








Productividad y calidad del grano de higuierilla cultivada en el Centro-Norte de México

Productivity and quality of the grain of castor bean cultivated in the Central-North Mexico

Rigoberto Rosales-Serna¹ ,
Sergio Arellano-Arciniega^{2*} ,
Cynthia Adriana Nava-Berumen³ ,
Rafael Jiménez-Ocampo¹ ,
Saúl Santana-Espinoza¹ ,
Mercedes Borja-Bravo² ,
Ixchel Abby Ortiz-Sánchez³ ,
Ernesto Martínez-Reyes² 

¹INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquitil km 4.5. CP. 34170. Durango, Durango, México.

²INIFAP - Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5. CP. 20660. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

³Tecnológico Nacional de México - Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera Durango - México km 22.5. CP. 34371. Villa Montemorelos, Durango, México.

* Autor de correspondencia:
arellano.sergio@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 10 de diciembre 2021

Aceptado: 23 de junio 2023

Como citar: Rosales-Serna R, Arellano-Arciniega S, Nava-Berumen CA, Jiménez-Ocampo R, Santana-Espinoza S, Borja-Bravo M, Ortiz-Sánchez IA, Martínez-Reyes E (2023) Productividad y calidad del grano de higuierilla cultivada en el Centro-Norte de México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3223. DOI: 10.19136/era.a10n2.3223

RESUMEN. Se requieren materias primas para elaborar biocombustibles y transitar hacia fuentes sostenibles de energía. El objetivo del estudio fue evaluar la morfología, productividad y calidad del grano en higuierilla (*Ricinus communis*) cultivada en el Centro-Norte de México. En primavera-verano de 2020, se sembraron cuatro variedades y un híbrido de higuierilla en Durango, Durango, y Pabellón, Aguascalientes, México. En la siembra se consideró una densidad de 15000 plantas ha⁻¹. Se evaluó número de días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de la espiga (LE), rendimiento (kg ha⁻¹), peso de 100 semillas (P100S), % de brotación (PB), % de germinación (PG) y el contenido de cenizas (CC), proteína (CP) y grasa (CG). El procesamiento estadístico incluyó estadística descriptiva (DF, PB y PG) y un análisis de varianza en un diseño en bloques completamente al azar con seis repeticiones y la comparación de medias se obtuvo con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Se observaron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) para altura de planta entre localidades (195.0 cm-282.7 cm) y entre materiales para AP, LE y P100S. En ambas localidades SAB 14 (2,906 kg ha⁻¹ y 2,408 kg ha⁻¹) y K 855 (2,669 kg ha⁻¹ y 2,400 kg ha⁻¹) mostraron el rendimiento más alto. En CG Guanajuato Oil (57.1%) y SAB 14 (55.4%) superaron estadísticamente al resto de los materiales. Se corroboró la adaptación de SAB 14, la cual mostró rendimiento alto de grano y sus semillas, resultaron de calidad aceptable, con base en el contenido de grasa.

Palabras clave: Adaptación, cultivos energéticos, rendimiento, *Ricinus communis*, sostenibilidad.

ABSTRACT. Raw materials are required to make biofuels and move towards sustainable sources of energy. The objective of the study was to evaluate the morphology, productivity and quality of the castor bean (*Ricinus communis*) grain cultivated in the Center-North of Mexico. In spring-summer 2020, four castor varieties and one hybrid were planted in Durango, Dgo., and Pabellón, Ags., México. In sowing, a density of 15,000 plants ha⁻¹ was considered. Number of days to flowering (DF), plant height (AP), spike length (LE), yield (kg ha⁻¹), weight of 100 seeds (P100S), % sprouting (PB), % germination (PG) and the ash (CC), protein (CP) and fat (CG) content. The statistical processing included descriptive statistics (DF, PB and PG) and an analysis of variance in a completely randomized block design with six repetitions and the comparison of means was obtained with the Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Highly significant differences ($\alpha \leq 0.01$) were observed for plant height between locations (195.0 cm-282.7 cm) and between materials for AP, LE and P100S. In both locations SAB 14 (2,906 kg ha⁻¹ and 2,408 kg ha⁻¹) and K 855 (2,669 kg ha⁻¹ and 2,400 kg ha⁻¹) showed the highest yield. In CG Guanajuato Oil (57.1%) and SAB 14 (55.4%) they statistically outperformed the rest of the materials. The adaptation of SAB 14 was confirmed, which showed high grain yield and its seeds were of acceptable quality, based on fat content.

Key words: Adaptability, energy crops, yield, *Ricinus communis*, sustainability.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se ha realizado investigación a nivel mundial para generar alternativas útiles en la producción de biocombustibles, ante la escasez de opciones sostenibles y la variación constante en el precio del petróleo (Sandoval *et al.* 2022, Rodríguez y Zamarripa 2013). Asimismo, ha influido la necesidad de fuentes de energía renovable y menos contaminante que los combustibles fósiles; así como, el deseo de aumentar el ingreso económico de los productores agropecuarios de zonas marginadas (Llaven *et al.* 2019, Machado y Alfonso 2012). En los últimos años, se han validado diferentes especies vegetales relacionadas con la elaboración de biocombustibles con el fin de contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la sostenibilidad productiva (Reveles *et al.* 2010). Entre estas destaca la higuierilla, la cual utiliza eficientemente los recursos del medio y tiene usos industriales (Jiménez *et al.* 2016).

En diversas investigaciones se ha considerado la higuierilla como un cultivo alternativo con posibilidades amplias para la producción sostenible de biocombustibles (Rico *et al.* 2011). Es una especie herbácea con desarrollo radical profundo y abundante, lo cual le permite adaptarse en condiciones de estrés hídrico; aunque en riego, se incrementan significativamente el rendimiento y los beneficios económicos obtenidos por el productor (Llaven *et al.* 2019). El aceite extraído de esta especie puede usarse en la producción de biodiesel, tiene uso industrial variado y recientemente se demostró su utilidad como biolubricante (Patel *et al.* 2016, Lopez *et al.* 2022). Además, la higuierilla puede ser fuente de pastas proteicas para alimentación animal y elaboración de biocombustibles a partir de los residuos lignocelulósicos producidos (Suárez y Martín, 2009, Reveles *et al.* 2010, Jiménez *et al.* 2015). La higuierilla es una planta originaria de África, que se ha cultivado en México en varios tipos de climas (Sandoval *et al.* 2022). La higuierilla se considera como un cultivo de importancia económica reducida en México, por lo que la superficie sembrada es inferior a 500 hectáreas (FAO 2021). Lo anterior, principalmente por el uso de poblaciones silvestres

para la cosecha de semilla y desconocimiento sobre los más de 500 usos que tiene su aceite en la industria y la utilidad de las pastas residuales en la alimentación animal (Jiménez *et al.* 2015). Esta especie puede establecerse en la mayoría de las entidades de México, lo cual representa una superficie cultivable de 10 millones de hectáreas, de las cuales el 38% son consideradas con potencial productivo alto y se ubican en los estados de Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tamaulipas, Sinaloa, Michoacán y Durango; el resto de la superficie es de potencial medio y bajo (Rico *et al.* 2011). En Durango y Aguascalientes, existen áreas con potencial para producir grano de higuierilla y por su localización, se reducen costos de transporte a los centros de procesamiento ubicados en Jalisco, Querétaro y Nuevo León (Jiménez *et al.* 2015). En el Centro-Norte de México, existe interés por la reconversión productiva mediante la selección de especies vegetales de productividad y rentabilidad económica alta y que, además, sean útiles en la conservación ambiental (Jiménez *et al.* 2016). Con base en lo anterior, se ha trabajado en la validación y transferencia de tecnología en higuierilla, con la finalidad de optimizar el rendimiento y seleccionar los componentes tecnológicos que faciliten su producción comercial. Se determinó que esta especie tiene potencial alto para la producción de biocombustibles líquidos, ya que el grano produce en promedio 40 a 50% de su peso de aceite y un contenido alto de grasa, lo cual hace que sea atractivo para la industria (García *et al.* 2019). Los residuos de valor comercial bajo, por la cantidad de proteína que contiene pueden usarse en la elaboración de pasta proteica detoxificada para la alimentación de bovinos, ovinos y pollos (Jiménez *et al.* 2015). Adicionalmente, representa una fuente de biomasa vegetal para la obtención de biocombustibles sólidos, pulpa para papel y abonos orgánicos. El uso integral de la planta de higuierilla para la elaboración de biocombustibles, abonos y alimentación de ganado incrementará el interés de los productores hacia la reconversión productiva (Jiménez *et al.* 2013a, 2013b).

Agronómicamente, el cultivo de higuierilla tiene algunas desventajas como la latencia y pérdida de viabilidad de la semilla, que debe solucionarse para

evitar fallas de emergencia, resiembra forzada e incremento en los costos de producción. Por ello, se han generado híbridos y variedades que muestran nula o reducida latencia, uniformidad en la germinación y emergencia, así como valores altos de rendimiento y calidad de grano. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad y calidad del grano de las variedades de higuierilla LAF 12, SAB 14, Guanajuato Oil, MexOil y el Híbrido K 855[®] cultivadas en condiciones de riego en Durango y Aguascalientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se utilizaron dos variedades de higuierilla de Durango denominadas como LAF 12 y SAB 14, con semilla producida en el Campo Experimental Valle del Guadiana, en Durango, Dgo. Otras dos variedades provienen de otros programas de mejoramiento genético de higuierilla en México (Celaya, Gto.), como son: Guanajuato Oil y MexOil (Hernández *et al.* 2019). Además, se incluyó el híbrido comercial K 855[®] distribuido en México por la empresa de semillas Berentsen[®].

Descripción del sitio de siembra

El estudio se desarrolló durante el ciclo primavera-verano y durante otoño de 2020, en los estados de Durango y Aguascalientes. En Durango, el experimento se estableció en el Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en el km 4.5 de la carretera Durango-El Mezquital, a los 23° 59' 21" LN, 104° 37' 33" LO a una altitud de 1 877 m. El suelo predominante es franco-arcilloso, con capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 2% y pH de 8.2. La mayoría de los suelos de la región son pobres en contenido de materia orgánica ($\leq 1.5\%$), fósforo y nitrógeno (García, 1987). El clima es templado semiárido con régimen de lluvias en verano, con una alta variación fuerte de temperatura [BS₁ Kw (w) (e)] y la media anual para esa variable es 16.3 °C. La lluvia acumulada durante el año alcanza 500 mm y registra

los valores promedio más altos entre junio y septiembre (Medina *et al.* 2005).

En Aguascalientes, el experimento fue establecido en el Campo Experimental Pabellón localizado en el Km 32.5 de la carretera Aguascalientes-Zacatecas, a los 22° 09' 34" LN, 102° 17' 39" LO a una altitud de 1 912 m. El suelo predominante es franco-arenoso, con capacidad intermedia-baja para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 3% y pH de 7.9. La mayoría de los suelos de la región muestran contenido bajo de materia orgánica ($\leq 1.5\%$), fósforo y nitrógeno (García 1987). El clima es templado semiárido con régimen de lluvias en verano, con una variación alta de temperatura [BS₁ Kw (w) (e)] y una media anual de 16.9 °C. La lluvia promedio, acumulada durante el año, alcanza 477 mm y registra los valores promedio más altos entre junio y septiembre (Medina *et al.* 2005).

Manejo agronómico

En Durango la siembra se realizó el 31 de marzo de 2020, la parcela experimental fue de 12 surcos con 0.81 m de separación de 10 m de largo, se depositó una semilla cada 0.40 m, para luego aclarar y dejar una planta cada 0.80 m, con lo que se estableció una densidad de población de 15000 plantas/ha. Se realizaron dos escardas mecanizadas y dos deshierbes manuales para el control de la maleza. Asimismo, se fertilizó en la primera escarda con la dosis 60-46-00 para nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), respectivamente, adicionalmente, se aplicaron ocho riegos de auxilio para evitar el estrés hídrico en las plantas. En Aguascalientes, se sembró el 13 de abril de 2020, la parcela experimental fue de 12 surcos de 10 m de largo y 0.81 m de separación entre surcos y plantas, para obtener una densidad de 15000 plantas/ha. Se realizaron dos deshierbes manuales, con azadón, para el control de la maleza. La fertilización se aplicó 30 días después de la siembra (DDS) y se utilizó la dosis 60-46-00. Se aplicaron 5 riegos de auxilio, para mantener la humedad aprovechable por arriba del 60% y con ello, evitar estrés hídrico severo en las plantas de higuierilla.

Variables evaluadas

Se evaluaron las siguientes características morfo-agronómicas, como el número de días a floración, cuando más del 50% de las plantas mostraron la espiga principal y se observaron en ésta, las flores masculinas y femeninas con sus estructuras sexuales presentes; se expresó en días después de la siembra (DDS). En la etapa de llenado de grano se evaluaron las variables: altura de planta y longitud de la espiga expresada en cm; mientras que al final del ciclo de cultivo (octubre) se determinó el rendimiento y peso de 100 semillas, en cada muestra tomada se cosecharon todas las espigas de las plantas, y después, se limpió el grano para determinar el rendimiento en kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}) y peso de 100 semillas (g), con una humedad del 14% en grano.

Para medir las variables morfológicas se utilizaron 10 plantas con competencia completa, las cuales fueron tomadas al azar en la población de cada una de las seis repeticiones, para luego calcular el promedio. Se usó una regla métrica de tipo telescópico de 5 m marca kapro, con precisión de un centímetro. La altura se evaluó en el tallo principal y se consideró desde la superficie del suelo hasta el ápice de la espiga. La longitud de la espiga principal se midió desde la unión del raquis con el tallo y hasta el ápice de la misma. Se utilizó una regla métrica marca stanley. Se tomó una muestra por repetición de dos surcos de 5 m de longitud (8.1 m^2 /cada una) (seis muestras en total) para la determinación del rendimiento. Posteriormente se trillaron en un proceso de dos pasos, que incluyó labor manual (separación de las cápsulas del raquis) y mecánica (separación de la semilla de los carpelos). Después, se limpió el grano para estimar el rendimiento en kilogramos por hectárea (kg ha) y peso de 100 semillas (g), las cuales fueron tomadas al azar en la muestra de grano cosechada en cada repetición.

Pruebas de germinación

Se realizaron en charolas de polipropileno rígido, termoformado ($52.5 \text{ cm} \times 26.2 \text{ cm}$), con 50 cavidades de 85.6 mL y forma circular; cada una con una apertura superior de 5.0 cm, fondo de 3.0 cm, 6.0

cm de altura y con perforación para drenaje. Además, se colocó como base para la charola de germinación, otro recipiente termoformado liso y plano ($53.5 \text{ cm} \times 27.5 \text{ cm}$), 6.5 cm de altura y 1.0 mm de espesor. Se utilizó sustrato reutilizable preparado a base de suelo, turba y vermiculita, en la proporción (50:25:25). Las charolas con las semillas de higuierilla se colocaron en una estufa programada con temperatura de $21 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y se regaron en forma regular, para mantener el sustrato con humedad aprovechable por arriba del 80%.

Se determinó el porcentaje de brotación el 10 de mayo de 2021, luego que se redujeron las probabilidades de heladas, las cuales son causadas por temperatura baja. En las determinaciones se consideró el número potencial de plantas con brotación y para ello, se contaron los tocones de tallos cortados con motosierra en cada repetición. Dicho número se contrastó con la cantidad de plantas que mostraron brotes al momento de la evaluación; aunque se observó que la mayoría de las variedades y el híbrido mostraron brotación temprana, en Durango y Aguascalientes, los tallos y hojas tiernas resultaron dañados por heladas tardías, ocurridas en la primera localidad durante el mes de abril de 2021.

Estudios de laboratorio

En laboratorio se determinó el contenido de cenizas, grasa cruda (extracto etéreo) y proteína cruda (AOAC 1990), en todos los casos con base seca. La cantidad de cenizas se cuantificó mediante la incineración de una submuestra a $550 \text{ }^\circ\text{C}$, grasa cruda por el sistema de extracción continua en el aparato Soxhlet con éter de petróleo y proteína por el método micro destilador microKjeldahl, multiplicando el valor de nitrógeno total por el factor de 6.25.

Análisis estadístico

al azar, la unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de longitud (8.1 m^2 /cada una) (seis muestras en total). La comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados para días a floración, brotación y prueba de germinación se analizaron mediante estadística descriptiva, principalmente con el uso del promedio. Para el análisis

de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre localidades (L) y cultivares (C) de higuierilla para altura de planta y longitud de la espiga. También se observó significancia en la interacción (L x C) para la longitud de la espiga (Tabla 1). El cultivar MexOil mostró el valor más alto para altura de planta con 378.0 cm (Durango) y 268.0 cm (Aguascalientes); aunque resultó estadísticamente igual al registrado por SAB 14 (Durango = 357.2 cm y Aguascalientes = 281.5 cm) y ambos superaron estadísticamente al resto de los materiales evaluados (Tabla 2). El híbrido K 855[®] mostró espigas más largas, tanto en Durango (72.0 cm), como en Aguascalientes (66.5 cm). En Durango, el cultivar SAB 14 (62.2 cm) presentó valores similares para longitud de la espiga, con respecto al testigo comercial. El cultivar Guanajuato Oil mostró la espiga significativamente más corta en Durango (33.3 cm) y en Aguascalientes (28.5 cm), donde resultó estadísticamente igual a LAF 12 (27.5 cm).

En promedio, Aguascalientes (74 DDS) fue más precoz que Durango (77 DDS). En ambas localidades en estudio, el cultivar Guanajuato Oil resultó la más precoz para iniciar la floración (48 a 51 días después de la siembra; DDS), seguida del híbrido K 855[®] (53 a 55 DDS). En contraste el cultivar LAF 12 fue la más tardía, con 107 a 114 días a floración (Tabla 2).

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre localidades únicamente para el peso de 100 semillas y altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre cultivares para rendimiento y peso de 100 semillas (Tabla 1). La interacción (L x C) resultó altamente significativa ($p \leq 0.01$) para el rendimiento. El cultivar SAB 14 mostró el valor más alto para rendimiento en Durango (2 906 kg ha⁻¹) y Aguascalientes (2 408 kg ha⁻¹) (Tabla 2). En Durango, el rendimiento de SAB 14 resultó estadísticamente igual al mostrado por el híbrido comercial K 855[®] (2,669 kg ha⁻¹) y ambos materiales superaron de forma significativa al resto

del germoplasma de higuierilla evaluado (1 312 a 1 771 kg ha⁻¹).

El valor promedio para el peso de 100 semillas resultó más alto en el cultivar MexOil tanto en Aguascalientes (83.7 g por 100 semillas) como en Durango (82.5 g por 100 semillas); mientras que, el valor más bajo se registró en el cultivar LAF 12 (9.7 a 10.1 g por 100 semillas) en ambos sitios.

En Durango, la brotación fue baja en todas las cultivares (Tabla 2) y el híbrido de higuierilla, con un valor promedio de 7% y una fluctuación entre 0.0 (GtoOil) y 27.0% (LAF 12). En Aguascalientes, se registró un nivel de brotación más alto (74.2%) y el cultivar LAF 12 mostró el 100% de las plantas con rebrotes; seguida por otro cultivar (MexOil), con 91%.

Se observaron diferencias estadísticas para la germinación y emergencia de las plántulas a partir de la semilla cosechada en 2020. Sobresalieron los cultivares Gto Oil y SAB 14 (Figura 1), los cuales mostraron rapidez para el inicio de la emergencia de plántulas desde 9 días después de la siembra (DDS) y alcanzaron valores altos a partir de los 13 DDS. El híbrido K 855[®] inició la emergencia 9 DDS, aunque el avance fue lento hasta 11 DDS, momento en el cual inició la fase exponencial que alcanzó el valor máximo 20 DDS. El cultivar local LAF 12 resultó tardía en la emergencia e inició esta fase 13 DDS y alcanzó un nivel máximo (78.5%) 20 DDS.

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre localidades para el contenido de cenizas y altamente significativas ($p \leq 0.01$) para proteína y grasa, entre cultivares hubo diferencias altamente significativas en el contenido de grasa ($p \leq 0.01$). (Tabla 3). En Durango, se registró el valor más alto para cenizas. En el contenido de grasa cruda se registraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) entre localidades y cultivares. En el caso de la interacción no se encontró significancia estadística, lo que se relacionó con la igualdad de la respuesta de todos los materiales entre las localidades de estudio. El cultivar Gto Oil (57.1%) y SAB 14 (55.4%) presentaron valores superiores de grasa en Aguascalientes (Tabla 4). En Durango, todos los materiales registraron contenido de grasa estadísticamente igual.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para características morfológicas de materiales de higuierilla cultivados bajo condiciones de riego en Durango y Aguascalientes, México.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Altura de planta (cm)	Longitud de espiga (cm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso de 100 semillas (g)
Localidad (L)	1	96464.6**	1044.2**	40168.9 ^{N.S.}	135.0**
Cultivar (C)	4	74747.8**	3322.1**	2483019.4**	8382.6**
L*C	4	1515.6 ^{N.S.}	264.9**	872851.3**	21.5 ^{N.S.}
Error	40	1548.2	62.4	196842.1	10.8
Coefficiente de variación (%)	16.7	16.7	21.1	7.56	

**Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$).

Tabla 2. Valores promedio para características morfológicas y días a floración de materiales de higuierilla cultivados bajo condiciones de riego en Durango y Aguascalientes, México. 2020.

Cultivar	Altura de planta (cm)	Longitud de espiga (cm)	Días a floración	Brotación	Rendimiento kg ha ⁻¹	Peso de 100 semillas (g)
Durango						
LAF 12	252.3 ^b	52.5 ^{bc}	114	27	1,771 ^b	10.1 ^e
Guanajuato Oil	213.2 ^b	33.3 ^d	48	0	1,728 ^b	38.3 ^c
K 855	213.0 ^b	72.0 ^a	55	0	2,669 ^a	33.1 ^d
MexOil	378.0 ^a	37.8 ^{cd}	90	5	1,312 ^b	82.5 ^a
SAB 14	357.2 ^a	62.2 ^{ab}	79	1	2,906 ^a	46.2 ^b
Promedio	282.7 ^A	51.6 ^A	77	7	2,077 ^A	42.0 ^B
Aguascalientes						
LAF 12	154.8 ^b	27.5 ^d	107	100	1,654 ^a	9.7 ^d
Guanajuato Oil	154.2 ^b	28.5 ^{dc}	51	51	1,990 ^{ab}	42 ^c
K 855	116.3 ^c	66.5 ^a	53	53	2,400 ^b	39 ^c
MexOil	268.0 ^a	33.8 ^c	91	91	2,192 ^{ab}	83.7 ^a
SAB 14	281.5 ^a	59.2 ^b	69	69	2,408 ^b	50.8 ^b
Promedio	195.0 ^B	43.1 ^B	74	74	2,129 ^A	45.0 ^A

Las letras en cada columna representan diferencias significativas entre localidades (A-B) y cultivares (a-d) de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

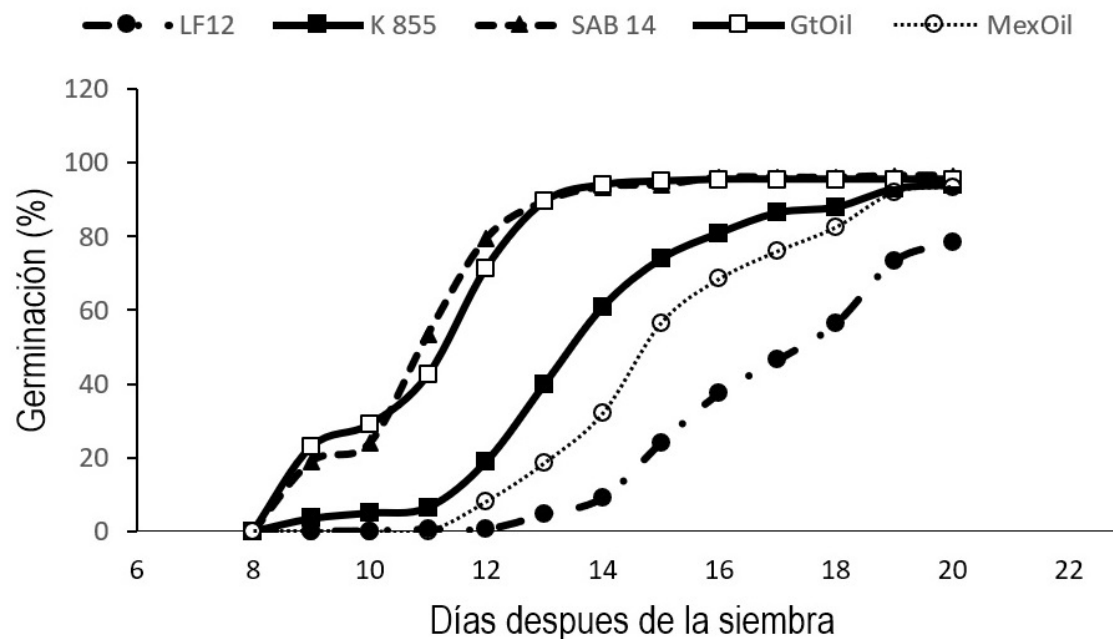


Figura 1. Germinación acumulada en cinco cultivares de higuierilla evaluadas durante un periodo de 20 días.

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables evaluadas en cinco cultivares de higuierilla cultivadas en Durango y Aguascalientes, México.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cenizas	Proteína	Grasa
Repetición	2	0.31	4.1	5.8
Localidad (L)	1	1.17*	276.7**	917.4**
Error a		0.22	1.3	0.9
Cultivar (C)	4	0.27 ^{N.S.}	10.7 ^{N.S.}	34.9**
L*C	3	0.04 ^{N.S.}	8.0 ^{N.S.}	10.8 ^{N.S.}
Error b	34	0.25	5.4	2.6
Coefficiente de variación (%)		16.7	10.2	3.3

¹N.S. = no significativo, *significativo ($p \leq 0.05$), ** altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Tabla 4. Valores promedio para variables evaluadas en cinco materiales de higuierilla cultivados en Durango y Aguascalientes, Méx. 2020.

Cultivares	Cenizas (%)	Proteína (%)	Grasa (%)
Durango			
LAF 12	2.9	20.8	42.3 ^a
MexOil	3.1	19.8	42.6 ^a
K 855	3.3	18.3	43.5 ^a
SAB 14	3.3	19.9	45.2 ^a
Guanajuato Oil	3.4	21.7	45.5 ^a
Promedio	3.2 ^A	20.1 ^B	43.8 ^B
Aguascalientes			
LAF 12	2.6	26.5	52.5 ^b
MexOil	2.8	26.4	53.0 ^b
K 855	2.7	23.3	49.1 ^c
SAB 14	3.1	27.0	55.4 ^{ab}
Guanajuato Oil	3.0	23.6	57.1 ^a
Promedio	2.8 ^B	25.4 ^A	53.4 ^A

Las letras en cada columna representan diferencias significativas entre localidades (A-B) y cultivares (a-c) de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

DISCUSIÓN

Los valores de altura de planta observados resultaron inferiores a los obtenidos por Barrios *et al.* (2018) con otros cultivares de higuierilla, en los cuales se registró un valor máximo de 400.0 cm. Así mismo, Llaven *et al.* (2019), encontraron valores de altura de planta entre 100.0 y 309.0 cm, los cuales fueron superados por los cultivares MexOil y SAB 14, principalmente en Durango. Sin embargo, para Soratto *et al.* (2011), los valores superiores a 200 cm para altura de la planta son indeseables en higuierilla, debido que dificulta la realización de la cosecha mecánica. Los valores que se registraron en los cultivares sobresalientes en este estudio, con base en la longitud de la espiga fueron el híbrido K 855 con 72 cm y SAB 14 con 62.2 cm, mismos que fueron similares a los observados en un grupo de germoplasma de higuierilla, donde se obtuvieron longitudes máximas

entre 70.0 y 73.0 cm (Llaven *et al.* 2019). En otros estudios se registraron valores de longitud de la espiga entre 16.6 cm y 49.9 cm (Solís *et al.* 2016), los cuales fueron superados ampliamente por el híbrido comercial K 855[®] y el cultivar SAB 14.

La duración del periodo de crecimiento en 2020 (160 días), favoreció la altura de planta y la longitud de la espiga en el cultivar SAB 14, el cual previamente obtuvo un valor inferior en 2014, cuando alcanzó 246.0 cm de altura y 51.0 cm de longitud del racimo (Jiménez *et al.* 2015). Dicho cultivar, es resultado del proceso de selección masal, muestra adaptación local y podría utilizarse en siembras comerciales de higuierilla en Durango, Aguascalientes y otros estados con clima similar. Para su adaptación y aumentar el rendimiento en siembras comerciales, es necesario ajustar la densidad de población, para uniformizar la altura de planta, incrementar la longitud de espiga principal y reducir el número de ramas.

Se observaron variaciones considerables para el inicio de la floración, cuando se comparó con otros estudios realizados en México; por ejemplo, Llaven *et al.* (2019), registraron valores entre 60 y 97 DDS. En las condiciones de cultivo del Norte-Centro de México, se considera que los materiales de higuierilla precoces o con respuesta intermedia a floración y llenado de grano tienen mayor oportunidad para producir alto rendimiento, en comparación con las variedades e híbridos tardíos. Lo anterior, debido al estrés de humedad y disminución de la temperatura que se observan en dicha región a partir del mes de octubre, lo que reduce significativamente el crecimiento y desarrollo de la planta de higuierilla.

Se observó que el cultivar Guanajuato Oil, a pesar de ser precoz a floración, mostró espigas cor-

tas, debido a su morfología y movilización lenta de fotoasimilados a los órganos de interés económico (Hernández y Montes 2018). Por su parte, el híbrido comercial y el cultivar SAB 14 presentaron floración intermedia, lo que favoreció el alto rendimiento de grano, debido a que se combinó con removilización de fotoasimilados a las espigas y granos en formación. Los valores de rendimiento de K 855 y SAB 14 (Tabla 4), se situaron en el intervalo, más alto, registrado en otros estudios con higuierilla en Sinaloa (2 234 a 3 249 kg/ha) (Llaven *et al.* 2019). En dicha investigación se tuvo un promedio a madurez de 146 días con intervalo de 138 a 166 días, mientras que en el presente estudio se requirieron 206 días, lo cual fue favorecido por la siembra temprana y retraso del periodo de heladas en 2020.

Se corroboró un buen comportamiento del cultivar SAB 14, en ambos sitios ya que mostró un rendimiento igual al observado en híbridos comerciales los cuales muestran disponibilidad limitada y costo alto de la semilla en el mercado nacional (Jiménez *et al.* 2015). Dicho cultivar, puede ser incluida en programas de validación para avanzar en el ajuste del manejo agronómico que optimice el rendimiento y calidad del grano de higuierilla producido en Durango y Aguascalientes. En el caso de la calidad, deben determinarse las posibilidades de realizar selección para incrementar el contenido de grasa y proteína en el grano de la higuierilla cultivada en la región Centro-Norte de México.

Los valores promedio del tamaño de la semilla fueron similares a los registrados en otros estudios con higuierilla, donde se obtuvieron valores máximos entre 78.7 y 91.6 g por 100 semillas (Barrios *et al.* 2018). Los datos para la longitud de la espiga, en combinación con el tamaño medio-grande de la semilla, pueden ser una opción para obtener un rendimiento alto en la región Centro-Norte de México (Goytia *et al.* 2011). El cultivar SAB 14 mostró tamaño intermedio del grano (46.2 a 50.8 g por 100 semillas), lo cual resultó aceptable, aunque es necesario establecer los niveles y estabilidad del contenido de grasa y proteína.

Los materiales de higuierilla evaluados mostraron diferente grado de rebrote, con base en

el sitio de siembra y las condiciones de temperatura mínima registradas en cada localidad durante los meses de marzo y abril. Aunque, De Oliveira *et al.* (2017) recomendaron realizar la siembra de higuierilla cada año, para mantener una alta densidad de población y con ello, incrementar el rendimiento de grano.

El cultivar local LAF 12 se derivó de una población silvestre y sin selección, colectada en el poblado de La Ferrería, Durango, por ello, muestra un nivel mayor de latencia de la semilla en comparación con el resto del germoplasma evaluado, esta tendencia resultó similar a lo reportado por Acevedo *et al.* (2018). Se observó que el cultivar mejorada SAB 14, mostró niveles altos de germinación y emergencia, lo que en combinación con el rendimiento alto favorecerá su adopción por parte de los productores agropecuarios del Centro-Norte de México.

La mayoría de los cultivares y el híbrido de higuierilla mostraron niveles aceptables de germinación y emergencia, derivado del nivel de selección y mejoramiento genético; así como de los programas de validación realizados en diferentes entidades de México. Lo anterior, favorece su utilidad en el establecimiento de siembras comerciales de higuierilla en el Norte-Centro de México, dado que, en ocasiones se presenta escases de semilla certificada.

El contenido de proteína en el grano fue mayor en Aguascalientes. Al respecto, se sabe que la acumulación de proteína es resultado de procesos complejos, en el que interaccionan también, el contenido de almidón y aceite en la semilla (Tsehay *et al.* 2021). La duración del periodo reproductivo influyó también sobre la acumulación de minerales en la semilla, por ello las variedades más precoces a floración, como SAB 14 y Guanajuato Oil, registraron contenido alto de cenizas; por el contrario, LAF 12 (tardía) presentó el nivel más bajo. La variedad SAB 14 mostró atributos suficientes, valores altos de rendimiento y contenido de grasa, para que se considere su liberación y cultivo en siembras comerciales de higuierilla en México, de acuerdo a la diversidad de ambientes donde se podría cultivar, rusticidad, de baja inversión y perspectivas de comercialización. La higuierilla puede considerarse como un cultivo con

alto potencial para México, por sus diversas aplicaciones industriales y una creciente demanda internacional para su uso como biocombustible (Navas 2008, Papazoglou *et al.* 2020).

CONCLUSIONES

El cultivar SAB 14 muestra valores altos en crecimiento vegetativo, productividad de grano y semillas de tamaño mediano de calidad aceptable, con base en el contenido de aceite y porcentaje de germinación, para Aguascalientes y Durango.

Valores que son similares al híbrido comercial K 855[®], que tiene plantas de menor altura, pero menor contenido de grasa. La variedad GtoOil tuvo alto contenido de grasa, característica que es importante para su uso en la industria, pero un rendimiento inferior a SAB 14. La siembra temprana, incrementa la probabilidad de daño por helada tardía, duración del ciclo de desarrollo y gasto de agua de riego. El cultivar SAB 14 representa una opción para productores de recursos bajos del Valle de Aguascalientes y Valle del Guadiana en Durango, debido a su adaptación y alto contenido en grasa.

LITERATURA CITADA

- Acevedo LBY, Ramírez PJG, Aguirre MCL, J. Covarrubias PJ, Raya PJC (2018) Rompimiento de la latencia en semilla de higuierilla (*Ricinus communis* L.). *Interciencia* 43: 858-863.
- AOAC (1990) Official methods of analysis. 5th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA. 1285p.
- Barrios GEJ, Canul-Ku J, Hernández AMG, Solís BJL (2018) Evaluación de dos ciclos de higuierilla en Morelos, México: siembra y rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1663-173.
- De Oliveira AB, de B Neto JB, Cardoso GD, do Vale LS (2017) Growth and yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) CV. 'BRS Energia' under different spacings. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20: 289-285.
- FAO (2021) FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura <https://www.fao.org/faostat/es/#data/>. Fecha de consulta: 28 de octubre de 2020.
- García ME (1987) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. Universidad Autónoma de México. México. 217p.
- García HEJ, Cedillo MI. Gómez GA. Hernández RI. Amante OA. Y Rossel-Kipping ED (2019) Recolecta, establecimiento y caracterización de semilla de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el altiplano centro-norte de México. *Agroproductividad* 12: 89-97.
- Goytia JMA, Gallegos GCH, Nuñez CCA (2011) Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 41-48.
- Hernández MM, Montes HS (2018) GUANAJUATOIL variedad de higuierilla para la extracción de acedite industrial para Guanajuato. Folleto Técnico Núm. 4 INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Bajío. México. 32p.
- Hernández MM, Solís BJ, Barrios GEJ, Montes HS (2019) Mexoil nuevo cultivar de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de aceite. Título de obtentor 2049. https://www.researchgate.net/publication/339987941_MEXOIL_Nuevo_cultivar_de_Higuierilla_Ricinus_communis_L_para_la_produccion_de_aceite_Titulo_de_Obtentor_2049. Fecha de consulta: 28 de octubre de 2020.

- Jiménez OR, Rodríguez GJA, Ruíz FLA, Mateos DJC, y Rosales SR (2013a) Detoxificación de pastas de higuierilla y *Jatropha*. Folleto Técnico Núm. 71. SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. 32p.
- Jiménez OR, Rosales SR, Rodríguez GJA (2013b) Pasta proteica detoxificada de higuierilla en la alimentación animal. Folleto Técnico Núm. 64. INIFAP-CIRNOC- Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. 20p.
- Jiménez OR, Rosales SR, Galindo VCF, Jiménez RR, Domínguez MPA (2015) Rendimiento de variedades e híbridos de higuierilla cultivados en diferentes ambientes de Durango, México. AGROFAZ 15: 135-146.
- Jiménez OR, Rosales SR, Domínguez MPA (2016) Estrategias para el uso integral de la higuierilla en México. Libro Técnico Núm. 6. SAGARPA, INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 181p.
- Llaven VG, Borbon GA, Ochoa EXM, Antuna GO, Hernández HA, Coyac RJL (2019) Productividad de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el norte de Sinaloa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10: 1011-1022.
- López OJF, Zambrano BLA, Zambrano GFE (2022) El cultivo de la higuierilla (*Ricinus communis* L.) y su situación actual en el ecuador. Paideia XXI 12: 373-390.
- Machado RSJ, Alfonso M (2012) Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de *Ricinus communis* L. para la producción de aceite. Pastos y Forrajes 35: 381-392.
- Medina GG, Díaz PG, López HJ, Ruiz CJA, Marín S M (2005) Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224p.
- Navas G (2008) Fertilización. En: Higuierilla: Alternativa productiva, energética y agroindustrial para Colombia. Navas A (ed) Centro de Investigación La Selva-CORPOICA. Rionegro Antioquia, Colombia. 38p.
- Patel R, Dumancas G, Viswanath K, Maples R, Subong B (2016) Castor oil: properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. Lipid Insights 9: 1-12. DOI: 10.4137/LPI.S40233.
- Papazoglou E, Alexopoulou EG, Papadopoulos GK, Economou-Antonaka G (2020) Tolerance to drought and water stress resistance mechanism of castor bean. Agronomy 10: 1580. DOI: 10.3390/agronomy10101580.
- Revels SFO, Rosales SR, Nava BCA, Delgado LE, Cuéllar REI, Carrete CFO, Ríos SJC (2010) Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1: 45-54.
- Rico PHR, Tapia VLM, Teniente OR, González AA, Hernández MM, Solís B JL, Zamarripa CA (2011) Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Valle de Apatzingán. Michoacán, México. 42p.
- Rodríguez HR, Zamarripa CA (2013) Competitividad de la higuierilla (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el edo. de Oaxaca, México. Sexta Época 17: 306- 318.
- Sandoval SF, Méndez CC, Ortega AG, Barrales FC, Hernández OLR, Sanchez N (2022) A biorefinery approach to biodiesel production from castor plants. Processes 10(6): 1208. DOI: 10.3390/pr10061208.
- Solís B JL, Muñoz OA, Escalante EJAS, Zamarripa CA (2016) Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7: 311-323.

- Soratto RP, Souza-Schlick GD, San Giacomo BM, Zanotto MD, Fernandes A (2011) Low-height castor bean row spacing and plant population for mechanical harvest. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 46: 245-253.
- Suárez HJ, Martín MGJ (2009) Fuentes renovables de energía como alternativa para el medio rural. *Agrodesarrollo 09*. Indio Huatey, Cuba. <http://agrodesarrollo09.ihatuey.edu.cu/>. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021.
- Tsehay SR, Geleta OM, Bekele E, Tesfaye K, Johansson E (2021) Nutritional profile of the Ethiopian oilseed crop noug (*Guizotia abyssinica* Cass.): Opportunities for its improvement as a source for human nutrition. *Foods* 10: 1778. DOI: 10.3390/foods10081778.