	0,05	2,2	0,45
Ancho semillas, mm	1,1	0,02	1,0	0,02	1,1	0,02
Grupo	Cantidad		Accesiones			
I	3		I-26B, I-64, I-34E			
II	7		I-32, I-34, I-18, I-80, I-13E, I-80E, I-78E			
III	2		I-32E, I-65E			

E: sembradas por estacas

Resultados similares registraron para esta especie Saadaoui *et al.* (2015), en Tunisia, al evaluar cinco caracteres cualitativos (área de la superficie foliar, longitud y ancho de la hoja, longitud del pecíolo y número de nodos), los que mostraron alta variabilidad morfológica ($p < 0,05$) en las ocho accesiones estudiadas. Saikia *et al.* (2015) encontraron variación moderada en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de ramas por planta y el peso de la semilla.

Gwafila *et al.* (2019), en estudios de caracterización morfoagronómica y molecular de un germoplasma de *J. curcas*, en Botswana, también hallaron diferencias significativas entre las accesiones, para los indicadores cualitativos y cuantitativos. Chakrabarty *et al.* (2019), en investigaciones realizadas en 45 genotipos, en Bangladesh, encontraron significativa variación genética para los 17 indicadores morfoagronómicos evaluados.

En la tabla 4 se presentan los resultados del análisis de correlación entre los indicadores de las plantas evaluadas y los factores ambientales, por la importancia que se les atribuye a las interrelaciones entre estos últimos y las características morfológicas y productivas de las plantas.

Existieron correlaciones fuertes entre la altura y el número de ramas (-0,778 de forma negativa). Y entre esta última y la cantidad de racimos (-0,857). Las hubo también entre la longitud de las ramillas y la de las inflorescencias (0,839), entre la cantidad de frutos con su longitud (0,962) y su ancho (0,966); así como entre la cantidad (0,856) y la longitud de las semillas (0,805).

De igual forma, se encontraron altas correlaciones entre la longitud del fruto y su ancho (0,996), la cantidad (0,850) y la longitud (0,751) de las semillas. Fueron elevadas las correlaciones entre el ancho del fruto con la cantidad (0,822) y la longitud (0,745) de las semillas, y entre el espesor del fruto y la longitud (0,749) y el ancho (0,726) de las semillas. Este comportamiento se repitió entre la cantidad de semillas con su longitud (0,784) y su ancho (0,787), y entre este último con su espesor (0,817).

Se observaron correlaciones moderadas entre la altura y la temperatura mínima (0,552); entre esta última y el número de ramas (-0,501), el diámetro del tallo (-0,610), la longitud de las ramillas (-0,522) y de las inflorescencias (-0,536). También entre el espesor del fruto (0,672) y el ancho (0,584)

Tabla 4. Matriz de las correlaciones fenotípicas entre los indicadores evaluados y los factores ambientales.

Indicador	A	NR	DT	NRA	LRA	CI	LI	NRS	LRS	CF	LF	AF	EF	CS	LS	AS	ES
Altura	1																
Número de ramas	-0,778	1															
Diámetro del tallo	-0,328	0,675	1														
Número de ramillas	0,008	0,176	0,028	1													
Longitud de ramillas	-0,308	0,108	0,001	-0,324	1												
Cantidad inflorescencias	-0,484	0,223	0,145	-0,137	0,678	1											
Longitud inflorescencias	-0,254	0,106	0,233	-0,222	0,839	0,629	1										
Número de racimos	0,651	-0,857	-0,636	-0,070	-0,160	-0,183	-0,081	1									
Longitud de racimos	-0,539	-0,021	-0,159	-0,133	0,441	0,481	0,440	-0,132	1								
Cantidad de frutos	-0,099	-0,198	-0,285	0,015	0,136	0,520	0,004	0,160	0,323	1							
Longitud frutos	-0,276	-0,003	-0,172	0,023	0,234	0,527	0,078	-0,043	0,394	0,962	1						
Ancho frutos	-0,290	0,012	-0,163	0,028	0,220	0,553	0,082	-0,043	0,391	0,966	0,997	1					
Espesor frutos	0,391	-0,457	-0,582	0,473	-0,214	0,031	-0,335	0,507	-0,152	0,672	0,553	0,554	1				
Cantidad semillas	0,019	-0,304	-0,251	0,024	0,137	0,325	0,050	0,163	0,380	0,856	0,850	0,822	0,570	1			
Longitud semillas	0,241	-0,363	-0,302	0,173	0,307	0,439	0,276	0,349	0,098	0,805	0,751	0,745	0,747	0,784	1		
Ancho semillas	0,284	-0,379	-0,257	0,296	-0,432	-0,159	-0,453	0,279	0,034	0,688	0,637	0,617	0,726	0,787	0,574	1	
Espesor semillas	0,473	-0,220	0,046	0,297	-0,615	-0,422	-0,556	0,185	-0,468	0,314	0,264	0,241	0,531	0,485	0,355	0,817	1
Precipitaciones	-0,018	-0,222	-0,424	-0,144	-0,284	-0,250	-0,553	-0,074	0,315	0,367	0,387	0,373	0,237	0,352	-0,028	0,523	0,215
Temperatura máxima	0,033	0,186	0,451	0,309	-0,135	-0,379	-0,007	-0,213	-0,096	-0,084	0,055	0,010	-0,086	0,186	0,045	0,325	0,454
Temperatura media	0,125	-0,130	-0,135	0,625	-0,486	-0,450	-0,472	0,004	0,108	0,227	0,271	0,240	0,457	0,435	0,178	0,762	0,624
Temperatura mínima	0,552	-0,501	-0,610	0,341	-0,522	-0,487	-0,536	0,425	-0,284	0,186	0,077	0,065	0,672	0,323	0,318	0,584	0,612

A: altura (mm), NR: número de ramas, DT: diámetro del tallo (mm), NRA: número de ramillas, LRA: longitud de ramillas, CI: cantidad de inflorescencias, LI: longitud de inflorescencias (mm), NRS: número de racimos, LR: longitud de racimos (mm), CF: cantidad de frutos, LF: longitud de frutos, AF: ancho frutos (mm), EF: espesor frutos (mm), CS: cantidad semillas, LS: longitud semillas (mm), AS: ancho semillas (mm), ES: espesor semillas (mm).

y espesor (0,612) de las semillas; entre la temperatura media y el número de ramillas (0,625), el ancho (0,762) y el espesor (0,624) de las semillas; y entre las precipitaciones y la longitud de las inflorescencias (-0,553) y el ancho (0,523) de las semillas.

Estos resultados son similares a los encontrados por Araiza-Lizarde *et al.* (2016), quienes plantearon que las temperaturas más altas no favorecieron el crecimiento de los individuos de *J. curcas*, a diferencia de la precipitación y la humedad relativa.

Características morfológicas de los frutos y las semillas. Se pudo corroborar lo planteado por Hidalgo y Grández (2013), en lo que respecta al fruto de esta especie. Se trata de una cápsula drupácea y ovoide. Después de la polinización se forma una fruta trilobular de forma elipsoidal. Al inicio es de color verde y carnoso, pero al madurar va cambiando su color a amarillo, hasta volverse de color café, oscuro o negro.

Solo se cosechó una gran cantidad de frutos de dos de las accesiones seleccionadas de *J. curcas* (no tóxica), que pertenecen a las plantas propagadas por estacas o varetas (I-32 e I-65). Estas también se destacaron, en cuanto a los indicadores cantidad de semillas por frutos, longitud, ancho y volumen, al igual que I-32, propagada por semillas.

Este comportamiento, en cuanto a la producción de frutos, se pudiera asociar a características de orden fisiológico, genético o de respuesta de las plantas a las condiciones ambientales, que no fueron las más idóneas (figura 1) para el buen desarrollo del cultivo; a pesar de que esta especie es capaz de desarrollarse en condiciones limitantes (Pérez-Vázquez *et al.*, 2013). Otro factor que pudo haber influido fue la falta de manejo agronómico (en esta plantación de ocho años solo se realizó la chapea manual de las plantas arvenses), al que no todas las plantas responden de la misma forma.

Por otra parte, se observó la presencia de lepidópteros, trips, saltahojas (*Empoasca* sp.). Se encontró, además, infestación producida por hongos, presumiblemente de los géneros *Colletotrichum* y *Cercospora*. También se comprobó un síntoma de mosaico, con agarrotamiento en las hojas y en las nuevas inflorescencias, causado posiblemente por un agente viral.

El grado de afectación ocasionado por enfermedades fue de medio a bajo (entre 15 y 20 %), y su incidencia se manifestó en las accesiones propagadas por semillas y por estacas. No obstante, el agarrotamiento de las hojas fue más acentuado entre las propagadas por semillas.

Quiroga-Madrugal *et al.* (2014) refirieron síntomas de antracnosis, causados por *Colletotrichum gloeosporoides* (Penz) y por *Colletotrichum circinans* (Berk) en el peciolo, las flores, las hojas y los frutos; así como de mancha foliar por *Cercospora* sp. Sacc, para las plantaciones de *J. curcas* en el sur de México.

Conclusiones

Se pudo constatar una alta variabilidad en función de los caracteres estudiados, mientras que el grado de afectación por enfermedades fue de medio a bajo. A su vez, las accesiones I-32 e I-65 fueron las de mejor comportamiento en 10 de los indicadores evaluados.

Agradecimientos

Se agradece a la beca de Excelencia de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), otorgada por el Gobierno de México, a través de la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo y al Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz (COLPOS), por posibilitar el desarrollo de la investigación.

Contribución de los autores

- Hilda Beatriz Wencomo-Cárdenas. Llevó a cabo los experimentos, la toma y el procesamiento de datos, la redacción y arreglos en el manuscrito.
- Arturo Pérez-Vázquez. Contribuyó al asesoramiento de la investigación.
- Eliseo García-Pérez. Desarrolló el diseño y montaje del experimento y asesoró la investigación.
- Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez. Participó en la génesis de la idea, la recolección, la interpretación de los datos y el análisis de los resultados, así como en la preparación y la revisión del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Referencias bibliográficas

- Araiza-Lizarde, Nidia; Alcaraz-Meléndez, Lilia; Angulo-Escalante, M. Á.; Reynoso-Granados, T.; Cruz-Hernández, P.; Ortega-Nieblas, Magdalena *et al.* Caracterización y distribución de germoplasma silvestre de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) en el noroeste de México. *Polibotánica*. 42:137-152, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.7>.
- Borah, Nilakshi; Mapelli, S.; Pecchia, Paola; Mudoi, Kalpataru Dutta; Chaliha, Bithika; Gogoi, A. *et al.* Variability of growth and oil characteristics of *Jatropha curcas* L. in North-east India. *Biofuels*. 1-11. 2018. <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1472979>.

- Campuzano, L. F. Perspectivas de la investigación de *Jatropha curcas* L. en Colombia Parte I: Componente genético. *Rev. Fac. Nac. Agron., Medellín*. 62 (3):51-63, 2009.
- Chakrabarty, S.; Aminul-Islam, A. K. M.; Sultana, Nasrin & Chakraborty, P. Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. genotypes: a potential bio-fuel crop in Bangladesh. *Biofuels*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1655213>.
- García, Florencia. *Características morfológicas y productivas de accesos de Jatropha curcas L., no tóxicos, del Estado de Veracruz, México*. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias. México: Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, 2015.
- García, M. *Observaciones de la polinización en Jussiaea bataua (Arecaceae) en la reserva de producción faunística Cuyabeno, Amazonia del Ecuador*. Tesis en Biología. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 1988.
- Gwafila, C.; Batlang, U. & Ngwako, S. Morphological and molecular characterization of *Jatropha curcas* L. germplasm in Botswana. *Afr. J. Biotechnol.* 18 (28):726-734, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2019.16845>.
- Hidalgo-Meléndez, E. & Grández-López, Segunda. *Mecanismo de polinización para el mejoramiento de piñon blanco (Jatropha curcas L.)*. La Molina, Perú: Gobierno Regional de San Martín, 2013.
- Kaiser, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.* 20 (1):141-151, 1960. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>.
- Laviola, B. G.; Bhering, L. L.; Albrecht, J. C.; Marques, S. & Rosado, Tatiana B. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso. En: *Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel*. Anais. Lavras, Brasil: UFLA, 2009.
- Laviola, B. G. & Macedo, J. *Red Jatropha Latinoamérica y Caribe. I Reunión de la Red Jatropha*. Brasilia: LAC, 2009.
- Laviola, B. G.; Rodrigues, Erina V.; Teodoro, P. E.; Peixoto, L. de A. & Bhering, L. L. Biometric and biotechnology strategies in *Jatropha* genetic breeding for biodiesel production. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 76:894-904, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.116>.
- López-Roldán, P. & Fachelli, Sandra. *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Barcelona, España: Universitat Autònoma de Barcelona, 2015.
- Machado, R. Caracterización morfológica y productiva de procedencias de *Jatropha curcas* L. *Pastos y Forrajes*. 34 (3):267-279, 2011.
- Martin, M. & Montes, J. M. Quantitative genetic parameters of agronomic and quality traits in a global germplasm collection reveal excellent breeding perspectives for *Jatropha curcas* L. *Glob. Change Biol. Bioenergy*. 7:1335-1343, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12227>.
- Martínez-Herrera, J.; Jimenez-Martínez, C. & Guemes-Vera, A. Norma. Use of *Jatropha curcas* L. (non-toxic variety) as traditional food and generation of new products in México. In: *Jatropha, challenges for a new energy crop*. Vol. 1. Farming, economics and biofuel. New York: Springer Science+Business Media, 2012.
- Morrison, D. F. *Multivariate statistical methods*. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1967.
- Nietsche, Silvia; Vendrame, W. A.; Crane, J. H.; Pereira, M. C. T.; Costa, Anne & Reis, S. T. Variability in reproductive traits in *Jatropha curcas* L. accessions during early developmental stages under warm subtropical conditions. *Glob. Change Biol. Bioenergy*. 7:122-134, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12113>.
- Olivares, B. Aplicación del análisis de componentes principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: Sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Multiciencias*. 14 (4):364-374, 2014.
- Pecina-Quintero, V.; Anaya-López, J. L.; Zamarripa-Colmenero, A.; Núñez-Colina, C. A.; Montes-García, N.; Solís-Bonilla, J. L. *et al.* Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in Mexico and probable centre of origin. *Biomass Bioenerg.* 60:147-155, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.005>.
- Pérez-Vázquez, A.; Hernández-Salinas, G.; Ávila-Reséndiz, C.; Valdés-Rodríguez, O. A.; Gallardo-López, F.; García-Pérez, E. *et al.* Effect of the soil water content on *Jatropha* seedlings in a tropical climate. *Int. Agrophys.* 27 (3):351-357, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2478/intag-2013-0004>.
- Philippeau, G. *Comment interpreter les résultats d'une analyse en composantes principales*. Lusignan, France: Services de Etudes Statistiques, ITCF, 1986.
- Quiroga-Madrigal, R.; Rosales-Esquinca, Maria; Rincón-Espinosa, Mercedes P.; Salazar-Pinacho, W. M. & Sol-Hernández, Gabriela. Enfermedades del piñón. En: A. Pérez-Vázquez, Ofelia A. Valdés-Rodríguez y E. García-Pérez, eds. *Manual de buenas prácticas para el cultivo de Jatropha curcas L.* México: Colegio de Postgraduados, 2014.
- Saadaoui, E.; Martín, J. J.; Bouazizi, R.; Romdhane, C. B.; Grira, M.; Abdelkabar, S. *et al.* Phenotypic variability and seed yield of *Jatropha curcas* L. introduced to Tunisia. *Act. Bot. Mex.* 110:119-134, 2015.
- SAGARPA & SNICS. *Guía técnica para la descripción varietal de Jatropha curcas*. México: Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca

- y Alimentación-Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2014.
- Saikia, S. P.; Mapelli, S.; Breviario, D.; Galasso, I.; Giani, S.; Braglia, L. *et al.* Comparative studies for selection of *Jatropha curcas* L. capable of high yield and oil quality in Assam environment. *Curr. Sci.* 109 (3):352-366, 2015.
- Santos, D. N.; Ferreira, J. L.; Pasqual, M.; Generoso, A. L.; Setotaw, T. A.; Cançado, G. M. A. *et al.* Population structure of jatropha and its implication for the breeding program. *Genet. Mol. Res.* 15 (1), 2016. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr.15017770>.
- Savaliya, M. L.; Dhorajiya, B. D. & Dholakiya, B. Z. Recent advancement in production of liquid bio-fuels from renewable resources: a review. *Res. Chem. Intermed.* 41:475-509, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1231-z>.
- Shukla, A.; Singh, S. P. & Tiwari, Sakshi. Transformation of toxic potential of *Jatropha curcas* (Ratanjyot) into protein source: a mini-review. *J. Adv. Vet. Anim. Res.* 2 (2):89-94, 2015.
- Torres, V.; Figueredo, J.; Lizazo, D. & Álvarez, A. *Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. Informe técnico.* San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2006.
- Tsuchimoto, S., Ed. *The Jatropha genome.* Kalyani, India: Springer International Publishing, 2017.
- Valdés-Rodríguez, Ofelia A.; Pérez-Vásquez, A. & Sánchez-Sánchez, O. Saberes Totonacas: el piñón manso (*Jatropha curcas* L. no tóxica). *VII Congreso Nacional de Agricultura Sostenible.* Puebla, México: SOMAS, COLPOS, BUAP. p. 44-53, 2013.
- Yengle-Ruíz, C. Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental. *Scientia.* 4 (2):145-153, 2012.
- Zavala, I. *Caracterización morfogénica de accesiones de Jatropha curcas L., recolectadas en el Estado de Veracruz, México.* Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias. México: Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, 2016.