

Caracterización agro-morfológica de 20 cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) en Yucatán, México

Agro-morphological characterization of 20 cowpea cultivars (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) in Yucatan, Mexico

Luis Filipe da Conceição-dos Santos¹, Esaú Ruiz-Sánchez², Juan José Jiménez-Osornio^{1*}

¹Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5, CP 97315 Mérida, Yucatán, México. josornio@correo.uady.mx; Tel. 999 942 3212

²División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico S/N CP 97345 Conkal, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia

Resumen

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) es una leguminosa con alto valor nutricional y el conocimiento de su diversidad y potencial agronómico contribuye a establecer las bases para su conservación y uso sostenible. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar las características morfológicas y comportamiento agronómico de 20 cultivares de frijol caupí en Yucatán. El experimento se realizó en campo, mediante un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se realizaron análisis descriptivos y de varianza. Además, se realizó un análisis de conglomerados mediante el método UPGMA. Se encontró una elevada variabilidad morfológica entre los cultivares. El análisis de conglomerados agrupó los cultivares en cuatro grupos con base en características morfológicas y de origen. Destacaron los cultivares 1, 10, y 13 de ciclo corto y elevado rendimiento como candidatos para un programa de mejoramiento regional.

Palabras clave: Diversidad genética; leguminosas; mejoramiento genético; rendimiento; variedades tradicionales.

Abstract

Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) is a legume with high nutritional value, and knowledge of its diversity and agronomic potential contributes to establishing the bases for its conservation and sustainable use. Therefore, the goal of this work was to identify the morphological characteristics and the agronomic behavior of 20 cowpea cultivars in Yucatan. A field experiment was carried out based on a randomized complete block design with three repetitions. Descriptive statistics and variance analysis were carried out. Additionally, a cluster analysis was performed using the UPGMA method. High morphological variability was found among cultivars. Cluster analysis grouped cultivars into four groups based on morphological and origin characteristics. Cultivars 1, 10, and 13 with short cycles and high yield stood out as candidates for a regional improvement program.

Keywords: Genetic diversity; legumes; genetic improvement; yield; traditional varieties.

Recibido: 03 de mayo de 2021

Aceptado: 16 de noviembre de 2021

Publicado: 02 de febrero de 2022

Cómo citar: da Conceição-dos Santos, L. F., Ruiz-Sánchez, E., & Jiménez-Osornio, J. J. (2022). Caracterización agro-morfológica de 20 cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) en Yucatán, México. *Acta Universitaria* 32, e3216. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2022.3216>

Introducción

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) es una leguminosa originaria en África que ha mostrado ventajas agronómicas, medioambientales y económicas en las regiones semiáridas del trópico (Araméndiz *et al.*, 2011). Se estima que alrededor de 11 millones de hectáreas son cultivadas en todo el mundo (Cardeiro *et al.*, 2019). Sus hojas, vainas, granos y harina son parte de la dieta humana y animal (Gonçalves *et al.*, 2016). El grano tiene un elevado valor nutricional, rico en proteínas y aminoácidos esenciales, lo que lo convierte en una buena alternativa para satisfacer las necesidades de alimentación humana (Carneiro *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2016).

El cultivo de frijol caupí se desarrolla bien en ambientes hostiles donde otras legumbres no prosperan, soporta temperaturas elevadas, tolera la sequía y una baja fertilidad del suelo (Carvalho *et al.*, 2016). Además, tiene la capacidad de establecer simbiosis con *Rhizobium* y hongos micorrízicos, reduciendo la necesidad de fertilizantes y favoreciendo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Carvalho *et al.*, 2016; Fageria *et al.*, 2005). Estos atributos permiten reconocer a esta especie como un cultivo importante en el diseño de agroecosistemas sustentables (Carneiro *et al.*, 2019).

En la península de Yucatán el frijol caupí se conoce como xpelón y se siembra en pequeñas superficies para autoconsumo en un sistema de temporal, como monocultivo o asociado con maíz en la milpa maya (Morales-Morales *et al.*, 2019). En el 2019, se sembraron alrededor de 254 ha de xpelón en Yucatán, con una producción de 882 t de vaina (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019). Las vainas y granos tiernos se consumen en platillos regionales como pibes, tamales y caldos, en particular es una tradición su uso en la fiesta de día de muertos (dos Santos *et al.*, 2020).

Los estudios de diversidad y caracterización de las variedades locales son escasos en México. Murillo-Amador *et al.* (1997) evaluaron características agronómicas y el rendimiento de 12 variedades en Baja California Sur, los autores identificaron las variedades con mayor rendimiento y calidad de vaina. En Yucatán, Castillo *et al.* (2007) evaluaron 65 variedades de frijol caupí como cobertora. Las variedades estudiadas mostraron diferentes respuestas en cuanto a ciclo vegetativo, rendimiento y cobertura del suelo. En el sureste de México, dos Santos *et al.* (2020) evaluaron la diversidad genética de 20 cultivares de frijol caupí mediante marcadores moleculares y reportaron enorme variabilidad a nivel molecular y la presencia de dos pool genéticos en la región (dos Santos *et al.*, 2020). Además, las variedades locales presentaron variación en características morfológicas de la semilla y en contenido mineral (Morales-Morales *et al.*, 2019). Por lo tanto, existe potencial para el mejoramiento genético participativo de las variedades tradicionales de frijol caupí en el sureste de México.

El objetivo del estudio fue identificar las características morfológicas y el comportamiento agronómico de 20 cultivares de frijol caupí en Yucatán, con el fin de clasificarlos en grupos relativamente homogéneos para su incorporación en programas de mejoramiento participativo.

Materiales y Métodos

Localización y diseño experimental.

El experimento se realizó en el Campus Conkal del Tecnológico Nacional de México con las coordenadas geográficas 21° 04' 36.4" y 89° 29' 59.8", durante los meses de agosto a noviembre del 2019. El clima en la región se clasifica en Aw₀ (cálido sub-húmedo con lluvias en verano) (García, 2004) con una precipitación media de 153.4 mm, 172.8 mm, 104.7 mm y 52.8 mm, temperatura máxima de 36.3 °C, 36.5 °C, 34.7 °C y 34.2 °C, temperatura mínima de 19.4 °C, 18.5 °C, 14.7 °C y 11.1 °C y temperatura media de 27.6 °C, 27.4 °C, 25.7 °C y 23.8 °C para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre respectivamente (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2019).

El experimento se estableció en campo bajo un sistema de riego por goteo, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales consistieron en un surco de 10 m de largo, con 0.3 m de distancia entre plantas y 1.2 m de distancia entre surcos para un total de 66 plantas. La siembra se realizó de forma manual colocando tres a cuatro semillas al momento de la siembra y aclarando a dos plantas a los 20 días después de la siembra (dds) para una densidad de 55 000 plantas ha⁻¹.

Se realizaron dos aplicaciones de un insecticida botánico (1.5 L ha⁻¹) a base de extracto de ajo (*Allium sativum*), chile picante (*Capsicum frutescens*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*) a los 14 dds y 28 dds como medida preventiva y dos aplicaciones de un fertilizante foliar (Poliquel®multi) a base de micronutrientes a una dosis de 2 L ha⁻¹ a los 28 dds y 35 dds.

Material vegetal

Se evaluaron 18 cultivares de frijol caupí provenientes del sur de México. Se realizaron ocho colectas en el estado de Yucatán, seis colectas en el estado de Campeche, tres colectas en el de Quintana Roo y una en el de Oaxaca. Las colectas se realizaron directamente con los productores. Además, se evaluó la variedad "Trópico 782" introducida de Cuba y cultivada en la región (Castillo, 2007) y la variedad BRS Tumucumaque de Brasil (De Oliveira *et al.*, 2014) para un total de 20 cultivares (Tabla 1).

Tabla 1. Clave, nombre común y origen de 20 cultivares de frijol caupí evaluadas en Yucatán, México.

Clave	Nombre común/variedad	Origen	Estado	Municipio	Coordinadas
1	Trópico 782	Cuba	-	-	-
2	frijol blanco	México	Oaxaca	Miahuatlán	16°19'3.8"N, 96°35'42.4"O
3	xpelón	México	Yucatán	Tizimín	21°10'2.34"N, 88° 3'5.85"O
4	pelón	México	Campeche	Calakmul	18°13'25.95"N, 89°27'3.46"O
5	pelón	México	Campeche	Campeche	18°33'58.8"N, 90°00'45.3"O
6	xpelón	México	Campeche	Calkiní	20°17'54.9"N, 90°03'34.8"O
7	xpelón	México	Yucatán	Motul	21°07'19.2"N, 89°16'34.4"O
8	pelón	México	Campeche	Escárcega	18°33'56.9"N, 90°27'27.3"O
9	pelón	México	Campeche	Escárcega	18°21'35.6"N, 90°51'16.8"O
10	dominga	México	Q. Roo	Felipe Carrillo Puerto	20°14'48.6"N, 88°15'34.7"O
11	xnuc xpelón	México	Yucatán	Tahdziú	20°12'15.1"N, 88°56'36.1"O

12	xpelón	México	Campeche	Champotón	19°05'24.5"N, 90°31'48.1"O
13	xpelón grande	México	Q. Roo	Chetumal	18°33'44.9"N, 88°19'21.6"O
14	yax xpelón	México	Yucatán	Oxkutzcab	20°15'03.3"N, 89°29'17.2"O
15	xpelón de mata	México	Yucatán	Santa Elena	20°20'00.9"N, 89°40'00.5"O
16	dorninga	México	Q. Roo	José María Morelos	19°54'28.8"N, 88°48'29.2"O
17	xpelón	México	Yucatán	Valladolid	20°35'55.8"N, 88°09'46.4"O
18	xmejen xpelón	México	Yucatán	Tixmehuac	20°13'48.3"N, 89°06'13.6"O
19	xpelón	México	Yucatán	Izamal	20°56'09.2"N, 88°58'46.6"O
20	BRS Tumucumaque	Brasil	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Variables evaluadas

Se evaluaron en total 34 variables seleccionadas por su importancia según Alercia (2011) y siguiendo la guía de descriptores para *V. unguiculata* del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1983). Las variables se evaluaron a partir de la sexta semana después de la siembra para un total de 15 repeticiones por variable. Se agruparon en dos grupos:

I) variables cualitativas (16): hábito de crecimiento (HC); patrón de crecimiento: (PC); vigor de la planta (VP); habilidad trepadora (HT); pigmentación de la planta (PP); vellosidad vegetal (VV); forma de la hoja (FH); color de la flor (CF); posición del racimo (PR); pigmentación de la vaina inmadura (PVI); curvatura de la vaina (CV); grosor de la vaina (GV); color de la semilla (CS); forma de la semilla (FS); textura de la semilla (TS) y color del hilum (CH).

II) variables cuantitativas (18): número de ramas principales (NRP); largo de la hoja terminal (LHT); ancho de la hoja terminal (AHT); longitud del pedúnculo (LP); días a floración (DF); días a primer corte (DPC); número de vainas por pedúnculo (NVP); largo de la vaina (LV); ancho de la vaina (AV); peso de 100 vainas (P100V); número de vainas por planta (NVP); rendimiento de vainas inmaduras (RVI) = $NVP \times (P100V / 100)$; número de granos por vaina (NGV); largo de la semilla (LS); ancho de la semilla (AS); grosor de la semilla (GS); peso de 100 semillas (P100s); rendimiento de grano (RG) = $NVP \times NGV \times (P100s / 100)$. Para obtener el RG, las vainas se desgranaron y los granos se secaron en una estufa a 50 °C hasta peso constante. Las mediciones de LS, AS y GS se realizaron con un vernier digital (Truper, CALDI-6MP).

Análisis estadístico

Para sintetizar e interpretar los resultados se elaboró un cuadro descriptivo con las variables cualitativas y se describen los resultados en porcentajes. Para las variables cuantitativas se realizaron análisis de varianza y comparación las medias utilizando la prueba de Scott-Knott ($p < 0.05$). Los resultados se expresaron como la media (\pm error estándar) de 15 repeticiones. Además, como método de clasificación por similitud, se realizó un análisis de conglomerados con todas las variables mediante el método de UPGMA y la distancia Euclíadiana como medida de similitud. Todos los procedimientos se realizaron con el paquete estadístico InfoStat versión 2016.

Resultados

Caracterización agro-morfológica

El 90% de las colectas presentó hábito de crecimiento (HC) intermedio. Solo los cultivares 1 y 20 presentaron un HC erecto y semi-erecto respectivamente. El patrón de crecimiento (PC) fue indeterminado en la mayoría de los casos (95%). Solo el cultivar 1 presentó un PC determinado. Un 40% de los cultivares se clasificaron como muy vigorosos y vigorosos (VP), mientras que los restantes 20% fueron intermedios. La mayoría de los cultivares (80%) no presentaron habilidad trepadora (HT), un 10% presentó una HT ligera y apenas los cultivares 11 y 4 presentaron una HT intermedia y marcada respectivamente.

La pigmentación de la planta (PP) fue intermedia a moderada en 50% de los cultivares, y ligera o ausente en las restantes. Asimismo, la vellosidad vegetal (VV) fue glabrescente en 50% de los cultivares evaluados. Se identificaron dos formas de hojas (FH). La mayoría de los cultivares (95%) presentaron hojas con una forma sub-globulosa. Solo el cultivar 2 presentó hojas con forma hastada. En cuanto a la posición del racimo (PR), 25% de los cultivares presentaron el racimo a un nivel superior al nivel del dosel, los restantes 75% presentaron el racimo al nivel del dosel. La mayoría de los cultivares (80%) presentaron flores de color violeta y un 40% presentó flores de color blanco. Los cultivares evaluados mostraron además diferentes patrones de pigmentación de la vaina (PVI); uniforme (5%), en las válvulas (30%), en las puntas (40%) y ausente (25%). Las vainas resultaron en su mayoría (80%) ligeramente curvadas con un grosor regular (45%). Las semillas, a su vez, son en su mayoría de color negro (65%), de forma reniforme (75%), de textura suave (80%) con el hilum de color blanco (65%).

Las variables cuantitativas se describen en la Tabla 2. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas. El CV varió entre 8% y 38%, entre las variables evaluadas.

Tabla 2. Variables cuantitativas evaluadas en 20 cultivares de frijol caupí en Yucatán, México.

Clave	NRP	LHT	AHT	LP	DF	DPC	NVp	LV	AV	P100V	NVP	NGV	LS	AS	GS	P100s
		(cm)	(cm)	(cm)	(dds)	(dds)		(cm)	(cm)	(g)			(mm)	(mm)	(mm)	(g)
1	2.7 ^e	12.9 ^b	8.1 ^b	61.7 ^a	39 ^a	57 ^a	2.3 ^a	18.3 ^d	0.87 ^d	509.0 ^e	11.0 ^a	13.6 ^d	8.0 ^c	6.2 ^b	4.9 ^a	13.7 ^c
2	8.7 ^a	13.8 ^a	7.5 ^b	39.5 ^d	69 ^d	83 ^d	2.0 ^{ab}	16.9 ^e	0.89 ^d	676.8 ^d	9.1 ^c	15.1 ^c	7.9 ^c	6.0 ^c	4.4 ^c	14.3 ^b
3	4.0 ^d	12.9 ^b	9.1 ^a	48.4 ^b	48 ^b	61 ^b	1.3 ^c	20.1 ^b	0.97 ^b	1027 ^a	6.1 ^e	16.8 ^b	8.2 ^b	6.3 ^b	4.4 ^c	13.0 ^d
4	4.7 ^c	12.9 ^b	9.6 ^a	40.1 ^d	69 ^d	76 ^d	1.3 ^c	19.8 ^b	1.01 ^a	947.2 ^a	4.1 ^g	17.6 ^b	7.4 ^d	5.5 ^e	4.3 ^c	12.1 ^f
5	5.3 ^c	13.5 ^b	8.2 ^b	48.3 ^b	48 ^b	66 ^c	2.0 ^{ab}	18.5 ^d	0.89 ^d	724.4 ^c	4.2 ^g	17.7 ^b	7.5 ^d	5.3 ^e	4.1 ^d	9.9 ⁱ
6	4.9 ^c	12.0 ^c	8.5 ^b	39.5 ^d	50 ^c	66 ^c	2.0 ^{ab}	19.2 ^c	0.89 ^d	767.8 ^c	4.4 ^g	17.5 ^b	7.9 ^c	5.7 ^d	4.2 ^c	10.8 ^h
7	4.5 ^d	12.7 ^b	8.6 ^b	41.1 ^d	49 ^b	66 ^c	2.0 ^a	20.0 ^b	0.94 ^c	882.9 ^b	4.7 ^g	16.8 ^b	8.4 ^b	5.9 ^d	4.1 ^d	10.3 ^g
8	4.6 ^c	13.3 ^b	9.2 ^a	44.2 ^c	50 ^c	66 ^c	1.3 ^c	18.1 ^d	0.88 ^d	685.1 ^d	6.1 ^e	16.6 ^b	7.2 ^e	5.2 ^e	3.9 ^d	10.2 ⁱ
9	5.9 ^b	13.2 ^b	9.6 ^a	43.5 ^c	51 ^c	66 ^c	2.0 ^{ab}	18.9 ^c	0.87 ^d	706.3 ^c	5.2 ^f	16.6 ^b	7.1 ^e	5.4 ^e	4.0 ^d	9.9 ⁱ
10	4.0 ^d	12.8 ^b	9.1 ^a	45.4 ^c	47 ^a	61 ^b	2.0 ^{ab}	17.6 ^e	0.79 ^e	643.9 ^d	10.1 ^b	17.9 ^b	7.9 ^c	5.8 ^d	4.2 ^c	10.1 ⁱ
11	4.9 ^c	13.3 ^b	8.8 ^b	38.9 ^d	68 ^d	80 ^d	1.3 ^c	21.3 ^a	0.96 ^b	917.5 ^b	7.1 ^d	18.6 ^a	8.6 ^a	6.3 ^b	4.8 ^a	13.5 ^c
12	7.3 ^b	13.2 ^b	8.5 ^b	36.6 ^d	50 ^c	65 ^c	1.3 ^c	20.9 ^a	0.92 ^c	898.3 ^b	6.1 ^e	17.5 ^b	8.4 ^b	6.1 ^c	4.6 ^b	13.6 ^c
13	3.8 ^d	13.2 ^b	10.3 ^a	47.7 ^b	46 ^a	61 ^b	2.0 ^a	19.1 ^c	1.01 ^a	955.1 ^a	9.3 ^c	15.5 ^c	8.8 ^a	6.7 ^a	4.3 ^c	13.6 ^c
14	5.0 ^c	12.6 ^b	9.1 ^a	39.3 ^d	48 ^b	65 ^c	1.3 ^c	19.3 ^c	1.01 ^a	967.2 ^a	4.8 ^f	17.0 ^b	8.0 ^c	5.8 ^d	4.4 ^c	11.0 ^h

15	4.3 ^d	12.5 ^b	9.6 ^a	39.5 ^d	51 ^c	65 ^c	2.0 ^a	19.2 ^c	1.02 ^a	993.1 ^a	5.0 ^f	17.0 ^b	8.6 ^a	6.6 ^a	4.7 ^a	14.2 ^b
16	5.5 ^c	13.1 ^b	9.9 ^a	39.6 ^d	50 ^c	66 ^c	1.7 ^{bc}	19.4 ^c	1.01 ^a	973.2 ^a	5.3 ^f	16.4 ^b	8.1 ^b	6.3 ^b	4.5 ^c	12.9 ^d
17	6.1 ^b	13.1 ^b	9.7 ^a	44.9 ^c	50 ^c	65 ^c	2.0 ^a	19.5 ^c	0.98 ^b	979.5 ^a	6.3 ^e	16.4 ^b	8.7 ^a	6.6 ^a	4.3 ^c	12.4 ^e
18	6.4 ^b	12.6 ^b	9.1 ^a	39.4 ^d	53 ^c	66 ^c	2.0 ^a	21.0 ^a	1.01 ^a	989.8 ^a	5.2 ^f	17.0 ^b	8.5 ^b	6.1 ^c	4.3 ^c	13.2 ^d
19	4.0 ^d	13.9 ^a	8.9 ^b	40.8 ^d	66 ^d	80 ^d	1.4 ^c	20.2 ^b	0.98 ^b	941.6 ^a	7.2 ^d	19.5 ^a	8.0 ^c	6.0 ^c	4.6 ^b	12.1 ^f
20	2.6 ^e	13.1 ^b	8.1 ^b	40.3 ^d	43 ^a	61 ^b	2.0 ^a	21.2 ^a	0.92 ^c	729.7 ^c	5.4 ^f	12.8 ^d	8.6 ^a	6.3 ^b	4.8 ^a	16.5 ^a
Media \pm	4.9 \pm	13.0 \pm	9.0 \pm	42.9 \pm	52.3 \pm	67.1 \pm	1.8 \pm	19.4 \pm	0.9 \pm	845.8 \pm	6.3 \pm	16.7 \pm	8.1 \pm	6.0 \pm	4.4 \pm	12.4 \pm
ES	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.4	0.0	0.1	0.0	8.5	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	1.9
CV (%)	38.1	10.2	14.7	20.7	16.2	10.2	26.0	10.3	9.3	20.0	32.0	15.1	8.2	9.1	8.5	15.2

NRP: número de ramas principales; LHT: largo de la hoja terminal; AHT: ancho de la hoja terminal; LP: longitud del pedúnculo; DF: días a floración; DPC: días a primer corte; NVP: número de vainas por pedúnculo; LV: largo de la vaina; AV: ancho de la vaina; P100V: peso de 100 vainas; NVP: número de vainas por planta; NGV: número de granos por vaina; LS: largo de la semilla; AS: ancho de la semilla; GS: grosor de la semilla; P100s: peso de 100 semillas; CV: coeficiente de variación; Letras diferentes en la misma columna significan diferencias estadísticas entre cultivares ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

El número de ramas varió de 2.6 a 8.7 con un valor medio de 4.5 ramas. Los cultivares 1 y 20 resultaron con el menor valor y el cultivar 2 resultó con mayor número de ramas. El largo y ancho de la hoja terminal variaron entre 12.0 cm a 13.9 cm y 7.5 cm a 9.9 cm, respectivamente. El cultivar 2 resultó con hojas más largas y estrechas que corresponde a una forma hastada. Los cultivares 13 y 16 resultaron con hojas más anchas y de gran tamaño. La LP varió entre 36.6 cm y 61.7 cm, con un valor medio de 42.9 cm, presentando el cultivar 12 el valor mínimo y el cultivar 1 el valor máximo. Las variables DF y DPC variaron entre 39 dds a 69 dds y 57 dds a 83 dds respectivamente. El cultivar 1 fue el más precoz con aproximadamente ocho semanas a cosecha mientras que los cultivares 2, 4, 11 y 19 resultaron más tardíos, necesitando más de 11 semanas a cosecha. El NVP varió entre 1.3 a 2.3 vainas, con una media de 1.8 vaina por pedúnculo. El mayor NVP se observó en el cultivar 1 mientras los cultivares 3, 4, 8, 11, 12 y 14 resultaron con menor NVP. Las variables LV y AV variaron entre 16.9 cm a 21.3 cm y 0.79 cm a 1.02 cm, respectivamente. Los cultivares 11, 20, 18 y 12 resultaron con las vainas más largas, mientras que el cultivar 2 con las vainas más cortas. En la variable P100V se observaron valores entre 509 g a 1027 g, con una media de 845.8 g. El cultivar 1 resultó con menor peso de vaina, mientras que el cultivar 3 registró el valor máximo, estadísticamente similar a los cultivares 4, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19. El NVP varió entre 4 a 11 vainas, con una media de 6.3 vainas. El cultivar 1 registró el mayor número de vainas, mientras que los cultivares 4, 5, 6 y 7 produjeron apenas 4 a 5 vainas. El NGV varió entre 12.8 a 19.5 granos, con una media de 16.7 granos por vaina. El menor valor se observó en el cultivar 20 mientras que el mayor valor en el cultivar 19. En las variables evaluadas en la semilla, el LS y AS variaron entre 7.11 mm a 8.78 mm y 5.23 mm a 6.69 mm respectivamente. Los cultivares 13, 17 y 15 destacaron en las variables LS y AS con semillas de mayor tamaño. Los cultivares 8 y 9 resultaron con semillas de menor tamaño. El valor máximo en GS se observó en el cultivar 1 con 4.90 mm, mientras que el valor mínimo se observó en el cultivar 8 con 3.94 mm. La variable P100s registró valores entre 9.9 g a 16.5 g, con una media de 12.4 g. El cultivar 20 resultó con el valor más elevado, mientras que los cultivares 9, 5, 10 y 8 registraron el menor P100s (Tabla 2).

Rendimiento potencial de frijol caupí en Yucatán, México

El rendimiento potencial en vainas (RVI) y grano (RG) de los 20 cultivares de frijol caupí se muestra en la Figura 1. El RVI varió entre 1.7 t ha^{-1} a 4.9 t ha^{-1} con una media de 2.9 t ha^{-1} entre los cultivares evaluadas. El cultivar 13 resultó con el RVI más elevado, seguida de los cultivares 2, 3, 10, 11, 17 y 19 con un rendimiento moderado de 3 t ha^{-1} a 4 t ha^{-1} . En los cultivares 4, 5, 6 y 9 el RVI fue menor. En la variable RG se observaron

valores entre 0.2 t ha^{-1} a 1.1 t ha^{-1} con una media de 0.7 t ha^{-1} . Los cultivares 1, 2, 11 y 13 registraron los valores más elevados con 1.1 t ha^{-1} , 1.1 t ha^{-1} , 1.0 t ha^{-1} y 1.1 t ha^{-1} respectivamente (Figura 1).

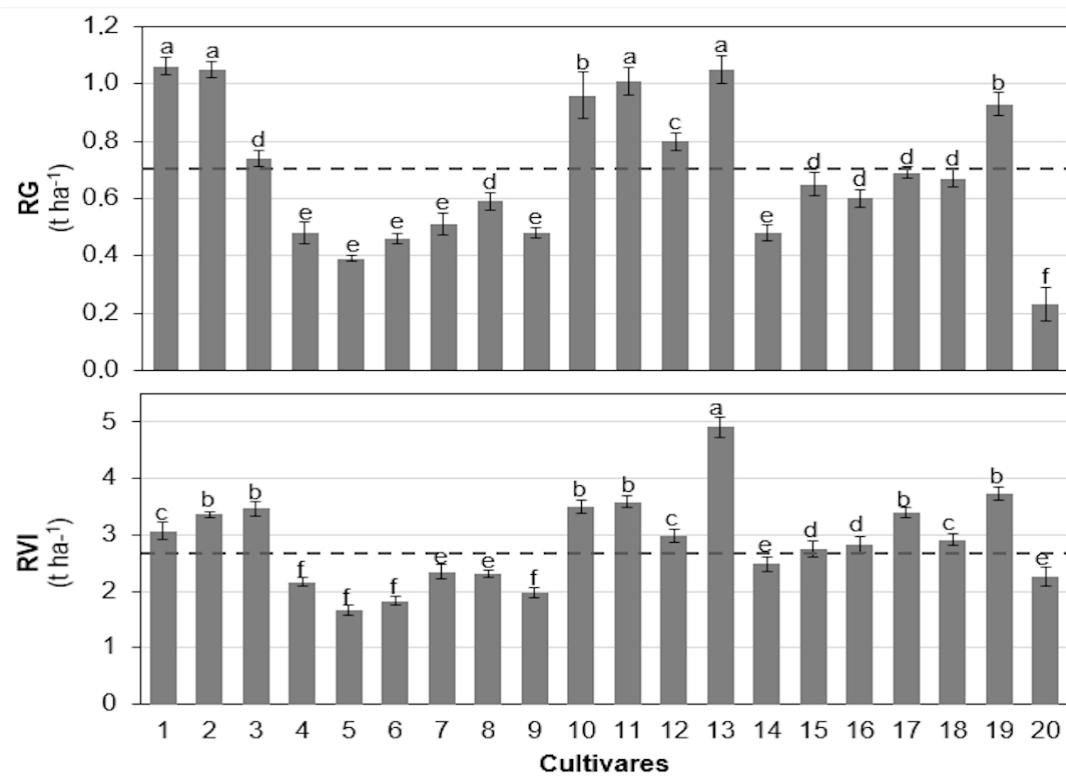


Figura 1. Rendimiento potencial de vainas (RVI) y grano (RG) de 20 cultivares de frijol caupí evaluadas en Yucatán, México. La línea horizontal rayada marca la media del rendimiento. Letras diferentes significan diferencias estadísticas entre cultivares ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de conglomerados

En análisis de conglomerados resultó con una correlación cofenética de 0.93 entre los cultivares (Figura 2). Se encontraron cuatro grupos definidos a una distancia de 9.0 unidades. El grupo I está conformado por el cultivar 20 que se distingue por poseer un HC semi-erecto con pocas ramas (NRP = 2.6) de ciclo corto (DF = 43 dds) y flores de color blanco. Las vainas son de tamaño regular (LV = 21 cm) pero con pocos granos (NGV = 13). Las semillas son de gran tamaño (LS = 8.6 mm, AS = 6.2 mm) y peso (P100s = 16.5g), de color blanco con el hilum de color marrón tostado. El grupo II está conformado por 17 cultivares y se divide en dos sub grupos. El subgrupo II-A con 4 cultivares (4, 5, 8 y 9), se caracterizan por poseer 4 a 5 ramas principales, en su mayoría son de ciclo intermedio (DF = 48-51 dds), con flores blancas. Las vainas son de tamaño regular (LV = 18 cm-20 cm) con 17 a 18 granos por vaina. Las semillas son de forma reniforme de pequeño tamaño y bajo peso (P100s = 10 g-12 g) de color crema con el hilum de color negro. El subgrupo II-B cuenta con 13 cultivares (3, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19) y se caracterizan por poseer 4 a 7 ramas principales, en su mayoría de ciclo intermedio con flores de color violeta. Las vainas son de tamaño regulares y pesadas, con 16 a 20 semillas por vaina. Las semillas tienen en su mayoría forma reniforme y un color negro. Son de un tamaño y peso regular. El grupo III está conformado por el cultivar 2 que se caracteriza por poseer un número elevado de ramas (NRP = 8.7), sus hojas son largas (LHT = 13.8 cm), con una forma hastada. Su ciclo es largo (DF = 69 dds) y las flores de color blanco. Las vainas son cortas (LV = 16.9 cm) y con pocos granos (NGV = 15). Las semillas son reniformes, de color crema con el hilum de color

negro. Son de tamaño y peso regular. El grupo IV está conformado por el cultivar 1 que se distingue por poseer un HC erecto, PC determinado y pocas ramas (NRP = 2.7). Tiene un ciclo corto (DF = 39 dds) y flores de color violeta. Las vainas son de tamaño regular y ligeras (P100V = 509 g), con pocos granos (NGV = 14). Las semillas tienen una forma ovoide, de gran tamaño (GS = 4.9 mm) y peso (P100s = 13.7g) con un color crema marrón.

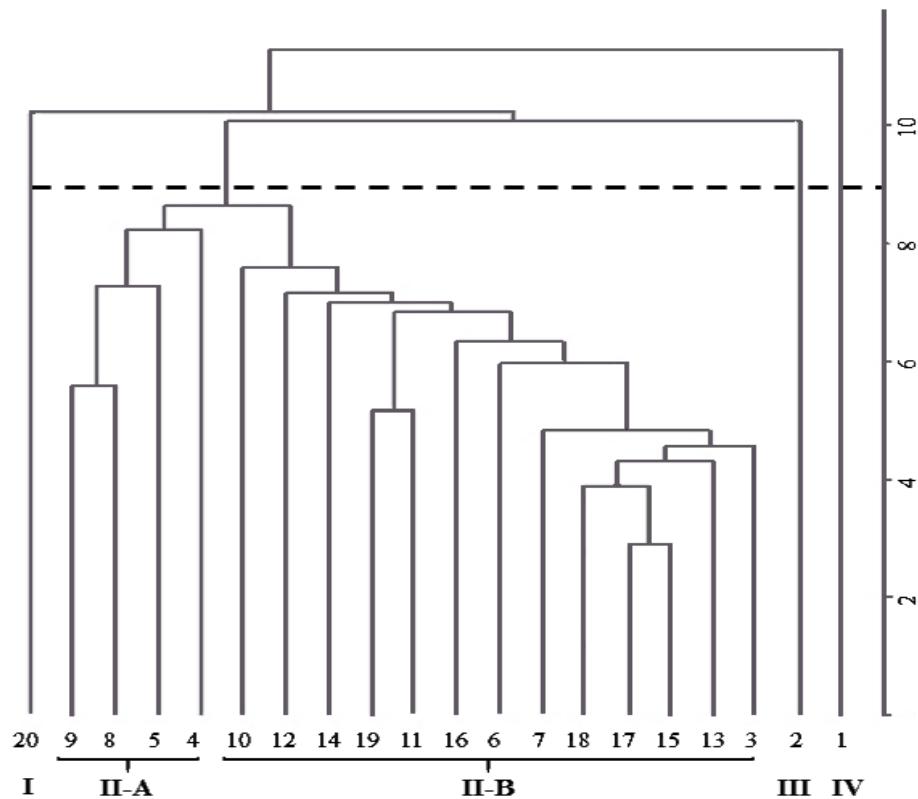


Figura 2. Dendrograma UPGMA de 20 cultivares de frijol caupí evaluados en Yucatán, México.
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Caracterización agro-morfológica

Los cultivares de caupí evaluados en Yucatán presentaron elevada variabilidad en lo relativo a las características agro-morfológica estudiadas. Los parámetros cualitativos son considerados muy relevantes para identificar un cultivar, dado que son generalmente controlados genéticamente e independientes de un efecto ambiental (Carvalho *et al.*, 2016). En estudios de diversidad morfológica, las características cualitativas como el hábito de crecimiento, el patrón de crecimiento y la longitud del pedúnculo, entre otras, son rasgos de interés para los mejoradores (Abadassi, 2015). Las plantas de porte erecto con mayor altura de inserción de las vainas permiten una mayor densidad poblacional, facilitan operaciones mecanizadas, la cosecha y favorecen la calidad de las vainas (Carvalho *et al.*, 2016).

En este estudio, los valores observados en el número de ramas principales fueron consistentes con el hábito de crecimiento, ya que las plantas erectas tienen menor número de ramas. Las variables días a floración y días a primer corte son en general, características no uniformes entre cultivares y están relacionadas con el hábito de crecimiento (Ávila-Serrano *et al.*, 2010). En plantas con un hábito de crecimiento rastrero o trepador, su floración es durante un periodo más largo y sus vainas no maduran al mismo tiempo. En plantas de hábito de crecimiento semi-erecto y erecto, la floración y la madurez son más uniformes (Ávila-Serrano *et al.*, 2010). Según la clasificación propuesta por Ehlers & Hall (1996), las plantas de *V. unguiculata* se pueden agrupar en: precoces de 36 a 45 días a floración, intermedias de 46 a 55 días a floración y tardías, superior a 55 días a floración. Según lo anterior, los cultivares 1 y 20 (10%) corresponden a un ciclo de producción precoz. El 70% de los cultivares evaluadas corresponde a un ciclo de producción intermedio y el 20% restante a un ciclo de producción tardío.

Con respecto a las características de las vainas, resultaron en su mayoría ligeramente curvadas de tamaño regular, en promedio con 19.4 cm de longitud y 16.7 granos por vaina (Tabla 2). La calidad de la vaina está relacionada con el tamaño y forma de las vainas (Murillo-Amador *et al.*, 1997). El tamaño de vaina depende del cultivar y en algunos casos puede alcanzar 75 cm de longitud (Apáez-Barrios *et al.*, 2013). En un estudio realizado en Baja California Sur por Ávila-Serrano *et al.* (2010), los autores reportaron valores de 19.0 cm y 0.85 cm para las variables largo y ancho de vaina, similares a los observados en este estudio. Sin embargo, para la variable número de granos por vaina, los cultivares evaluados en Yucatán resultaron en promedio un 56% superiores a lo reportado por los mismos autores. Asimismo, Ribeiro *et al.* (2019) observaron valores medios de 20 cm para la variable longitud de vaina con variedades tradicionales en Brasil.

Para la variable número de vainas por planta, se encontraron valores similares a Torres *et al.* (2008) pero inferiores a lo reportado por Ávila-Serrano *et al.* (2010), Carvalho *et al.* (2016) y Ribeiro *et al.* (2019) con un rango de 12 a 16 vainas por planta. Nkhoma *et al.* (2020) evaluaron 90 accesiones de frijol caupí, incluyendo líneas elite, líneas mutantes y variedades tradicionales con origen en diferentes regiones tropicales de África. Los autores reportaron valores en un rango de 3 a 56 vainas por planta con un promedio de 21 vainas por planta para las accesiones evaluadas. Las diferencias están relacionadas a un efecto de interacción entre el genotipo y el ambiente (Nkhoma *et al.*, 2020).

Con respecto a las características de la semilla, en el presente trabajo se observó un predominio de semillas reniformes, de tamaño regular y de color negro. El color de la semilla es una característica definida por el consumidor, ligada a preferencias regionales y culturales (Carvalho *et al.*, 2016). En el sureste de México los consumidores prefieren semillas de color negro (Morales-Morales *et al.*, 2019). Sin embargo, se encontraron en menor medida semillas de color crema (26%) y crema-marrón (5%).

Las variables LS, AS, GS y P100s están relacionadas con el tamaño de las semillas. El tamaño de la semilla es un criterio que puede determinar el uso final en el mercado, siendo las variedades con semillas grandes las preferidas por los consumidores (Morales-Morales *et al.*, 2019). Entre los cultivares evaluados, el cultivar 20 destacó en las variables LS, GS y P100s con semillas de gran tamaño, por lo que podría tener un destino comercial. En el trabajo realizado por Morales-Morales *et al.* (2019) en el sureste de México, los autores reportaron un peso medio de 8.49 g, 6.37 g y 4.57 g para las variables LS, AS y GS, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo observado en este estudio. Sin embargo, para la variable P100s, los autores reportaron valores de 3.5 g a 22.1 g. En los cultivares aquí evaluadas, el P100s tuvo una variación de 9.9 g a 16.5 g con un valor promedio de 12.4 g. Esta diferencia podría atribuirse a los cultivares utilizados o a diferencias en el porcentaje de humedad al momento del pesaje.

Rendimiento potencial de frijol caupí en Yucatán, México

Cuanto al rendimiento de vaina (RVI), los cultivares evaluados en Yucatán alcanzaron un valor promedio de 2.9 t ha^{-1} (Figura 1). En los trabajos realizados por Murillo-Amador *et al.* (1997) y Díaz & Ortegón (2000) en Baja California Sur y Tamaulipas, respectivamente los autores reportaron un rendimiento de vaina de 5 t ha^{-1} , superior a los cultivares evaluados en Yucatán. En el estado de Guerrero, Apáez-Barrios *et al.* (2013) reportaron un rendimiento de vaina de 15 t ha^{-1} con una variedad de frijol chino con vainas largas de hasta 42 cm muy superiores en tamaño a los cultivares utilizados en el sureste de México.

En cuanto al rendimiento de grano (RG), los cultivares evaluados en Yucatán obtuvieron un rendimiento promedio de 0.7 t ha^{-1} , con un valor máximo de 1.1 t ha^{-1} (Figura 1). Un resultado similar a lo observado por Araméndiz *et al.* (2011) en Colombia, con un rendimiento promedio de 0.6 t ha^{-1} de grano. Sin embargo, inferior a lo observado por Díaz & Ortegón (2000) y Torres *et al.* (2008) con un rendimiento de grano de 1.1 t ha^{-1} y 1.0 t ha^{-1} respectivamente. Asimismo, Ávila-Serrano *et al.* (2010), Báez & Hernández (2016) y Ribeiro *et al.* (2019) reportaron rendimientos de grano superiores en un rango de 1.3 t ha^{-1} a 2.2 t ha^{-1} . En este trabajo, el cultivar 20 con su origen en Brasil, no destacó en la variable RG, resultando muy afectado por patógenos. Además, el cultivar 1 con origen en Cuba destacó en rendimiento de grano (Figura 1).

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados agrupó los cultivares de frijol caupí en cuatro grupos diferentes definidos con base en las características agro-morfológicas evaluadas y el origen de los cultivares. Los cultivares 1, 2 y 20 con origen diferente a la Península de Yucatán, poseen características únicas que les permitieron agruparse de forma individual. El cultivar 1 tiene su origen en Cuba y aunque se siembra en la región desde hace casi dos décadas, el manejo de los productores y la biología de la especie permite mantener aislada su identidad. El cultivar 2 tiene su origen en el estado de Oaxaca y presenta características morfológicas diferentes a los cultivares de la región. El cultivar 20 tiene su origen en el noreste de Brasil con un clima cálido semiárido, posiblemente tiene un origen genético diferente a los cultivares del sureste de México. En el grupo II se agruparon todas los cultivares con origen en la Península de Yucatán. Los cultivares de este grupo se encuentran adaptados a las condiciones locales, por lo que presentaron características similares que les permitieron diferenciarse de los cultivares de otras regiones de país y del extranjero (Figura 2). En este grupo resultaron además dos sub-grupos que se diferencian claramente por el color y tamaño de la semilla.

En el estudio realizado por Morales-Morales *et al.* (2019) al evaluar 15 colectas de frijol caupí en la Península de Yucatán los autores reportaron la formación de cuatro grupos principales definidos con base en las características fenotípicas de las semillas, siendo el color y tamaño de la semilla importantes en la formación de los grupos, lo que coincide con lo observado en este trabajo.

Conclusiones

Los cultivares evaluados en este trabajo constituyen una base genética importante para el mejoramiento del caupí en la Península de Yucatán. El análisis de conglomerados agrupó los 20 cultivares en cuatro grupos definidos con base en las características agro-morfológicas y de origen de los cultivares.

Con base en las características agronómicas evaluadas, destacan los cultivares 10 y 13 de ciclo corto y los cultivares 2, 11 y 19 de ciclo largo con un rendimiento elevado y candidatos a un programa local de mejoramiento. Además, el cultivar 1 de ciclo corto, porte erecto y patrón de crecimiento determinado, demostró un excelente comportamiento agronómico y aptitud para un sistema mecanizado.

Agradecimientos

El primer autor agradece a la Secretaría de Educación Pública México - Programa para el Desarrollo Profesional Docente por una beca de posgrado (número de folio: 511-6 / 2019-12931) y al Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal por la disponibilidad para el establecimiento y desarrollo del experimento. Los autores agradecen a los productores que proporcionaron las semillas utilizadas en este estudio.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Referencias

- Abadassi, J. (2015). Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) agronomic traits needed in tropical zone. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 3(4), 158-165. <http://www.ijpab.com/vol3-iss4.php>
- Alercia, A. (2011). *Key characterization and evaluation descriptors: Methodologies for the assessment of 22 crops*. Biodiversity International.
- <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/key-characterization-and-evaluation-descriptors/>
- Apáez-Barrios, P., Escalante-Estrada, J. A. S., & Rodríguez-González, M. T. (2013). Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(1), 129-140. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.09.035>
- Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M., & Sierra, C. M. (2011). Comportamiento agronómico de líneas promisorias de fríjol caupí *Vigna unguiculata* L. Walp en el Valle del Sinú. *Temas Agrarios*, 16(2), 9-17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4149355>
- Ávila-Serrano, N. Y., Murillo-Amador, B., Espinoza-Villavicencio, J. L., Palacios-Espinosa, A., Guillén-Trujillo, A., Luna-de la Peña, R., & García-Hernández, J. L. (2010). Modelos de predicción del rendimiento de grano y caracterización de cinco cultivares de frijol yorimón. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(1), 11-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074002>
- Báez, A., & Hernández, C. A. (2016). Estudio del rendimiento de cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en diferentes épocas de siembra en Camajuaní, Cuba. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 1(26) 11-18. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872016000300002&lng=en&tlng=en
- Cardeiro, A., Da Costa, D., Lopes, D., da Silva, P. B., Cavalcante, R., & Siviero, A. (2019). Cowpea: A strategic legume species for food security and health. En J. C. Jimenez-Lopez & A. Clemente (eds.), *Legume seed nutraceutical research* (pp. 79-86). IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.79006>

- Carvalho, M., Castro, I., Matos, M., Lino-Neto, T., Silva, V., Rosa, E., & Carnide, V. (2016). Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão frade (*Vigna unguiculata*): Bases para o melhoramento. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(4), 506-517. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16091>
- Castillo, J., Jiménez, J. J., & Armendáriz, I. R. (2007). Exploración de la diversidad del espelón (*Vigna unguiculata* L. Walp.) como cubierta en Yucatán, México. *Revista Agropecuaria de Cuba*, 31, 1-13. http://www.actaf.co.cu/revistas/agropecuaria_05_2008/agrot2007-2/agrotec2-2007.html
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2019). [Información Estadística Climatológica. Estación Conkal 31057]. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- De Oliveira, I. J., Antoniol, J. R., Damasceno, K. J., & Moura, M. (2014). BRS Tumucumaque-cultivar de feijão-caupi com valor nutritivo para o Amazonas. *Comunicado Técnico 106*. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/109209/1/Com-Tec-106-2.pdf>
- Díaz, A., & Ortegón, A. S. (2000). Producción comparativa de chícharo de vaca (*Vigna unguiculata*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en riego y en sequía. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 25-30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711104>
- dos Santos, L. F. C., Ferrer, M. M., Ruenes-Morales, M. R., Montañez-Escalante, P. I., Andueza-Noh, R. H., & Jiménez-Osornio, J. (2020). Genetic diversity and structure analysis of *Vigna unguiculata* L. (Walp.) landraces from southeastern Mexico using ISSR markers. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 18(4), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1017/S147926212000026X>
- Ehlers, J. D., & Hall, A. E. (1996). Genotypic classification of cowpea based on responses to heat and photoperiod. *Crop Science*, 36(3), 673-679. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600030026x>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Bailey, B. A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(19), 2733-2757. DOI: [10.1080/00103620500303939](https://doi.org/10.1080/00103620500303939)
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5^a Edición). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- Gonçalves, A., Goufo, P., Barros, A., Dominguez-Perles, R., Trindade, H., Rosa, E. A., Ferreira, L., & Rodrigues, M. (2016). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: Nutritional advantages and constraints. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(9), 2941-2951. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7644>
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). (1983). *Descriptors for cowpea*. IBPGR. <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptors-for-cowpea/>
- Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A., & Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 463-475. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>
- Murillo-Amador, B., Troyo-Dieguez, E., & Pargas-Lara, R. (1997). Rendimiento y calidad de doce genotipos de chícharo de vaca [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] en Baja California Sur, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 20, 149-160. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/1716>
- Nkhoma, N., Shimelis, H., Laing, M. D., Shayanowako, A., & Mathew, I. (2020). Assessing the genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm collections using phenotypic traits and SNP markers. *BMC Genetics*, 21(110). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12863-020-00914-7>
- Ribeiro, L. N., de Sousa, M., da Costa, L., Campos, C. H., & Dovale, J. C. (2019). Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. *Revista Caatinga*, 32(3), 698-708. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n314rc>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). [Estadística de Producción Agrícola Nacional]. Agricultura. <https://www.gob.mx/siap/>
- Torres, S. B., de Oliveira, F. N., de Oliveira, R. C., & Fernandes, J. B. (2008). Produtividade e morfologia de acessos de caupí, em Mossoró, RN. *Horticultura Brasileira*, 26(4), 537-539. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000400023>