

Morphoagronomical characterization of coyol (*Acrocomia aculeata* Jacq.) to determine its oil potential production for biodiesel

Caracterización morfoagronómica de coyol (*Acrocomia aculeata* Jacq.) para determinar su potencial productivo de aceite para biodiesel

Díaz-Fuentes, Víctor H.^{1*}, Avendaño-Arrazate, Carlos H.¹, Gálvez-Marroquín, Luis A.², Ruíz-Cruz, Pablo A.¹, Iracheta-Donjuán, Leobardo¹, Nájera-Domínguez, Wendy¹, Martínez-Valencia, Biaani B.¹

¹Campo Experimental Rosario Izapa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 18. Carretera Tapachula-Cacahoatán. Tuxtla Chico, Chiapas. C. P. 30870. ²Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP. Melchor Ocampo No. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. C. P. 68200.

*Autor para correspondencia: diaz.victor@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Objective: To characterize the morphology of natural populations of *Acrocomia aculeata* in Mexico to determine its potential for the production of oil for biodiesel.

Design/morphology/approach: Eight natural populations of the species *Acrocomia aculeata* were selected in the states of Chiapas and Oaxaca, Mexico. As descriptors 25 quantitative and qualitative characters were selected. The analysis of the main components and hierarchical conglomerates was performed with the PRINCOMP and PROC CLUSTER procedures of SAS, respectively. The dendrogram of groups of populations with morphological similarities was generated.

Results: The first three main components explain 69.4% of the total morphological variation. CP1 explained 29.6% of the total variation with the characters stem diameter, mesocarp thickness, seed length, seed width, seed length-width ratio, seed thickness and seed weight.

CP2 explained 26.1% of the variation, with the characters fruit width, fruit length, mesocarp color, and oil content in the mesocarp. CP3 explained 13.7% of the variation with the length of the rachis, epicarp color and endocarp color. The eight populations were integrated into five morphologically distinct groups.

Limitations on the study/implications: It is necessary to expand the number of populations for greater precision on the diversity of the species in Mexico.

Findings/conclusions: A wide genetic diversity of *A. culeata* was found. The variables that mostly explain this diversity correspond to the fruit and seed. The species represents a viable alternative for obtaining inputs for the production of biodiesel in Mexico.

Keywords: *Acrocomia aculeata*, morphoagronomical characterization, biodiesel.



RESUMEN

Objetivo: Caracterizar la morfología de poblaciones naturales de *Acrocomia aculeata* en México, con el fin de determinar su potencial para la producción de aceite para biodiesel.

Diseño/metodología/aproximación: Se seleccionaron ocho poblaciones naturales de la especie en los estados de Chiapas y Oaxaca, México. Como descriptores se seleccionaron 25 caracteres cuantitativos y cualitativos. El análisis de componentes principales y conglomerados jerárquicos se realizó con los procedimientos PRINCOMP y PROC CLUSTER de SAS, respectivamente. Se generó el dendograma de grupos de poblaciones con similitudes morfológicas.

Resultados: Los tres primeros componentes principales explican el 69.4% de la variación morfológica total. El CP1 explicó el 29.6% de la variación total con los caracteres diámetro del tallo, grosor del mesocarpio, longitud de semilla, ancho de semilla, relación longitud-ancho de semilla, grosor de la semilla y peso de semilla. El CP2 explicó el 26.1% de la variación, con los caracteres ancho del fruto, largo del fruto, color del mesocarpio y contenido de aceite en el mesocarpio. El CP3 explicó el 13.7% de la variación con los caracteres longitud de raquis, color de epicarpio y color de endocarpio. Las ocho poblaciones se integraron en cinco grupos morfológicamente distintos.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Es necesario ampliar el número de poblaciones para una mayor precisión sobre la diversidad de la especie en México.

Hallazgos/conclusiones: Se encontró una amplia diversidad genética en *A. aculeata*. Las variables que mayormente explican dicha diversidad corresponden al fruto y a la semilla. La especie representa una opción viable para la obtención de aceite para la producción de biodiesel en México.

Palabras clave: *Acrocomia aculeata*, caracterización morfoagronómica, biodiesel.

Las flores son pistiladas en la base del raquis y estaminadas en los dos tercios superiores. El fruto mide de 3 a 5 cm de diámetro. Es globoso, de color amarillo, con epicarpio coriáceo, mesocarpio fino, fibroso, mucilaginoso y endocarpio duro. La semilla es de forma globosa (Colombo *et al.*, 2017). En condiciones naturales tarda de 1 a 5 años en germinar. El período productivo inicia a partir del cuarto o quinto año después de la germinación. Los frutos alcanzan la madurez entre 12 y 13 meses después de la fecundación (Montoya *et al.*, 2015). A los cuatro años produce anualmente de cuatro a seis racimos, con 200 a 400 frutos. Aproximadamente el 20% del peso del fruto corresponde al epicarpio, 40% al mesocarpio, 33% al endocarpio y 7% al endospermo. El mesocarpio o pulpa contiene de 25 a 75% de aceite del cual entre 60 y 80% es ácido oleico, que le confiere alta estabilidad oxidativa (Berton, 2013). Es de composición similar al de la palma de aceite, apto para la industria alimenticia y para la elaboración de biodiesel (Colombo *et al.*, 2017). El endospermo contiene entre 50 y 60% de aceite, del cual el 50% es ácido láurico (Berton, 2013; Ramírez *et al.*, 2013), apropiado para su uso en la industria farmacéutica y cosmetológica (Macedo y Pereira, 2007). Los recientes estudios han demostrado que posee un alto potencial para la obtención de aceite. Filho *et al.* (2012), reportan que, en condiciones naturales, con una densidad de población de 216 plantas por hectárea es factible obtener hasta 4,968 kg por hectárea por año de aceite factible de incrementar con genotipos seleccionados y densidades de población y manejo adecuados. Colombo *et al.* (2017), reportan que el rendimiento potencial

INTRODUCCIÓN

Dada la amplia diversidad biológica que posee, en México existe una amplia variedad de especies con potencial para la obtención de insumos para la producción de biocombustibles. En ese contexto destaca el coyol (*Acrocomia aculeata*), palma monocotiledónea que se distribuye en las áreas tropicales y subtropicales de América, desde el sur de México hasta el sur de Brasil, norte de Argentina y las Antillas. En México se distribuye desde el norte de Veracruz hasta la península de Yucatán y desde Sinaloa hasta Chiapas. Es una palma perennifolia, heliófila, monoica, de 4 a 15 m de altura, con tallo de corteza lisa y oscura, con espinas fuertes y rectas de hasta 15 cm de largo. El sistema radicular es extenso y profundo. Las hojas son persistentes, pinnadas, color verde claro, con raquis duro y espinoso, de 1.5 a 3.5 m de largo. La espata también es espinosa. La inflorescencia consta de varios racimos multiflorales.

de aceite de dicha especie es de hasta 5,000 litros por hectárea por año. Dicho potencial se equipara al de la palma de aceite que produce de 3500 a 5500 litros por hectárea; y supera ampliamente al de otras especies utilizadas actualmente para la obtención de aceite para producción de biodiesel, como es el caso del piñón (1590 a 3500 litros por hectárea); la higuera (600 a 1700 litros por hectárea); la colza (1100 litros por hectárea) y la soya (600 litros por hectárea). Sin embargo, en México se desconoce la diversidad genética de la especie y su potencial para la producción de aceite para biodiesel. En este contexto, el objetivo fue realizar la caracterización morfológica de genotipos de *A. aculeata* de poblaciones naturales de los estados de Oaxaca y Chiapas, y determinar el potencial productivo de la especie para la producción de biodiesel en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de poblaciones naturales de *A. aculeata*. El área de estudio comprende los estados de Chiapas y Oaxaca. Se realizaron recorridos para la localización de poblaciones naturales de la especie. Se seleccionaron cuatro poblaciones naturales de la especie en el estado de Chiapas y cuatro en el estado de Oaxaca. La ubica-

ción geográfica de las poblaciones de estudio y sus características ambientales se indican en los Cuadros 1 y 2.

Caracterización morfológica. Para la caracterización morfológica se propusieron 26 caracteres cuantitativos y cualitativos seleccionados como descriptores, de los cuales siete corresponden a la planta (altura, diámetro a altura de pecho, presencia de espinas en el tallo, número de racimos con fruto por año, frutos por racimo, frutos por planta y longitud del raquis); once al fruto (peso, ancho, largo, color del epicarpio, grosor del epicarpio, color del mesocarpio, grosor del mesocarpio, peso del mesocarpio, color del endocarpio, grosor del endocarpio y color de la testa) y ocho a la semilla (largo, ancho, relación longitud-ancho, grosor, relación ancho-grosor, peso, contenido de aceite en el mesocarpio, contenido de aceite en el endospermo) (Cuadro 3).

Se caracterizaron seis árboles de cada población de estudio. Las poblaciones seleccionadas fueron referenciadas con un GPS modelo Garmin 62s. La altura se midió con clinómetro y regla graduada con aproximación al centímetro. El diámetro se midió con cinta diamétrica

Cuadro 1. Ubicación geográfica de poblaciones naturales de *A. aculeata* en estudio.

Población	Estado	Municipio	Localidad	Localización geográfica	
1	Chiapas	Jiquipilas	San Clemente	16° 22' 37.4" N	93° 48' 21.8" O
2	Chiapas	Villaflores	Chanona	16° 19' 07.5" N	93° 24' 58.1" O
3	Chiapas	Villaflores	Rancho Las Peñitas	16° 23' 06.0" N	93° 15' 35.7" O
4	Oaxaca	Tapanatepec	Col. Emiliano Zapata	16° 25' 55.8" N	94° 15' 20.2" O
5	Oaxaca	Guevea de Humboldt	Xadani	16° 47' 33.5" N	95° 22' 05.0" O
6	Oaxaca	Unión Hidalgo	Circuito José F. Gómez	16° 27' 50" N	94° 51' 33" O
7	Oaxaca	San Francisco Ixhuatán	Ixhuatán	16° 19' 34" N	94° 39' 12" O
8	Chiapas	Tuxtla Chico	Gatica	14° 56' 19.5" N	92° 11' 04.0" O

Cuadro 2. Características edafoclimáticas de las localidades de ubicación de las poblaciones naturales de *A. aculeata* seleccionadas.

Población	Estado	Municipio	Localidad	Altitud (m)	Clima	Tipo de suelo	Precipitación (mm)
1	Chiapas	Jiquipilas	San Clemente,	659	Cálido subhúmedo	Regosol	1200-1500
2	Chiapas	Villaflores	Chanona	671	Cálido subhúmedo	Regosol	800-1000
3	Chiapas	Villaflores	Rancho Las Peñitas	651	Cálido subhúmedo	Cambisol	1000-1200
4	Oaxaca	Tapanatepec	Col. E. Zapata	125	Cálido subhúmedo	Cambisol	1200-1500
5	Oaxaca	Guevea de Humboldt	Xadani	585	Cálido subhúmedo	Acrisol	1500-1800
6	Oaxaca	Unión Hidalgo	Circuito J. F. Gómez	20	Cálido subhúmedo	Cambisol	800-1000
7	Oaxaca	S. Fco Ixhuatán	Constitución	12	Cálido subhúmedo	Cambisol	800-1200
8	Chiapas	Tuxtla Chico	Gatica	314	Cálido húmedo	Luvisol	4000-4500

Cuadro 3. Caracteres seleccionados como descriptores morfoagronómicos de *A. aculeata*.

No.	Caracter	Acrónimo	Escala
1	Altura	AP	Metros
2	Diámetro a la altura de pecho	DAP	Centímetros
3	Presencia de espinas en tallo	PET	1) Ausente o débil, 3) Fuerte, 5) Muy fuerte
4	Número de racimos con fruto por año	RFA	Número
5	Número de frutos por racimo	FC	Número
6	Número de frutos por planta	FP	Número
7	Longitud de raquis	LR	Centímetros
Del fruto			
8	Peso de fruto	PF	Gramos
9	Ancho de fruto	AF	Milímetros
10	Largo de fruto	LF	Milímetros
11	Color del epicarpio	CP	1) Amarillo, 3) Café claro, 5) Café fuerte
12	Grosor de Epicarpio	GE	Milímetros
13	Color de mesocarpio (pulpa)	CM	1) Amarillo claro, 3) Amarillo fuerte
14	Grosor de Mesocarpio	GM	Milímetros
15	Peso de mesocarpio (pulpa)	PM	Gramos
16	Color del endocarpio	CE	1) Café claro, 3) Café fuerte
17	Grosor de Endocarpio	GEN	Milímetros
18	Color de testa	CT	1) Gris, 3) Café claro, 5) Café fuerte
De la semilla			
19	Largo de semilla	LS	Milímetros
20	Ancho de semilla	AS	Milímetros
21	Relación longitud-ancho de semilla	RLAS	Proporción
22	Grosor de semilla	GS	Milímetros
23	Relación ancho-grosor de la semilla	RAGS	Proporción
24	Peso de semilla	PS	Gramos
25	Contenido de aceite en mesocarpio	AM	Porcentaje
26	Contenido de aceite en endospermo	AE	Porcentaje

con aproximación al centímetro. La longitud y diámetro de la semilla se midieron con un vernier electrónico (Mitutoyo Inc., Japón) con aproximación de 0.1 cm. Las variables relacionadas con peso se determinaron con una balanza digital báscula Mettler® modelo AJ150 con aproximación de 0.001 g. Las variables relacionadas con el color se estimaron por comparación con la carta de colores de la Royal Horticultural Society. El contenido de aceite en el mesocarpio y endospermo se determinó a partir de dos muestras de seis frutos de un individuo de cada población de estudio. Los lípidos fueron extraídos y cuantificados utilizando hexano como solvente de extracción. Se realizaron dos determinaciones por muestra y el valor obtenido se promedió, expresado en porcentaje.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se codificaron en hojas de cálculo con el Programa Excel. Para los caracteres cualitativos se utilizó la moda y para los caracteres cuantitativos se tomó la media. La matriz se utilizó para un análisis multivariado con el Programa SAS (Versión 6.12, Cary, N C 27513, USA). El análisis por componentes principales se realizó mediante PRINCOMP de SAS (Versión 9.0), a partir de la matriz de correlaciones. Se consideraron los valores propios (Eigenvalues), los vectores propios (Eigenvectors) y el coeficiente de correlación entre las variables originales y los componentes principales y además se obtuvo la correlación de Pearson para cada componente principal y las variables originales. Los componentes principales se graficaron en un plano cartesiano para observar la distribución de

las poblaciones de estudio. También, se realizó el análisis de conglomerados jerárquicos mediante el procedimiento PROC CLUSTER de SAS, y se utilizó el algoritmo por agrupamiento jerárquico, del cual se generó el dendrograma para obtener la separación máxima de grupos por sus similitudes en características de planta, fruto y semilla.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 4 se consignan los valores promedio de los descriptores de *A. aculeata* en las diferentes poblaciones de estudio.

Como se observa en el Cuadro 4, el mayor número de racimos por año se registró en la P8, aunque con un menor número de frutos por racimo con relación al de la P2, que registró 300 frutos por racimo. En la P5 se registraron los frutos con mayor tamaño y peso. Las poblaciones P6 y P5, registraron los más altos valores de masa del mesocarpio (13.2 y 12.2 g, respectivamente). El mayor contenido de aceite en el mesocarpio se registró en P8 y P1 (47.9 y 47.6%, respectivamente). El mayor contenido de aceite en el endospermo se registró en la población P7. Los valores registrados para los descriptores peso del fruto, número de frutos por racimo y contenido

Cuadro 4. Valores promedio de descriptores de *A. aculeata* en poblaciones de estudio.

Descriptores	Localidad y población							
	San Clemente (P1)	Chanona (P2)	Peñitas (P3)	E. Zapata (P4)	Xadani (P5)	J. F. Gomez (P6)	Ixhuatán (P7)	Gatica (P8)
Altura planta (m)	5.7	4.8	3.4	7.8	7.9	4.9	4.3	5.3
DAP (cm)	51.4	59.9	60.3	35.1	39.2	45.6	44.7	55.6
Espinas en tallo	5	5	5	5	1	1	5	5
Racimos por año	5	6	5	6	5	4	5	11
Frutos por racimo	159	300	201	62	161	153	77	180
Frutos por planta	795	1632	960	350	899	904	464	2232
Long. raquis (cm)	78.5	81.5	75.6	90.2	80.2	82.5	91.0	96.0
Peso fruto (g)	31.7	24.2	29.9	33.0	37.7	31.6	28.3	31.4
Ancho de fruto (mm)	40.5	37.7	39.7	38.9	41.1	38.7	39.8	40.4
Largo de fruto (mm)	39.7	34.6	38.1	38.1	38.9	37.0	37.9	38.8
Color de epicarpio	3	5	1	3	3	3	5	3
Grosor de epicarpio (mm)	0.9	0.7	1.0	0.9	0.8	1.1	0.9	1.0
Color de mesocarpio	1	3	3	1	1	3	1	1
Grosor mesocarpio (mm)	4.2	3.4	4.4	4.4	5.6	4.4	4.7	4.1
Peso mesocarpio (g)	8.9	9.9	7.0	9.4	12.2	13.2	5.4	8.6
Color endocarpio	1	1	1	3	1	3	3	3
Grosor de endocarpio (mm)	3.6	4.2	4.3	4.2	4.6	4.1	4.0	4.0
Color de testa	1	3	3	3	3	3	3	5
Largo de semilla (mm)	19.0	16.5	17.5	17.7	15.9	17.1	16.2	20.5
Ancho de semilla (mm)	19.8	17.8	19.2	18.8	17.9	18.6	17.9	21.3
Rel. longitud-ancho semilla	0.96	0.93	0.91	0.94	0.89	0.92	0.91	0.97
Grosor de semilla (mm)	16.8	14.6	16.1	14.9	13.2	14.9	13.6	16.3
Rel. ancho-grosor semilla	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.2	1.3	1.3
Peso de semilla (g)	3.4	2.3	3.0	2.7	2.2	2.6	2.0	3.9
Contenido de aceite en mesocarpio (%)	47.6	20.1	25.2	38.4	45.1	24.8	39.3	47.9
Contenido aceite en endospermo (%)	50.6	50.0	41.0	50.8	55.9	57.2	53.1	50.8

P=Población.

de aceite en el mesocarpio, son similares a los reportados por Da Silva (2017) quien en un estudio de caracterización de *A. aculeata* realizado en tres localidades de Brasil reporta pesos promedio del fruto en rangos de 36.9 a 57.7 g, de 240 a 431 frutos por racimo y de 30.4 a 51.2% de contenido de aceite en el mesocarpio.

Por otra parte, el análisis de componentes principales con 26 caracteres mostró que los tres primeros componentes principales explican el 69.7% de la variación morfológica total (Cuadro 5). Este valor porcentual coincide con lo indicado por Regazzi (2000) citado por Da Silva (2017), que señala que el número de componentes utilizados debe ser aquél que acumula el 70% o más de proporción de la varianza total. Las variables que mayormente contribuyeron para explicar la variación entre las poblaciones de estudio corresponden a semilla, fruto y planta, aunque en este último caso dicha variable corresponde al diámetro del tallo a la altura del pecho (DAP) y se debe considerar con reserva, toda vez que en el estudio no fue posible estimar la edad de las plantas y dicho carácter es altamente influenciado por el ambiente.

El CP1 explicó 29.6% de la variación total y los caracteres que contribuyeron fueron: Diámetro del tallo a la altura del pecho (DAP), grosor del mesocarpio (GM), longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), relación longitud-ancho de semilla (RLAS), grosor de la semilla (GS) y peso de semilla (PS). El CP2 expli-

Cuadro 5. Autovalores y varianza total acumulada explicada por los componentes principales, basados en 26 caracteres morfoagronómicos de *Acrocomia aculeata*.

CP	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	7.717	0.827	0.296	0.296
2	6.889	3.373	0.265	0.561
3	3.516	0.747	0.135	0.697
4	2.769	0.504	0.106	0.803

có 26.5% de la variación total, con los caracteres peso del fruto (PF), ancho del fruto (AF), largo del fruto (LF), color del mesocarpio (CM) y contenido de aceite en el mesocarpio (AM). El CP3 explicó 13.5% de la variación total con los caracteres longitud de raquis (LR), color de epicarpio (CP) y color de endocarpio (CE). (Cuadro 6).

En las Figuras 1 y 2 se observa la distribución de las poblaciones de estudio en el eje del plano cartesiano de acuerdo con lo componentes principales CP1 y CP2 y con los componentes principales CP1 y CP3. Como se observa en ambas figuras, existe una clara dispersión de las poblaciones entre sí, lo que evidencia la alta variación morfológica entre las mismas.

El dendrograma, con corte a una distancia euclidiana de 0.14 definió cinco grupos con base en los descriptores morfológicos de planta, fruto y semilla (Figura 3).

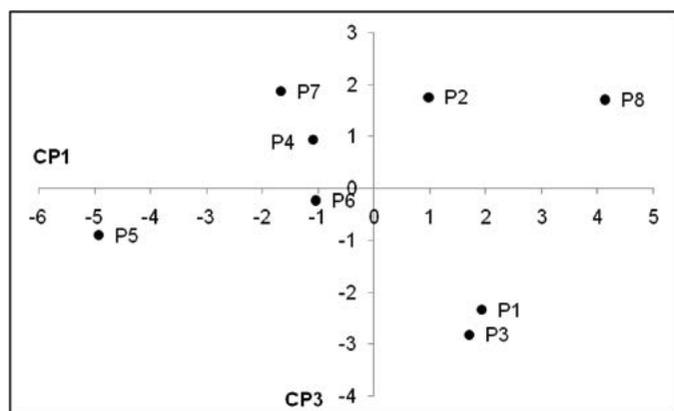
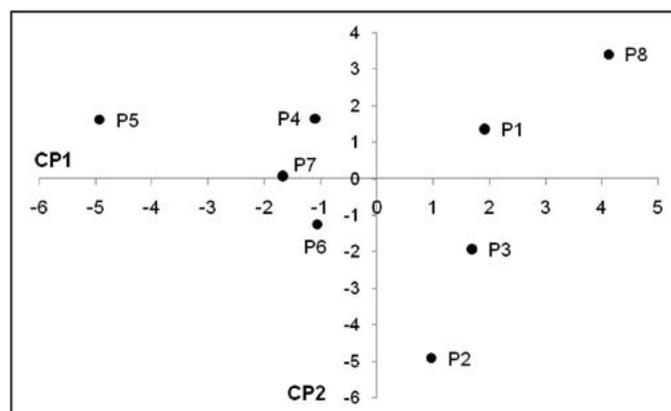
El grupo 1 se conforma por las poblaciones P1 y P3, localizadas en los municipios de Jiquipilas y Villaflores, Chiapas, respectivamente, en suelos regosol y cambisol respectivamente y condiciones similares de clima (cálido subhúmedo), altitud (659 y 651 m respectivamente) y precipitación (rango de 1000 a 1500 mm anuales). Los individuos de dichas poblaciones presentan espinas en

el tallo. Producen anualmente cinco racimos por planta, con promedio de 159 y 201 frutos por racimo respectivamente, con un peso de 30 g por fruto. El epicarpio es de color café claro y amarillo respectivamente.

El mesocarpio o pulpa es de color amarillo claro o amarillo intenso, con un peso promedio de 8.9 y 7.0 g y contenido de aceite de 47.6 y 25.1% respectivamente. El peso de la semilla es de 3.4 y 3.0 g con 50.6 y 41.0% de contenido de aceite en el endospermo, respectivamente. El grupo II corresponde a la población P8, localizada en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, en condiciones de suelo luvisol, clima cálido húmedo, a 314 m de altitud y precipitación anual de 4,000 a 4,500 mm. Los individuos de dicha población tienen espinas en el tallo. Producen anualmente once racimos por planta con promedio de 180 frutos por racimo, con un peso de 31.4 g por fruto. El epicarpio es de color café claro. El mesocarpio o pulpa es de color amarillo claro, con un peso promedio de 8.6 g y contenido de aceite de 47.9%. El peso de la semilla es de 3.9 g con 50.8% de contenido de aceite en el endospermo. El grupo III corresponde a la población P2, localizada en el municipio de Villaflores, Chiapas, en condiciones de suelos regosol, clima cálido subhúmedo, a 671 m de altitud y precipitación anual de 800 a 1000 mm. Los individuos de dicha población tienen espinas en el tallo. Producen anualmente seis racimos por planta con promedio de 300 frutos por racimo, con frutos pequeños con un peso de 24.2 g por fruto. El epicarpio es de color café intenso. El mesocarpio o pulpa

Cuadro 6. Vectores propios y coeficiente de correlación de Pearson de cada variable, con base en los componentes principales de 26 caracteres morfoagronómicos de *A. aculeata*.

Carácter	Vectores propios			Coeficiente de correlación de Pearson		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
Altura	-0.190	0.200	0.045	-0.52873	0.52611	0.08490
Diámetro del tallo a la altura del pecho	0.268	-0.187	-0.080	0.74600*	-0.49116	-0.15087
Presencia de espinas en tallo	0.239	-0.016	0.098	0.66423	-0.04330	0.18494
Número de racimos con fruto por año	0.219	0.175	0.247	0.61073	0.46176	0.46346
Número de frutos por racimo	0.134	-0.240	-0.043	0.37226	-0.63248	-0.08251
Número de frutos por planta	0.222	-0.009	0.151	0.61862	-0.02407	0.28372
Longitud del raquis	0.062	0.199	0.430	0.17466	0.52356	0.80703*
Peso de fruto	-0.176	0.273	-0.200	-0.48995	0.71858*	-0.37612
Ancho de fruto	-0.044	0.288	-0.210	-0.12302	0.75856*	-0.39526
Largo del fruto	0.001	0.326	-0.249	0.00358	0.85696**	-0.46766
Color del epicarpio	-0.069	-0.093	0.408	-0.19227	-0.24658	0.76532*
Grosor del epicarpio	0.099	0.119	-0.135	0.27714	0.31364	-0.25490
Color del mesocarpio	0.058	-0.324	-0.101	0.16178	-0.85193**	-0.18969
Grosor del mesocarpio	-0.270	0.187	-0.152	-0.75211*	0.49335	-0.28595
Peso del mesocarpio	-0.138	-0.014	-0.054	-0.38460	-0.03722	-0.10268
Color de endocarpio	0.011	0.150	0.326	0.03133	0.39474	0.61186
Grosor de endocarpio	-0.216	-0.067	0.009	-0.60020	-0.17710	0.01817
Color de testa	0.076	0.079	0.307	0.21245	0.20796	0.57670
Longitud de semilla	0.294	0.205	-0.022	0.81859*	0.53942	-0.04167
Ancho de semilla	0.280	0.221	-0.060	0.78059*	0.58050	-0.11301
Relación longitud–ancho de semilla	0.287	0.137	0.097	0.79960*	0.35989	0.18299
Grosor de la semilla	0.314	0.058	-0.217	0.87246**	0.15479	-0.40743
Relación ancho–grosor de semilla	-0.211	0.232	0.148	-0.60137	0.39941	0.41027
Peso de semilla	0.292	0.183	-0.124	0.77667	0.55471	-0.16367
Contenido de aceite en mesocarpio	-0.005	0.349	-0.005	-0.09583	0.90411*	0.02513
Contenido de aceite en endocarpio	-0.202	0.097	0.206	-0.64000	0.22609	0.3704

**Figura 1.** Distribución de poblaciones naturales de *Acrocomia aculeata*, en función de los componentes principales 1 y 2.**Figura 2.** Distribución de poblaciones naturales de *Acrocomia aculeata*, en función de los componentes principales 1 y 3.

es de color amarillo claro, con un peso promedio de 9.9 g y contenido de aceite de 20.1%. El peso de la semilla es de 2.3 g con 50% de contenido de aceite en el endos-

permo. El grupo IV se integró con las poblaciones P4, P6 y P7, localizadas respectivamente en los municipios de Tapanatepec, Unión Hidalgo y San Francisco Ixhuatán,

en el estado de Oaxaca. Se desarrollan en suelos cambisol, en clima cálido subhúmedo, en un rango altitudinal de 12 a 125 m y precipitación anual de 800 a 1500 mm. Los individuos de P4 y P7 presentan espinas en el tallo. En la población P6, los individuos no tienen espinas en el tallo. Producen anualmente de cinco a seis racimos por planta con promedio de 62, 157 y 77 frutos por racimo, respectivamente, con un peso en un rango de 28.3 a 33 g por fruto. El epicarpio es de color café claro a intenso. El mesocarpio o pulpa es de color amarillo claro (en P4 y P7) o amarillo intenso (en P6). La P6 posee abundante mesocarpio (pulpa) con un peso promedio de 13.2 g. Por el contrario, en P7 el peso del mesocarpio es de 5.4 g. En P4 el peso promedio del mesocarpio es de 9.4 g. El contenido de aceite en P4 y P7 es de 38.4 y 39.3%, respectivamente. P6 tiene un bajo contenido de aceite (24.6%) en el mesocarpio, sin embargo, su contenido de aceite en el endospermo es el más alto (57.2%) observado en las poblaciones de estudio. En P4 y P7 el contenido de aceite en el endospermo es de 50.8 y 53.1%, respectivamente. El grupo V corresponde a la población P5, localizada en el municipio de Guevea de Humboldt, Oaxaca. Se desarrolla en un suelo acrisol, en clima cálido subhúmedo, a 585 m de altitud y precipitación anual de 1,500 a 1,800 mm. Los individuos de dicha población tienen como característica que no tienen espinas en el tallo. Producen anualmente cinco racimos por planta con promedio de 161 frutos por racimo, con un peso de 37.7 g por fruto. El epicarpio es de color café intenso. El mesocarpio o pulpa es de color amarillo claro, con un peso promedio de 12.2 g y contenido de aceite de 45.1%. El peso de la semilla es de 2.2 g con 55.9% de contenido de aceite en el endospermo.

CONCLUSIONES

La caracterización morfológica de las poblaciones de estudio demuestra una amplia diversidad genética de *Acrocomia aculeata*. Esta diversidad puede ser utilizada como fuente de germoplasma en el mejoramiento genético de la especie orientado a la obtención de mate-

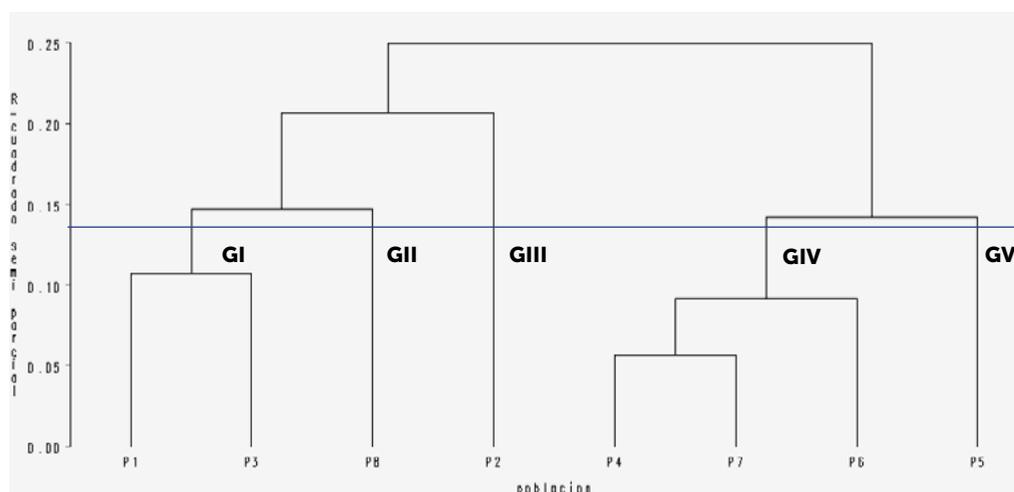


Figura 3. Dendrograma de ocho poblaciones naturales de *Acrocomia aculeata* considerando 26 caracteres morfoagronómicos.

riales mejorados para el establecimiento de plantaciones para ampliar la matriz bioenergética de México. Para tal fin, las características de número de racimos, número de frutos por racimo, masa y contenido de aceite del mesocarpio, son los parámetros morfoagronómicos que podrían utilizarse como criterios de selección de genotipos. La especie representa una alternativa viable para la obtención de insumos para la producción de biodiesel en México.

LITERATURA CITADA

Berton, L. H. (2013). Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*) (Tese de doutorado). Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo, Brasil.

Colombo, C.A., Chorfi, L.H., Díaz, B.G. & Ferrari, R.A. (2017). Macaúba: A promising tropical palm for the production of vegetable oil. *OCL* 25(1), D108. doi: 10.1051/ocl/2017038

Da Silva, P.E. (2017). Caracterização de *Acrocomia aculeata* e *Acrocomia totai* por meio de descritores agromorfológicos. (Tesis de Maestría). Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo, Brasil.

Filho, J. A., Colombo, C.A., Chorfi, L.H. (2012). Macaúba: palmeira nativa como opção bioenergética. *Pesquisa & Tecnologia* 9(2), 1-10.

Macêdo, N.E. & Pereira, M.I. (2007). Oleaginosas potenciais do nordeste para a produção de biodiesel. Documentos 177. Campina Grande, Paraíba, Brasil: Embrapa Algodão.

Montoya, S. G., Motoike, S. Y., Kuki, K. N., Macedo, C., & Gomes, I. (2015). Registro da presença e danos causados por coleópteros em macaúba. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(82), 159-162. doi: 10.4336/2015.pfb.35.82.763

Ramírez, B.C., Zañudo, J., García de Alba, J.E., Délano, J.P., Pimienta, E., & García, M. A. (2013). Importancia agroecológica del coyul (*Acrocomia mexicana* Karw, ex Mart.). *Estudios Sociales*, 21(41), 97-113.

Regazzi, A.J. (2000). Análise multivariada, notas de aula INF 766. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2.