

## Comportamiento de la variabilidad en procedencias de *Jatropha curcas* L.

### Performance of variability in provenances of *Jatropha curcas* L.

Rosa de la Caridad Ibañez-Cossío <https://orcid.org/0000-0002-9165-8283>, Hilda Beatriz Wencomo-Cárdenas <https://orcid.org/0000-0002-1450-5611>, Dariel Morales-Querol <https://orcid.org/0000-0002-2935-7260>, Julia Cecilia Cáceres-Amores <https://orcid.org/0000-0002-6801-9862>

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. Central España Republicana. CP 44280. Matanzas, Cuba. Correos electrónicos: [rosa.ibanez@ihatuey.cu](mailto:rosa.ibanez@ihatuey.cu), [wencomo@ihatuey.cu](mailto:wencomo@ihatuey.cu), [dariel.morales@ihatuey.cu](mailto:dariel.morales@ihatuey.cu), [julia.caceres@ihatuey.cu](mailto:julia.caceres@ihatuey.cu)

#### Resumen

**Objetivo:** Caracterizar diferentes procedencias de *Jatropha curcas* L., introducidas y colectadas, mediante indicadores morfoagronómicos, con el propósito de seleccionar las de mejor comportamiento.

**Materiales y Métodos:** El estudio se realizó durante un año (2019) en áreas de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Se trabajó con material vegetal proveniente de Paraguay, Ecuador y del oriente de Cuba. Las diferentes procedencias de *Jatropha curcas* L. se propagaron por semillas. 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 sus dimensiones, entre otras variables. Los datos se procesaron mediante el análisis de componentes principales (ACP), conglomerados y correlación.

**Resultados:** Se explicó 96,8 % de la variabilidad mediante cuatro componentes. La cantidad, longitud y ancho de los frutos, cantidad de semillas y sus dimensiones, así como la cantidad de inflorescencias y el diámetro del tallo fueron los indicadores con los que se explicó 55,6 % de la variabilidad en las dos primeras componentes. Se formaron cinco grupos. Fue el segundo el de mejor comportamiento en seis de los indicadores evaluados.

**Conclusiones:** Existe variabilidad para los caracteres morfoagronómicos evaluados. La procedencia Ecuador 2 fue la de mejor comportamiento en seis de los indicadores evaluados. Le siguió Paraguay 2 en cuatro indicadores, por lo que ambas se seleccionaron y resultaron promisorias para su estudio en futuros programas de mejoramiento genético.

**Palabras clave:** germoplasma, indicadores, selección

#### Abstract

**Objective:** To characterize different provenances of *Jatropha curcas* L., introduced and collected, through morphoagronomic indicators, in order to select those with the best performance.

**Materials and Methods:** The study was conducted during one year (2019) in areas of the Pastures and Forages Research Station Indio Hatuey. The work was done with plant material from Paraguay, Ecuador and eastern Cuba. The different *Jatropha curcas* L. provenances were propagated by seeds. The indicators height, number of branches, stem diameter, quantity of racemes and their length, quantity and length of inflorescences, quantity of fruits and their sizes, were measured, among other variables. The data were processed through the principal component (PCA), cluster and correlation analyses.

**Results:** Of the variability, 96,8 % was explained through four components. The fruit quantity, length and width, quantity of seeds and their sizes, as well as quantity of inflorescences and stem diameter were the indicators with which 55,6 % of the variability was explained in the first two components. Five groups were formed. The second was the one with the best performance in six of the evaluated indicators.

**Conclusions:** There is variability for the evaluated morphoagronomic traits. The provenance Ecuador 2 was the one with the best performance in six of the evaluated indicators. It was followed by Paraguay 2 in four indicators, for which both were selected and turned out to be promising for their study in future breeding programs.

**Keywords:** germplasm, indicators, selection

#### Introducción

*Jatropha curcas* L. es un arbusto perenne, caducifolio, de tallo suculento, perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* (Tsuchimoto, 2017). Crece en variadas condiciones climáticas, aunque se desarrolla mejor en los trópicos, donde las

temperaturas medias varían entre 20 y 28 °C (Laviola *et al.*, 2017). En el mundo se ha descrito una gran diversidad de usos para las diferentes partes de esta planta. Recientemente ha cobrado importancia, ya que su aceite, que se extrae de las semillas, tiene grandes posibilidades para su

Recibido: 12/01/2022

Aceptado: 30/05/2022

Como citar este artículo: Ibañez-Cossío, Rosa de la Caridad; Wencomo-Cárdenas, Hilda Beatriz; Morales-Querol, Dariel & Cáceres-Amores Julia Cecilia. Comportamiento de la variabilidad en procedencias de *Jatropha curcas* L. *Pastos y Forrajes*. 45:eE19, 2022

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.

utilización como materia prima en la fabricación de biodiesel (Borah *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de los diferentes usos que potencia este cultivo, el establecimiento de plantaciones comerciales de *J. curcas* en varios países se ha visto limitado por problemas que tienen que ver con la alta variabilidad de rendimiento entre plantas y el ataque de insectos, potencialmente plagas y enfermedades, entre otros (Laviola *et al.*, 2017). Ello evidencia el poco conocimiento que se tiene sobre esta planta, que aún se encuentra en un proceso de domesticación. Por tanto, se requiere seleccionar individuos con características sobresalientes para integrarlos en programas de mejoramiento genético. Anggraeni *et al.* (2018) plantean que la caracterización agronómica de diferentes cultivos agrícolas permite conocer la constitución y el funcionamiento de los componentes de las plantas. Para lograr incorporar *J. curcas* a los sistemas productivos comerciales, se necesita contar con materiales genéticos con altos rendimientos de frutos, semillas y aceite, de modo que se pueda abastecer la demanda agroindustrial para la producción de biodiesel. Es por esto que la identificación de la variabilidad genética en los bancos de germoplasma de *Jatropha* y las poblaciones reproductoras es un paso importante que proporciona información acerca del futuro de los programas de mejoramiento genético de la especie, y ayuda a identificar colecciones con alta variabilidad genética que se pueden investigar para estudios futuros (Kumar y Das, 2018). Por lo antes expuesto, el objetivo de la investigación fue caracterizar las procedencias de *J. curcas.*,

introducidas y colectadas mediante indicadores morfoagronómicos, con el propósito de seleccionar las de mejor comportamiento.

### Materiales y Métodos

**Área de estudio.** El estudio se realizó durante un año (2019), en las áreas de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, ubicada en los 22° 48' y 7" de latitud Norte y los 79° 32' y 2" de longitud Oeste, a una altitud de 19,9 msnm en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba (ACC, 1989). El experimento se llevó a cabo en un suelo de topografía llana, con pendiente de 0,5 a 1,0 %, clasificado por Hernández-Jiménez *et al.* (2015) como Ferralítico Rojo lixiviado, de rápida desecación, arcilloso y profundo sobre calizas.

**Características climáticas.** Los registros mensuales que indican el comportamiento de las variables climáticas más importantes se obtuvieron de la estación meteorológica, ubicada en las áreas de la institución (fig. 1). Se pudo observar que en julio se registró la temperatura media más alta (27,1 °C), mientras que la más baja (20,5 °C) se presentó en enero. La mayor precipitación ocurrió en mayo (368,1).

**Material vegetativo.** Se trabajó con material vegetal introducido, identificado con una clave (tabla 1) y con dos procedencias del oriente de Cuba (Guantánamo). El material se propagó por semilla.

**Diseño experimental.** El experimento se estableció según un diseño experimental completamente al azar. Cada planta se consideró como una réplica. Después de sembradas en vivero, a una distancia de 3 m entre surcos x 2 m entre plantas, se trasplantaron al campo.

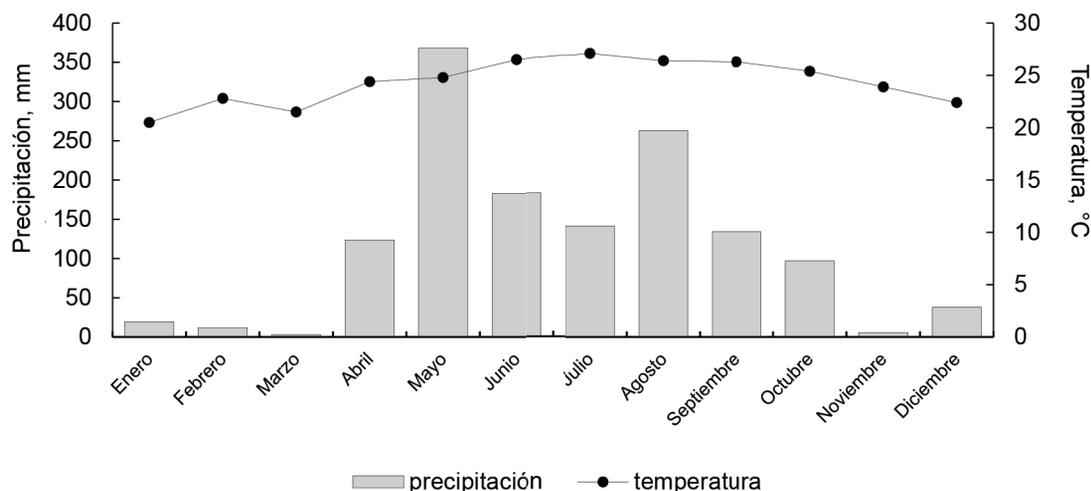


Figura 1. Comportamiento de las variables climáticas durante el período experimental.

Tabla 1. Material vegetal usado

Surcos	Clave
I	Paraguay 1
II	Paraguay 2
III	IMIAS-2
III	Ecuador 1
IV	IMIAS-1
IV	Ecuador 2

La única práctica de manejo fue el control periódico de plantas arvenses (malezas), que se hizo de forma manual.

*Variables morfológicas evaluadas.* Se tomaron datos de las plantas con el uso de los descriptores indicados por Avendaño y Zamarripa (2012) y la Red de *Jatropha* spp, (SAGARPA-SNICS, 2014). Se contabilizó el número de frutos (NF) por planta y se midió la longitud (LF), el ancho (AF) y el espesor (EF) (Laviola y Macedo, 2009), así como la cantidad de semillas por fruto. Estas últimas se muestrearon con frecuencia semanal.

*Variables morfológicas florales.* Se muestrearon cinco inflorescencias por planta de cada procedencia. Se midió la variable longitud de las inflorescencias, desde la base inicial de la rama con la inflorescencia hasta la unión de la ramilla, para lo que se utilizó una regla graduada. Se registró, además, el número de ramillas con flores presentes en cada inflorescencia.

Se midió la variable altura de la planta (AP), desde la base del tallo hasta el ápice del tallo central, con una cinta métrica, a los 30 y a los 60 días. El diámetro o grosor del tallo (DT) se determinó con un pie de rey, a 10 cm por encima del nivel medio del suelo. También se registró el número total de ramas de cada una de las plantas muestreadas (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012; Sosa-Segura *et al.*, 2012).

*Plagas y enfermedades.* También se estimó el porcentaje de enfermedades en cada uno de los árboles evaluados (infestación producida por hongos y/o virus en la planta entera) y el porcentaje de daños producidos por insectos fitófagos. Para ello, se utilizó una escala de seis valores, propuesta por CNSV (2005). Se aplicó, además, una escala de cuatro grados: 0 (inmune), 1 (resistente), 2 (tolerante) y 3 (susceptible). A cada uno de estos cuatro grados, le corresponden los siguientes rangos de lesiones:

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.* Para el procesamiento de los datos se utilizó la estadística descriptiva, para las variables número y longitud de inflorescencias y de racimos florales que producen frutos. También se realizó un análisis de componentes principales (ACP), en el que se tomó como criterio de análisis aquellas componentes que presentaron valores propios superiores a 1 y factor de suma o de preponderancia mayor que 0,70 (Morrison, 1967). Se aplicó análisis de conglomerados para la agrupación y selección de las procedencias, utilizando como índice de similitud la distancia euclidiana, a partir de lo obtenido en el ACP (Torres *et al.*, 2008). Se determinaron los estadígrafos media y desviación estándar para las variables analizadas. Se utilizó, además, el análisis de correlación para conocer la interrelación entre las variables. Todos los análisis mencionados se realizaron mediante el programa estadístico SPSS®, versión 22.0 para Microsoft® Windows®.

## Resultados y Discusión

En la figura 2 se muestra el comportamiento del número y de la longitud de las inflorescencias en las plantas de *J. curcas*. En lo que respecta a la longitud, no hubo diferencias significativas, pero sí existieron para el indicador número de inflorescencias.

Las procedencias de mayor número de inflorescencias fueron Paraguay 1 e IMIAS-1 (entre las que no hubo diferencias significativas). IMIAS-2 y Ecuador 2 (entre las que no hubo diferencias) fueron las de menor número de inflorescencias. Hernández (2012) en su estudio de biología floral de accesiones

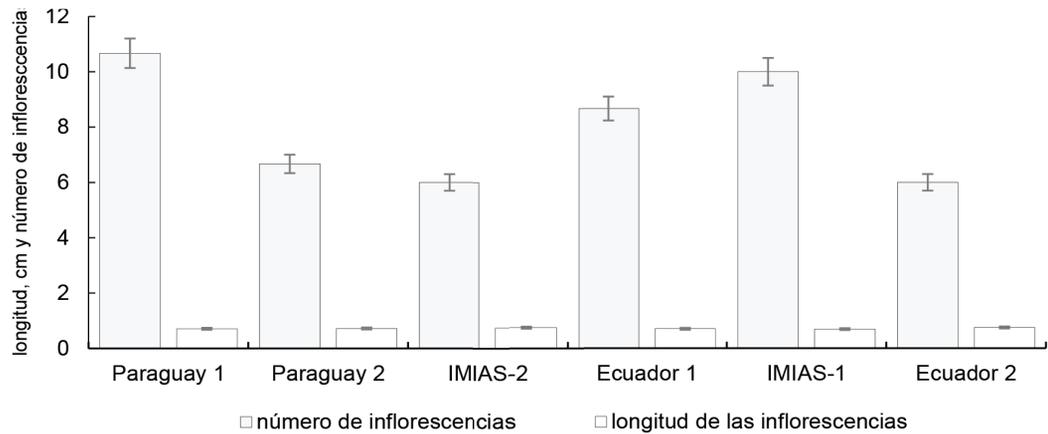


Figura 2. Comportamiento del número y la longitud de las inflorescencias en *J. curcas*.

no tóxicas de *Jatropha* informó resultados similares, así como Divakara (2017) en la evaluación de la variabilidad y divergencia de un germoplasma de *J. curcas* en condiciones *ex situ*.

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis de componentes principales. La varianza acumulada

en las cuatro primeras componentes fue de 96,82 %. Los indicadores que mejor explicaron la varianza en la primera componente (34,24 %) fueron el diámetro, la cantidad de inflorescencias de frutos y su longitud (de forma negativa), al igual que la de la semilla y su espesor. La segunda componente

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

Indicador	Componentes principales			
	CP <sub>1</sub>	CP <sub>2</sub>	CP <sub>3</sub>	CP <sub>4</sub>
Altura, m	0,42	0,02	0,89	-0,15
Número de ramas	0,29	0,28	0,86	0,32
Diámetro del tallo, mm	0,96	0,13	0,14	-0,19
Cantidad de racimos	-0,27	-0,30	0,39	-0,82
Longitud de los racimos, mm	0,06	0,28	-0,03	0,92
Longitud de las ramillas, mm	-0,07	-0,25	-0,85	0,45
Cantidad de inflorescencias	0,91	0,31	-0,22	0,08
Longitud de las inflorescencias, mm	0,04	-0,06	-0,04	0,97
Cantidad de frutos	0,94	-0,09	0,09	0,28
Longitud de los frutos, mm	-0,73	-0,59	-0,12	-0,20
Ancho de los frutos, mm	-0,40	-0,90	-0,01	0,04
Espesor de los frutos, mm	-0,03	0,94	0,09	0,10
Cantidad de semillas	-0,51	-0,28	0,75	-0,22
Longitud de las semillas, mm	0,86	0,08	0,48	0,07
Ancho de las semillas, mm	0,26	0,83	0,14	0,47
Espesor de las semillas, mm	0,86	0,40	0,18	0,21
Valor propio	5,48	3,42	3,34	3,26
Varianza, %	34,24	21,35	20,86	20,38
Acumulado, %	34,24	55,59	76,44	96,82

extrajo una varianza de 21,35 %, explicada por el ancho de los frutos (de forma negativa), su espesor y ancho de las semillas. En la formación de la tercera componente influyeron la altura, el número de ramas, la longitud de las ramillas (de forma negativa) y la cantidad, que explicaron 20,86 % de la varianza. En la cuarta componente, se extrajo 20,38 % de la varianza, que se manifestó por la cantidad de racimos (de forma negativa) y su longitud, así como por la longitud de las inflorescencias.

Aunque el valor de la varianza de la primera componente (34,24) fue bajo, este análisis es válido, pues cada una de las componentes seleccionadas tuvieron 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 sola. Además, esto evidencia la complejidad de las correlaciones entre los indicadores; es decir, hubo alta variación entre los caracteres de las plantas, lo que también se relacionó con una gran diversidad morfológica, ya que cada una de ellas puede que tenga un determinante propio diferente en la productividad (Peixoto *et al.*, 2017).

Al considerar la importancia de la relación de los indicadores que conformaron las dos primeras componentes, se puede señalar que *J. curcas* es una planta de bajo requerimiento hídrico que, en condiciones de sequía extrema, pierde sus hojas como mecanismo para conservar la humedad en sus tejidos. Esto puede que sea un factor que induce la brotación en algunas de sus especies, ya que reduce la pérdida de agua por parte de la planta, lo que conduciría a la rehidratación de las ramas y a la producción de nuevas hojas (Wencomo-Cárdenas *et al.*, 2021). Posteriormente, con la emergencia de las hojas por un proceso de translocación, se produce mayor drenaje. Esto aumenta el crecimiento y proporciona la frondosidad y la aparición de inflorescencias. Después viene la época de floración, una de las etapas fenológicas principales, relacionada con la producción de aceite en el mencionado cultivo, ya que el número de flores femeninas y su adecuada polinización determinan cuántos frutos y semillas se desarrollarán.

Mulato-Sepúlveda (2018) señala que los períodos de floración coinciden con las fases de mayor crecimiento vegetativo. Este resultado es sumamente trascendental desde el punto de vista de la ciencia de los cultivos. Durante el período de crecimiento / floración, el manejo de la planta es importante para favorecer altas tasas de crecimiento, ya

que el número de inflorescencias como el de flores femeninas es, de hecho, uno de los factores principales que determinan el rendimiento. Mientras, la determinación del número de inflorescencias por planta y el de flores femeninas depende de factores ambientales y genéticos. En la floración y la determinación del tipo de flor influye la ocurrencia de bajas temperaturas y altas precipitaciones, y se producen hasta dos picos de floración en el año. Los autores citados también confirman gran número de flores femeninas en *J. curcas*, y refieren que la mayor ramificación y la polinización adecuada son los principales factores que benefician la producción de semillas y el rendimiento de aceite.

Mulato-Sepúlveda (2018) realizaron investigaciones que demostraron que las flores de polinización cruzada tienen una producción de frutos significativamente alta. Las flores, expuestas a visitas únicas y múltiples de las abejas, producen de manera significativa más frutos que las que no fueron visitadas, lo que indica que las abejas son polinizadores eficaces. Asimismo, Mulato-Sepúlveda (2018) asegura que después de la floración, las plantas comienzan la etapa de fructificación. El número de frutos por planta depende, en última instancia, del número de inflorescencias y de flores femeninas, factores que determinan su productividad, pues las plantas con mayor número de flores tienden a tener más rendimiento.

Mulato-Sepúlveda (2018) asegura que la calidad y la cantidad del aceite en las semillas de *J. curcas* dependen de varios factores (genéticos, físicos, fisiológicos, condiciones ecológicas, contenido de humedad, fertilidad y manejo del cultivo). Según esta autora, se pueden definir atributos inherentes que determinan su potencial de germinación y características de crecimiento. Durante el desarrollo de las semillas, las condiciones ambientales pueden influir en la biosíntesis y acumulación de la mezcla de ácidos grasos presentes en los triacilglicéridos (TAG) que forman el almacenamiento de aceite dentro de ellas.

El análisis de conglomerados sobre la base de los resultados del ACP permitió la formación de cinco grupos. Las procedencias 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 formados. Los valores más altos para el caso del diámetro del tallo, la cantidad de inflorescencias y de frutos, el espesor de estos últimos, la longitud de las semillas, su ancho y espesor, se encontraron en el grupo II, que se conformó por la

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

Indicador	Grupo I		Grupo II		Grupo III		Grupo IV		Grupo V	
	X	DS	X	DS	X	DS	X	DS	X	DS
Altura, m	150,83	2,70	138,62	-	125,71	-	120,48	-	136,13	-
Número de ramas	7,21	0,11	7,00	-	5,50	-	4,28	-	7,58	-
Diámetro del tallo, mm	45,35	4,80	47,33	-	41,75	-	37,54	-	37,08	-
Cantidad de racimos	20,00	0,00	12,00	-	12,00	-	20,00	-	15,00	-
Longitud de los racimos, mm	0,70	0,00	0,72	-	0,72	-	0,70	-	0,72	-
Longitud de las ramillas, mm	0,70	0,00	0,72	-	0,75	-	0,73	-	0,72	-
Cantidad de inflorescencias	6,50	2,12	9,00	-	7,00	-	5,00	-	5,00	-
Longitud de las inflorescencias, mm	0,70	0,00	0,72	-	0,75	-	0,69	-	0,75	-
Cantidad de frutos	38,0	19,79	44,00	-	44,00	-	3,00	-	20,00	-
Longitud de los frutos, mm	3,54	0,02	3,50	-	3,55	-	3,57	-	3,54	-
Ancho de los frutos, mm	4,00	0,02	3,36	-	4,22	-	4,05	-	3,99	-
Espesor de los frutos, mm	1,09	0,01	1,14	-	1,07	-	1,10	-	1,13	-
Cantidad de semillas	52,50	3,53	30,00	-	35,00	-	45,00	-	55,00	-
Longitud de las semillas, mm	18,48	0,16	18,53	-	18,04	-	17,27	-	17,78	-
Ancho de las semillas, mm	11,17	0,01	11,86	-	11,15	-	10,99	-	11,55	-
Espesor de las semillas, mm	8,88	0,09	9,30	-	8,80	-	8,35	-	8,63	-
Grupos			Cantidad				Procedencias			
I			2				Paraguay 1, Ecuador 1			
II			1				Ecuador 2			
III			1				Paraguay 2			
IV			1				IMIAS-2			
V			1				IMIAS-1			

procedencia Ecuador 2. Le siguió Paraguay 2, que conforma el grupo III, y que tiene significativos valores en cuanto a la longitud de las ramillas y de las inflorescencias, la cantidad de frutos y su ancho.

En el grupo II se encontró la procedencia que reunía la mayor cantidad de indicadores evaluados con los valores más altos. Esta se introdujo al país de un lugar donde las condiciones climáticas son diferentes a las de la zona de evaluación. Ello 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. Por eso, independientemente de las diferencias que se observaron entre los indicadores, se debe señalar la evidente variabilidad en la población de *J. curcas*.

La diversidad genética en las especies de plantas es un regalo para la humanidad, ya que constituye la base para la selección y posterior mejora. En este estudio, el patrón de agrupamiento reveló que la diversidad geográfica no necesariamente se tiene que relacionar con la diversidad genética. Este tipo de diversidad se podría deber a la adopción diferencial, a los criterios de selección, a la presión de selección y al ambiente. Lo anterior indica que la diversidad genética produce mayor variedad que la geográfica. Los árboles que se originaron en una región se distribuyeron en diferentes grupos, lo que sugiere que los árboles con el mismo origen geográfico podrían haber experimentado cambios por diferentes caracteres bajo selección (Divakara, 2017).

Resultados similares informaron para esta especie Wencomo-Cárdenas *et al.* (2020) en accesiones no tóxicas de México, quienes encontraron alta y moderada variabilidad respectivamente, en cuanto al comportamiento de los indicadores evaluados.

Gwafila *et al.* (2019), en estudios de caracterización morfoagronómica y molecular de un germoplasma de *J. curcas* en Bostwana, también hallaron diferencias significativas entre las accesiones, para los indicadores cualitativos como para los cuantitativos. De igual forma, Chakrabarty *et al.* (2022) en investigaciones realizadas en 45 genotipos en Bangladesh, encontraron una 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 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.

Se observaron correlaciones fuertes entre la altura y el número de ramas (0,832), la longitud de las ramillas (0,865) y semillas (0,795), el diámetro del tallo y la cantidad de inflorescencias (0,879), la cantidad (0,858) y longitud de los frutos (-0,769 de forma negativa), la longitud (0,886) y el espesor de las semillas (0,847) y la temperatura (-0,917 de forma negativa), la cantidad de racimos y su longitud (-0,893 de forma negativa) y la de las inflorescencias (-0,773 de forma negativa). También hubo correlación entre la cantidad de semillas (0,717), entre la longitud del racimo y de las inflorescencias (0,804), la cantidad de inflorescencias y cantidad (0,851) y longitud de los frutos (-0,871 de forma negativa), así como entre la cantidad de semillas (-0,704 de forma negativa), su espesor (0,855) y temperatura (-0,845 de forma negativa).

Asimismo, se registró correlación entre la cantidad de frutos y su longitud (-0,737 de forma negativa) y la de las semillas (0,846), al igual que entre el espesor de estas (0,814) y la temperatura (-0,894 de forma negativa), la longitud del fruto y su ancho (0,775), la longitud (-0,711 de forma negativa), el ancho (-0,775 de forma negativa) y el espesor de las semillas (-0,877 de forma negativa). Igual la hubo entre el ancho del fruto y su espesor (-0,783 de forma negativa), el ancho (-0,842 de forma negativa) y espesor de las semillas (-0,723 de forma negativa), así como entre el espesor del fruto y el ancho de la semilla (0,823), la humedad (0,844) y la precipitación (0,806), y entre la longitud de las semillas, su

espesor (0,890) y la temperatura (-0,751 de forma negativa).

Del mismo modo, se observaron correlaciones moderadas entre la altura y el diámetro del tallo (0,554) y el espesor de la semilla (0,517); entre el número de ramas y la longitud de las ramillas (-0,664 de forma negativa), de los frutos (-0,554 de forma negativa) y las semillas (0,696), así como entre el ancho (0,576) y el espesor de estas (0,570). También se registraron correlaciones moderadas entre la cantidad de racimos y la longitud de las ramillas (-0,597 de forma negativa) y el ancho de las semillas (-0,651 de forma negativa), la longitud del racimo y el ancho de la semilla (0,686), la cantidad de inflorescencias y el ancho de los frutos (-0,612 de forma negativa) y la longitud de las semillas (0,693). Asimismo, las hubo entre la longitud del fruto y su espesor (-0,646 de forma negativa), la temperatura (0,578) y la humedad relativa (-0,537 de forma negativa), el ancho de la semilla y su espesor (0,687) y la precipitación (0,561) y entre el espesor de la semilla y la temperatura (-0,684 de forma negativa).

La correlación establece el grado de asociación entre los rasgos de las plantas y sus atributos, de modo que estos componentes puedan formar criterios adicionales para la selección en el programa de mejoramiento. Los rasgos cuantitativos correlacionados son de gran interés en un programa de mejora, ya que la mejora de un carácter puede causar cambios simultáneos correlacionados en otros.

Se constató la presencia de correlaciones significativas entre algunos de los indicadores evaluados con las variables climatológicas (tabla 4), aspecto que indica según referencias de Cárdenas-Travieso *et al.* (2018) cómo estas últimas pueden influir en el crecimiento y desarrollo y la reproducción de las plantas de *J. curcas*. Al respecto, se observó que la cantidad de inflorescencias por planta se correlacionó positivamente con la temperatura. Esto puede que indique que la floración en *J. curcas* está relacionada con la ocurrencia de bajas temperaturas. Como las noches son más frescas que los días, el descenso de la temperatura nocturna puede ser uno de los factores que desencadenan la floración. De igual forma, existe una fuerte correlación entre el espesor de los frutos y la humedad, que alcanzó valores más altos en el período de octubre a mayo, considerado como lluvioso. En esta etapa, el espesor del fruto aumenta, y según sugieren Membreno-Taleno *et al.* (2022) se favorece el crecimiento y el potencial reproductivo de las plantas.

Asociada a la temperatura, la lluvia parece tener una influencia principal en la floración, ya que

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

Indicador	A	NR	DT	CR	LR	LRA	CI	LI	CF	LF	AF	EF	CS	LS	AS	ES
Altura, m	1															
Número de ramas	<b>0,832</b>	1														
Diámetro del tallo, mm	0,554	0,377	1													
Cantidad de racimos	0,334	-0,084	-0,079	1												
Longitud de los racimos, mm	-0,098	0,347	-0,106	<b>-0,893</b>	1											
Longitud de las ramillas, mm	<b>0,865</b>	-0,664	-0,295	-0,597	0,335	1										
Cantidad de inflorescencias	0,169	0,195	<b>0,879</b>	-0,470	0,173	0,099	1									
Longitud de las inflorescencias, mm	-0,190	-0,287	-0,144	<b>-0,773</b>	<b>0,804</b>	0,505	0,135	1								
Cantidad de frutos	0,415	0,428	<b>0,858</b>	-0,403	0,239	0,024	<b>0,851</b>	0,352	1							
Longitud de los frutos, mm	-0,363	-0,554	<b>-0,769</b>	0,462	-0,312	0,178	<b>-0,871</b>	-0,243	<b>-0,737</b>	1						
Ancho de los frutos, mm	-0,220	-0,348	-0,497	0,358	-0,281	0,291	-0,612	0,120	-0,255	<b>0,775</b>	1					
Espesor de los frutos, mm	0,035	0,381	0,100	-0,294	0,273	-0,227	0,291	0,116	-0,025	-0,646	<b>-0,783</b>	1				
Cantidad de semillas	0,049	0,359	-0,368	<b>0,717</b>	-0,388	-0,609	<b>-0,704</b>	-0,188	-0,410	0,439	0,480	0,140	1			
Longitud de las semillas, mm	<b>0,795</b>	0,697	<b>0,886</b>	-0,137	0,152	-0,466	0,693	0,048	<b>0,846</b>	<b>-0,711</b>	-0,433	0,058	-0,144	1		
Ancho de las semillas, mm	0,192	0,576	0,280	-0,651	0,686	-0,141	0,484	0,392	0,303	<b>-0,775</b>	<b>-0,842</b>	<b>0,823</b>	-0,370	0,392	1	
Espesor de las semillas, mm	0,517	0,570	<b>0,847</b>	-0,476	0,399	0,229	<b>0,855</b>	0,167	<b>0,814</b>	<b>-0,877</b>	<b>-0,723</b>	0,336	-0,502	<b>0,890</b>	0,687	1
Temperatura	-0,325	-0,115	<b>-0,917</b>	0,126	0,138	-0,020	<b>-0,845</b>	0,035	<b>-0,894</b>	0,578	0,195	0,203	0,458	<b>-0,751</b>	-0,009	-0,684
Humedad	-0,111	0,192	0,074	-0,093	-0,042	-0,072	0,257	0,130	0,007	-0,537	-0,444	<b>0,844</b>	0,000	-0,099	0,480	0,075
Precipitación	-0,164	0,265	-0,474	-0,181	0,320	-0,111	-0,282	0,268	-0,456	-0,144	-0,333	<b>0,806</b>	0,225	-0,386	0,561	-0,182

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

hubo una correlación positiva entre las precipitaciones y la cantidad de inflorescencias por planta. Por tanto, la floración parece depender del aumento de ambas. Teniendo en cuenta que las inflorescencias se producen en las yemas terminales de las ramas jóvenes, la correlación positiva puede evidenciar que la lluvia aumenta después de un largo período de condiciones secas. Las plantas comienzan a crecer de inmediato y el brote de nuevas ramas se produce constantemente. Con ello se incrementa el número de ramas de las plantas conforme se reanuda su crecimiento con las precipitaciones. Además, es importante verificar cómo se comportan las plantas en términos de altura, época de floración, número de inflorescencias por planta y cantidad de flores femeninas. Según refieren Mulato-Sepúlveda (2018), estas características son cruciales en el análisis del rendimiento, ya que las plantas que son más grandes y presentan mayor tasa de crecimiento, pueden producir mayor cantidad de inflorescencias y frutos que las plantas más pequeñas.

Se encontró, además, correlación positiva entre la cantidad de frutos y la longitud de las semillas. La variación en el tamaño de la semilla desempeña una función importante en los procesos de germinación y establecimiento de las plántulas. Valverde y Ávila (2022) aseveran que las semillas grandes tienden a incrementar su viabilidad, su germinación y su velocidad de emergencia; de igual forma, sobreviven mejor a condiciones adversas que las semillas pequeñas. Por el contrario, estas últimas tienen la ventaja de poder formar un banco de semillas y evadir de forma más exitosa la depredación. En tanto, las plantas que producen tamaños variables de semillas, en general, manifiestan una buena permanencia en su ambiente.

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. También se asemejan a los informados por Cardoso *et al.* (2018) en estudios de evaluación genética y selección de plantas de esta especie.

### Conclusiones

Se constató alta variabilidad para los caracteres morfoagronómicos. A su vez, la procedencia Ecuador 2 fue la de mejor comportamiento en seis de los indicadores evaluados, seguida por Paraguay 2 (cuatro indicadores). Por tanto, ambas se seleccionaron y resultan promisorias para su inclusión en

futuros estudios relacionados con los programas de mejoramiento genético.

### Agradecimientos

Se agradece a los Proyectos GEF PNUD “*Clean energy technologies for the rural areas in Cuba (Clean Energy-Cuba)*” (Bioenergía) y “*Alternativas tecnológicas para la producción de semillas y coproductos de J. curcas, en el desarrollo de fincas agroenergéticas*”, financiado por el Fondo Financiero de Ciencia e Innovación (FONCI), por posibilitar el desarrollo de la investigación.

### Conflicto de intereses

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

### Contribución de los autores

- Rosa de la Caridad Ibañez-Cossío. Llevó a cabo la toma y el procesamiento de datos, la redacción y arreglos en el manuscrito.
- Hilda Beatriz Wencomo-Cárdenas. Participó en la génesis de la idea, en el asesoramiento de la investigación, desarrolló el diseño y montaje del experimento, el procesamiento de datos y la interpretación de los mismos.
- Dariel Morales-Querol. 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.
- Julia Cecilia Cáceres-Amores. Participó en la toma de muestras y recolección de los datos.

### Referencias bibliográficas

- ACC. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Instituto de Geografía, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1989.
- Anggraeni, T. D. A.; Satyawati, D.; Kang, Y. J.; Ha, J.; Kim, M. Y.; Chitikineni, A. *et al.* Genetic diversity of *Jatropha curcas* collections from different islands in Indonesia. *Plant Genet. Resour.* 16 (4):334-342, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1479262117000387>.
- 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>.
- Avendaño, C. H. & Zamarripa, A. *Manual gráfico para la descripción varietal de Jatropha (Jatropha curcas L.)*. Chiapas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa,

- Tuxla Chico. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/434468/MG\\_Jatropha-OK.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/434468/MG_Jatropha-OK.pdf), 2012.
- Borah, Nilakshi; Mapelli, S.; Pecchia, Paola; Mudoj, Kalpataru D.; Chaliha, Bithika; Gogoi, A. *et al.* Variability of growth and oil characteristics of *Jatropha curcas* L. in North-east India. *Biofuels*. 12 (3):327-337, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1472979>.
- Cárdenas-Travieso, Regla M.; Lamz-Piedra, A. & Ortiz-Pérez, R. Comportamiento morfoagronómico de genotipos promisorios de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Cultivos Tropicales*. 39 (2):89-95. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000200012&lng=en&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200012&lng=en&tlng=es), 2018.
- Cardoso, Poliane M. R.; Dias, L. A. dos S.; Resende, M. D. V. de; Freitas, R. G. de; Corrêa, Thais R.; Muniz, Dandara R. *et al.* Genetic evaluation and selection in *Jatropha curcas* L. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 18 (2):192-199, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332018v18n2a27>.
- Chakrabarty, S.; Aminul Islam, A. K. M.; Sultana, Nasrin & Chakraborty, P. Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. genotypes: a potential biofuel crop in Bangladesh. *Biofuels*. 13 (2):161-169, 2022. DOI: 10.1080/17597269.2019.1655213.
- CNSV. *Resumen ampliado de metodologías de señalización y pronóstico*. Villa Clara, Cuba: Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Sanidad Vegetal, 2005.
- Divakara, B. N. Assessing variability and divergence of *Jatropha curcas* Linn. Germplasm. under *ex-situ* conditions. *Forest Res.* 6:201, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000201>.
- 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>.
- Hernández, Yudith. *Biología floral de Jatropha curcas* L. Tesis para optar por el título de Licenciada en Biología. Hidalgo, México: Instituto Tecnológico de Huejutla, Dirección General de Educación Superior Tecnológica, Secretaría de Educación Pública, 2012.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- Hernández-Verdugo, S.; Porras, Flor; Pacheco-Olvera, A.; López-España, R. G.; Villarreal-Romero, M.; Parra-Terraza, S. *et al.* Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de Chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*. 33:175-191. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682012000100011&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682012000100011&lng=es), 2012.
- 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>.
- Kumar, R. & Das, N. Survey and selection of *Jatropha curcas* L. germplasm: Assessment of genetic variability and divergence studies on the seed traits and oil content. *Ind. Crops Prod.* 118:125-130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.032>.
- Laviola, B. G. & Macedo, J. Red *Jatropha* Latinoamérica y Caribe. *I Reunión de la Red Jatropha LAC*. Brasilia: EMBRAPA. <https://docplayer.es/80584540-Red-jatropha-latinoamerica-y-caribe.html>, 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>.
- Membreño-Taleno, Massiell del C. & Lezama-Gaitán, Verania del C. *Evaluación fenológica del aguacate (Persea americana Mill) de la variedad Benik y Corn Island en la Finca el Plantel, Masaya, 2020*. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Managua: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria, 2022.
- Morrison, D. *Multivariate statistical methods*. New York: McGraw-Hill Book Company. <https://www2.stat.duke.edu/courses/Spring10/sta345/morrison/Mori1990a.pdf>, 1967.
- Mulato-Sepúlveda, Johanna C. *Evaluación de la variación morfométrica de frutos de Mauritia flexuosa L.f Arecaceae en tres poblaciones silvestres de la Orinoquía colombiana*. Tesis presentada para obtener el título de Bióloga. Bogotá: Facultad de Ciencias Básicas-Biología, Universidad de La Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=biologia>, 2018.
- Peixoto, L. de A.; Laviola, B. G.; Alves, A. A.; Rosado, Tatiana B. & Bhering, L. L. Breeding *Jatropha curcas* by genomic selection: A pilot assessment of the accuracy of predictive models. *PlosOne*. 12 (3):e0173368, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173368>.
- SAGARPA-SNICS. *Guía técnica para la descripción varietal de jatropha (Jatropha curcas L.)*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. <https://docplayer>.

- es/storage/66/56339344/1655322452/CTutO1cso-DKLUFRRsle7xA/56339344.pdf, 2014.
- Sosa-Segura, Maria P.; Angulo-Escalante, M. A.; Valdez-Torres, J. B.; Heredia, J. B.; Osuna-Enciso, T.; Allende-Molar, R. *et al.* Phenology, productivity, and chemical characterization of *Jatropha curcas* L. as tool for selecting non-toxic elite germplasm. *Afr. J. Biotechnol.* 11 (93):15988-15993, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB12.2556>.
- Torres, Verena; Ramos, N.; Lizazo, D.; Monteagudo, F. & Noda, Aida. Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 42 (2):133-139. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015494003>, 2008.
- Tsuchimoto, S., Ed. *The Jatropha genome*. Compendium of Plant Genome. Kalyani, India: Springer Cham, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49653-5>.
- 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. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942020000300244&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000300244&lng=es&tlng=es), 2020.
- Wencomo-Cárdenas, Hilda B.; Pérez-Vázquez, A.; García-Pérez, E. & Valdés-Rodríguez, Ofelia A. Evaluación fenológica de accesiones no tóxicas de *Jatropha curcas* L. en la región de Veracruz. *Pastos y Forrajes.* 44:e12. [http://scielo.sld.cu/scilo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942021000100012&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scilo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942021000100012&lng=es&tlng=es), 2021.