



Agronomía Mesoamericana

ISSN: 1021-7444

pccmca@cariari.ucr.ac.cr

Universidad de Costa Rica

Costa Rica

Rivera-Brenes, Paola Andrea; Hernández-López, Jesús
Evaluación del rendimiento y calidad del aceite de siete variedades de *Ricinus communis*
Agronomía Mesoamericana, vol. 27, núm. 1, 2016, pp. 183-189
Universidad de Costa Rica
Alajuela, Costa Rica

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43743010018>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

COMUNICACIÓN CORTA

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ACEITE DE SIETE VARIEDADES DE *Ricinus communis*¹

Paola Andrea Rivera-Brenes², Jesús Hernández-López³

RESUMEN

Evaluación del rendimiento y calidad del aceite de siete variedades de *Ricinus communis*. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el rendimiento y calidad del aceite en siete variedades de *Ricinus communis*. Se evaluaron las características morfológicas (altura de la planta, ramas productivas, longitud de racimos), rendimiento de la semilla y la calidad del aceite. La evaluación se llevó a cabo en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno de la Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica, durante los meses de setiembre de 2013 a abril de 2014. Se estableció un diseño de bloques completos al azar, con una densidad de 5000 plantas/ha. Las variedades evaluadas fueron ColBio HR 171, 09, ColBio HR 205, ColBio HR 268, ColBio HR 157, 401 y NIC. Los parámetros evaluados mostraron diferencia significativa ($\alpha < 0.05$). Las siete variedades mostraron todas las plantas de porte medio. El promedio de ramas productivas fue de cuatro para todas las variedades. La mayor longitud de racimo la obtuvieron las variedades ColBio HR 268, ColBio HR 205 y ColBio HR 171. El grosor del tallo mostró una media entre los 3 y 4 cm para los siete tratamientos. En cuanto a rendimiento de la semilla, la variedad NIC presentó el menor (860 kg/ha), mientras que ColBio HR 171, 09, ColBio HR 205 y ColBio HR 268 presentaron el mayor rendimiento con un promedio de 2377 kg/ha. El contenido de aceite fue mayor para los tratamientos 401 (88%) y ColBio HR 171 (87%). La variedad 09 presentó el mayor contenido de ácido ricinoleico con 80%, seguido por ColBio HR 268 con 69% colocándose ambas también entre las variedades con mejor rendimiento de semilla, pero con los menores contenidos de aceite.

Palabras clave: cultivos energéticos, biomasa, ácidos grasos, bioenergía.

ABSTRACT

Evaluation for yield and quality of oil from seven *Ricinus communis* varieties. The objective of this work was to evaluate the yield and quality of oil from seven *Ricinus communis* varieties. The morphological properties (height of plant, productive branches, length of clusters), yield of seed, and oil quality. The evaluation was conducted at the Fabio Baudrit Moreno Experimental Station of the University of Costa Rica, Alajuela, Costa Rica, from September 2013 to April 2014. A randomized complete block design with a density of 5000 plants/ha was used for the evaluation. The varieties evaluated were ColBio RH 171,09, ColBio HR 205, ColBio HR 268, ColBioHR 157, 401, and NIC. The parameters evaluated showed significant difference ($\alpha < 0.05$). The seven varieties constituted all medium-sized plants. The average was four productive branches for all varieties. ColBio HR 268, ColBio HR 205, and ColBio HR 171 obtained the longer cluster. Stem diameter showed an average between 3 and 4 cm for the seven treatments. In relation to seed yield, variety NIC had the lowest value (860 kg/ha), while ColBio HR 171, 09, ColBio HR 205, and 268 had the highest yield with an average of 2377kg/ha. Oil content was higher for treatments 401 (88%) and ColBio HR 171 (87%). The array 09 showed the highest content of ricinoleic acid (80%), followed by ColBio HR 268 (69%) placing both also among the varieties with higher seed yield, but with lower oil content.

Keywords: energy crops, biomass, fatty acids, bioenergy.

¹ Recibido: 17 de marzo, 2015. Aceptado: 16 de junio, 2015. Parte del trabajo final de graduación para optar por el grado de bachillerato de Ingeniería Agrónoma, Universidad Estatal a Distancia (UNED). San José, Costa Rica.

² Universidad Estatal a Distancia (UNED). Carretera a Sabánilla, 25 m al este del AM PM, edificio Escuela de Ciencias Exactas y Naturales Mercedes de Montes de Oca, San José 474-2050, Costa Rica. Teléfono +506 2202-1800. paoo31@hotmail.com

³ Ministerio Agricultura y Ganadería (MAG). Apartado postal 10194-1000 San José, Costa Rica. Teléfono +506 2231-2344. jesus_hernandez_lopez@yahoo.com



INTRODUCCIÓN

Actualmente en Costa Rica el cultivo de higuierilla a nivel comercial no se ha desarrollado, por lo que no es posible presentar datos numéricos en cuanto producción nacional, estatus del cultivo o cadena productiva. El desarrollo del cultivo en el país es muy reciente y ha sido a nivel experimental, en las fases agrícola e industrial.

La tendencia global con relación al aumento en el uso de energía es cada vez mayor, lo cual ha generado un aumento en la presión sobre las fuentes no renovables de energía que suplen la mayor parte de la demanda energética actual. A medida que aumenta la preocupación por la seguridad energética, se plantea la bioenergía como una fuente de energía renovable que podría implementarse a niveles donde pudiese contribuir notablemente en la satisfacción de la demanda energética mundial (Karthi, 2006).

La bioenergía es aquella energía generada por la biomasa o material de origen biológico que se encuentra sobre la superficie y que presenta gran cantidad de formas, desde residuos agrícolas, restos de industria maderera, hasta los cultivos energéticos (Elías, 2012).

Los cultivos energéticos están integrados por una serie de especies vegetales cuya cosecha está específicamente dedicada a la producción de energía. Recientemente, han surgido como una alternativa y como propuesta en la disminución del uso de combustibles fósiles, que suponen una dependencia externa y un alto costo económico para muchos países.

La higuierilla (*R. communis*) representa una planta con potencial como cultivo energético, pertenece a la familia de las Euphorbiaceae. Es una planta oleaginosa caracterizada por su rápido crecimiento y adaptación a diferentes zonas climáticas (Ríos, 2008). La semilla de esta planta constituye el principal interés para la obtención de aceite con fines energéticos, considerada también como petróleo verde por la capacidad de ser utilizada como materia prima en la obtención de productos que utilizan el petróleo no combustible como principal materia (Bermúdez, 2014).

La presencia del grupo hidroxilo en el aceite de la semilla le confiere características como una alta viscosidad, miscibilidad en alcohol y ácido acético sin necesidad de calor y un bajo punto de solidificación; posee un alto contenido de ácido ricinoleico que hace

que tenga potencial para la industria oleoquímica (Sánchez y Huertas, 2012). Así mismo, es posible utilizar el aceite refinado para la producción de biodiesel, realizando una transesterificación, usándose de forma pura o mezclándose con cualquier proporción de diesel para su uso en motores (Correa, 2014).

De acuerdo con Sánchez y Huertas (2012), el rendimiento del aceite de higuierilla se encuentra en un promedio de 1188 kg/ha, por encima del caucho con 80-120 kg/ha, la colza con 1100 kg/ha y el girasol con 890 kg/ha; pero por debajo de la *Jatropha* y la palma con 1590 kg/ha y 5500 kg/ha, respectivamente.

Una futura implementación del cultivo e industrialización de la higuierilla en nuestro país, reduciría el impacto negativo que genera el uso de energías fósiles al medio ambiente y, como se mencionó anteriormente, disminuiría la dependencia de los combustibles no renovables que generan un gran impacto en la economía del país; además, se diversificaría la matriz energética y reduciría la dependencia externa. También supondría una oportunidad agrícola y agroindustrial para las comunidades rurales de Costa Rica.

El objetivo del trabajo consistió en evaluar el rendimiento y calidad del aceite de siete variedades de *Ricinus communis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó durante los meses de setiembre de 2013 hasta abril de 2014. El área de estudio se ubicó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno de la Universidad de Costa Rica, ubicada en La Garita de Alajuela (10° 00' 11,55" N 84° 16' 15,02" O). Esta se encuentra a una altura de 840 msnm, con un promedio de precipitación anual de 1940mm distribuidos en los meses de mayo a noviembre, una temperatura media de 22 °C y un 88% de humedad relativa.

Se utilizaron siete variedades de higuierilla con procedencias de Colombia (ColBio HR 171, ColBio HR 205, ColBio HR 268, ColBio HR 157, 09, 401) y Nicaragua (NIC). Estas fueron: ColBio HR 171, ColBio HR 205, ColBio HR 268, ColBio HR 157, 09, 401 y Nicaragua (NIC). Las características morfológicas evaluadas fueron la altura final (cm); número de ramas productivas, grosor de tallo y longitud de los racimos

(cm), por otro lado, se determinó el rendimiento de la semilla (kg/ha), contenido porcentual de aceite de la semilla, y porcentaje de ácidos grasos.

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La distancia de siembra fue de 1x2 m con un total de quince plantas por tratamiento, evaluándose cuatro plantas al azar con competencia completa.

La parcela experimental se preparó con maquinaria agrícola mediante arada, dos pases de rastra y una alamillada a 1 m. En el momento de la siembra se aplicó 50 g de fertilizante de fórmula completa (10-30-10) en el punto de siembra. El manejo agronómico de la parcela consistió, básicamente, en chapeas de malezas durante las primeras fases del cultivo y aplicación de riego por gravedad a partir del mes de enero hasta abril en intervalos de diez días, esto debido a que dichos meses corresponden a la época seca.

La altura de la planta se tomó a los 153 días posteriores a la siembra, durante su ciclo reproductivo. Se midió la longitud desde la base del tallo hasta la punta apical de la planta, empleando una cinta métrica, la longitud del primer racimo se midió desde el fruto distal hasta la base del pedúnculo utilizando cinta métrica. Se realizó un conteo del número de ramas productivas con inflorescencia y formación de frutos a los 132 días. Se midió el grosor del tallo principal en la base de la planta, utilizando un vernier a los 125 días. La cosecha fue realizada de forma manual, los frutos fueron secados al sol, posteriormente, trillados para liberar la semilla y la cascarilla del raquis, la semilla se separó de la cascarilla utilizando una máquina limpiadora con abanicos. En total se efectuaron cuatro cosechas, a los 153, 160, 200 y 250 días. El peso de la semilla se midió por medio de una balanza electrónica, convirtiendo este dato a rendimiento por planta y hectárea.

Con respecto al contenido de aceite de las semillas, se enviaron muestras de 500 g de cada variedad para la extracción de aceite en el Laboratorio de Química de la Universidad de Costa Rica. Para ello se utilizó el método de extracción por solventes descrito por Pérez y Dumar (2011), el cual consiste en retirar el aceite contenido en la semilla empleando hexano como solvente.

El porcentaje de lípidos se determinó mediante extracción exhaustiva (8 h de reflujo) en un sistema Soxhlet con una mezcla de éter etílico: éter de petróleo

40 °C - 60 °C (1:1) como disolvente. La composición de ácidos grasos se llevó a cabo por cromatografía de gases, empleando detector de ionización de llama y una columna HP88 de cianopropil metil aril polisiloxano de 0,20 m de diámetro, método descrito por (Metcalf y Wang, 1981). Los parámetros usados fueron: temperatura inicial del horno 150 °C y final del horno 250 °C, tiempo inicial de calentamiento del horno 0 min y final de calentamiento del horno 0 min, rampa de temperatura del horno 2 °C/min, temperatura del inyector 220 °C, temperatura del detector 260 °C, con un tiempo de análisis de 50 min.

Los datos cuantitativos recolectados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) a un nivel de confianza del 95%, así como a una prueba de comparaciones múltiples o de medias, utilizando la prueba diferencias mínimas significativas (DMS) a nivel del 0,05% para todos los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La altura final de la planta fluctuó para las siete variedades (Figura 1), el análisis de varianza determinó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Las variedades que presentaron mayor altura fueron ColBio HR 205 (289 cm), ColBio HR 268 (285 cm), ColBio HR 171 (268,7 cm), ColBio HR 157 (282 cm) y NIC (274 cm), las cuales no presentaron diferencias mínimas significativas entre sí. Las variables que presentaron los valores más bajos correspondieron a la variedad 401 (253 cm) y la 09

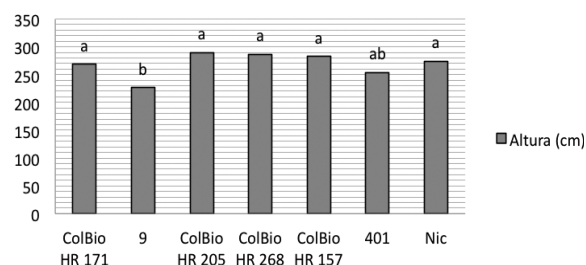


Figura 1. Altura final de variedades de *R. communis*. ($p < 0,05$). Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

Figure 1. Final height of varieties of *R. communis*. Fabio Baudrit Moreno Experimental Station, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

(226 cm) siendo ambos estadísticamente similares. La altura varió entre 226 cm y 289 cm, lo que indicó todas las plantas fueron de porte medio (Rico et al., 2011). Para Weiss (1983), la altura de la planta es relevante, debido a que la cosecha manual o mecánica se dificulta en la medida en que los racimos de órdenes superiores estén expuestos a alturas ascendentes.

El número de ramas productivas no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos, manteniendo una media de cuatro ramas productivas por planta para todas las variedades, dentro de las cuales NIC tuvo el mayor número con cinco ramas, mientras que ColBio HR 268 obtuvo la menor cantidad con únicamente una media de dos ramas productivas.

El análisis de la longitud del racimo arrojó diferencias estadísticamente significativas entre los primeros racimos de los tratamientos, la mayor longitud de racimo fue presentada por ColBio HR 268 (90 cm), ColBio HR 205 (86,5 cm) y ColBio HR 171 (76,4 cm), las cuales no mostraron diferencias entre sí (Figura 2). Sin embargo, las dos primeras variedades mencionadas tendieron a ser superiores a las demás. Por otro lado, la variedad con menor longitud correspondió a NIC, con solo 10,9 cm, presentando diferencias con todos los demás tratamientos.

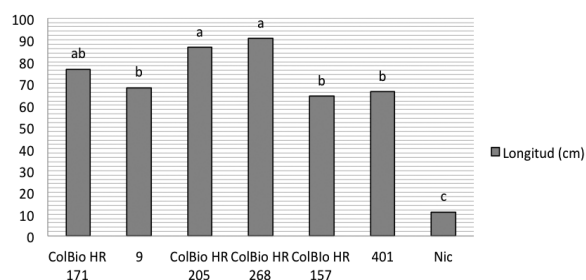


Figure 2. Longitud del primer racimo para las siete variedades de *R. communis* ($p < 0.05$). Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

Figure 2. Length of the first cluster for the seven varieties of *R. communis*. Fabio Baudrit Moreno Experimental Station, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

Con respecto al grosor del tallo, no se encontraron diferencias estadísticas entre los siete tratamientos. Los valores para los siete tratamientos variaron entre los 3 y 4 cm, con un promedio general de 3,9 cm;

valores muy inferiores a los alcanzados por Machado et al. (2012), quienes reportaron un grosor de 6, 7 y 10 cm para procedencias de higuera a los 120 días.

Se hallaron diferencias estadísticas entre el promedio de las cuatro cosechas obtenidas (Figura 3). Los cultivares ColBio HR 171, 09, ColBio HR 205 y ColBio 268, no presentaron diferencias mínimas entre ellos. Hubo diferencias significativas entre ColBio HR 205 y 401. La variedad con el menor rendimiento correspondió a la NIC con 860 kg, alcanzando diferencias altamente significativas con la mayoría de tratamientos (exceptuando a ColBio HR 157). Este valor fue menos de la mitad de lo que obtuvieron las variedades de mayor producción, presentando mayor cantidad de ramas productivas pero un bajo número de frutos por racimo en comparación a las demás variedades. Los rendimientos obtenidos para los tres tratamientos de mayor valor, fueron muy superiores a los reportados por Dueñas y Uscocovich (2012). En un estudio realizado con variedades del INIFAP, donde obtuvieron valores máximos de 2020 kg/ha; pero fueron similares a los obtenidos por Cabrales y Marrugo (2010), quienes informaron valores entre los 2343 kg/ha y 3558 kg/ha. No obstante, la evaluación realizada por Dueñas y Uscocovich (2012) fue establecida con una distancia de siembra mayor a la del presente estudio. Por ende el rendimiento estimado por hectárea podría ser menor a lo proyectado en función de la densidad de siembra establecida para esta investigación.

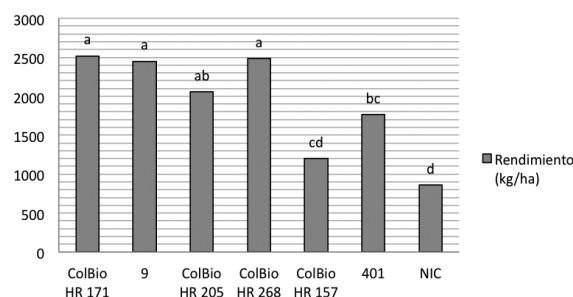


Figura 3. Rendimiento estimado en kg/ha para las siete variedades de *R. communis* durante un ciclo de cosecha ($p < 0.05$). Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

Figure 3. Estimated yield in kg/ha for the seven varieties of *R. communis* during a harvest cycle. Fabio Baudrit Moreno Experimental Station, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

El número de racimos es uno de los factores que afectan de forma directa el rendimiento del grano, ya que al tener un número mayor de ramas se presenta la posibilidad de tener un incremento en el número de inflorescencias (Severino, 2010). Sin embargo, esta teoría no necesariamente aplica para todas las variedades de higuera, ya que la variedad NIC, a pesar de no poseer diferencias estadísticas con las demás variedades, obtuvo un mayor número de ramas productivas, pero el rendimiento hallado fue muy inferior a los otros cultivares, dada la cantidad de frutos presentada.

Para la variedad ColBio HR 157 la alta dehiscencia de los frutos afectó la recolección total de la semilla y por ende su rendimiento.

Los resultados del análisis químico mostraron un porcentaje de humedad de la semilla entre el 1 y el 3,4%. El cultivar NIC logró el mayor porcentaje (3,4%), seguido de ColBio HR 205 (2%), mientras que las demás variedades presentaron un 1% de humedad.

En cuanto al porcentaje de lípidos las variedades presentaron un promedio de 77%. Las de mayor porcentaje se encontraron en ColBio HR 171 y la 401; por otro lado, las variedades 09 y ColBio HR 268 obtuvieron un porcentaje menor a las demás con 63 y 66%, respectivamente. Estos resultados superan los reportados en la literatura (Córdoba, 2012; Loaiza, 2003); también fueron superiores a los obtenidos por Hernández et al. (1977), López (1998)

y Karaj y Muller (2010) en girasol, maní y *Jatropha*. De acuerdo con Lutz (comunicación personal, 2014), valores tan elevados en el contenido de aceite ocurren generalmente cuando las semillas se han dejado al ambiente y se secan.

El contenido de ácido palmítico estuvo entre el 2% y el 12,5%, este último valor fue alcanzado por ColBio HR 157; estos resultados fueron superiores a los reportados por Chierice y Neto (2001), Loaiza (2003), Canoira et al. (2010) y Singh y Singh (2010), entre el 0,7% y 1,6%. Valores similares se hallaron para el ácido esteárico, con un 12% para la misma variedad, superada solo por ColBio HR 268 con 23% (Cuadro 1).

Los valores de ácido oléico mostraron un rango de 6,2% (09) hasta un 38% (ColBio HR 205) pero no fue detectado para la variedad 401. Los ácidos linoléico, linolénico y oleico no fueron detectados en la variedad ColBio HR 268.

De acuerdo con Benjumea et al. (2009), el aceite de higuera es alto en ácido ricinoleico, la presencia del grupo funcional hidroxilo, en adición al grupo carboxilo y el enlace doble, hace que el ácido ricinoleico tenga potencial para la industria oleoquímica. Los resultados de este parámetro, muestran que la variedad 09 presentó la mayor cantidad de este ácido graso con un 80%, seguida por la 401 y ColBio HR 268 con 71 y 69%, respectivamente; por tanto, representan las variedades con mayor potencial en calidad de aceite. Así mismo, las muestras donde se detectó el menor

Cuadro 1. Perfil lipídico del aceite para las siete variedades de *R. communis*. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

Table 1. Lipid profile of oil for seven varieties of *R. communis*. Fabio Baudrit Moreno Experimental Station, Alajuela. Costa Rica. 2013-2014.

Tratamientos	Parámetros evaluados							
	% Humedad	% Lípidos	% Ácido palmítico	% Ácido esteárico	% Ácido oleico	% Ácido linoléico	% Ácido linolénico	% Ácido Ricinoleico
ColBio HR 171	1	87	9	8,5	24	3,8	3,6	18
9	1	63	2	1,6	6,2	5,2	2,7	80
ColBio HR 205	2	80	Nd	nd	38	18,8	5	38
ColBio HR 268	1	66	6	23	nd	nd	nd	69
ColBio HR 157	1,3	80	12,5	12	25	25	nd	12,5
401	1,5	88	Nd	nd	nd	3,3	25	71
NIC	3,4	81	3,3	3,4	13,8	17	3,4	55

nd: no detectado / non detected.

Cuadro 2. Variables evaluadas para siete variedades de *R. communis*. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2013-2014.

Table 2. Variables evaluated for seven varieties of *R. communis*. Fabio Baudrit Moreno Experimental Station, Alajuela, Costa Rica. 2013-2014.

Tratamientos	Variables						
	Altura (cm)	Ramas productivas	Longitud de Racimo (cm)	Grosor de tallo (cm)	Rendimiento de semilla (kg/ha)	% de aceite	% de ácido Ricinoleico
ColBio HR 171	268,7	4,3	76,4	4	2519	87	18
9	226,5	3,6	67,9	3,8	2449	63	80
ColBio HR 205	289,6	3,6	86,5	3,9	2056	80	38
ColBio HR 268	285,9	2,9	90,6	4	2485	66	69
ColBio HR 157	282,8	4	64,1	4	1202	80	12,5
401	253,4	4,2	66,1	3,8	1764	88	71
NIC	274,3	5,3	10,9	4	860	81	55

valor correspondieron a las variedades ColBio HR 157 y ColBio HR 171 con 12,5 y 18%, respectivamente.

El porcentaje de ácido ricinoleico de las muestras con mayor proporción difirió con lo expuesto por Córdoba (2012), quien encontró porcentajes de este ácido por encima del 85%; pero similar al dato proporcionado por Loaiza (2003) fue Meneses (2011) con 70%.

Dentro de los tratamientos y variables evaluadas (Cuadro 2), dos de las variedades con mayor rendimiento, 09 y ColBio HR 268, presentaron el menor porcentaje de aceite con 63 y 66%, respectivamente; sin embargo, superaron los valores señalados por Sánchez y Huertas (2012) para esta variable. Así mismo, ColBio HR 268 presentó la mayor longitud de racimo, pero el menor número de ramas productivas, a pesar de que de esta última variable no se obtuvieron diferencias significativas.

Dos de las variedades con mayor porcentaje de ácido ricinoleico (09 y ColBio HR 268) se colocaron entre los cultivares con mejor desempeño en cuanto a rendimiento, pero con la menor proporción de aceite en comparación a las demás variedades evaluadas.

LITERATURA CITADA

Benjumea, P., J.R. Agudelo, y L.A. Ríos. 2009. Biodiesel: producción, calidad y caracterización. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, COL.

Bermúdez, L. 2014. Biodiesel: máquina natural de desarrollo en Nicoya, Guanacaste. Intersedes Vol. XV, N 032. <http://www.intersedes.ucr.ac.cr/ojs/index.php/intersedes/article/viewFile/441/421> (consultado 10 mayo 2014).

Cabral, R., y J.L. Marrugo. 2010. Rendimiento en semilla y análisis de calidad del aceite de higuera. Informe final. Universidad de Córdoba. http://web.www3.unicordoba.edu.co/sites/default/files/Informe%20Final_%20FCA%2011-08%20Roberto%20Cabral%20Rodr%C3%ADguez.pdf (consultado 15 mayo 2014).

Canoira, L., G. García., J. Alcántara., R. Lapuerta, and M. García. 2010. Fatty acid methyl esters (FAMES) from castor oil: Production process assessment and synergistic effects in its properties. Renewable Energy 35:208-217.

Chierice, G.O., e S.C. Neto. 2001. Aplicação industrial do óleo. En: M. Pedrosa de Azevedo, e E. Ferreira Lima, editores, O agronegócio da mamona no Brasil. Embrapa Algodão, Campina Grande, BRA. p. 89-118.

Córdoba, O. 2012. Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuera (*Ricinus communis* L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos. Tesis Ph.D. en Ciencias Agropecuarias- Área Agraria. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, COL.

Correa, M. 2014. Análisis comparativo de características físicas y fitoquímicas del aceite de ricino generado en semillas de ecotipos autóctonos de higuera

- (*Ricinus communis*) en Tungurahua y Manabí. Trabajo graduación Ing. Bioquímica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, ECU.
- Dueñas, V.M., y J.G. Uscocovich. 2012. Evaluación de 10 cultivares promisorios de higuerilla (*Ricinus communis*). Tesis Ing. Agr., Universidad Técnica de Manabí, ECU.
- Elías, X. 2012. Tratamiento y valorización energética de residuos. Fundación Universitaria Iberoamericana, Madrid, ESP.
- Hernández, M.A., A. Chávez, y H. Bourges. 1977. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos. Tablas de uso práctico. Instituto Nacional de la Nutrición, MEX.
- Karaj, S., and J. Müller. 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. Ind. Crops Prod. 32(2):129-138.
- Kartha, S. 2006. Bioenergía y agricultura: promesas y retos. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI). Enfoque 14. Resumen 4 de 12. IFPRI, USA.
- Loaiza, F. 2003. Cinética de la reacción de transesterificación del aceite de higuerilla en la obtención de biodiesel. Trabajo de grado Ing. Química, Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/987/1/francialoaiza.2003.pdf> (consultado 5 mayo 2014).
- López, R.G. 1998. Botánica: Anatomía, morfofisiología y diversidad. Universidad Autónoma Chapingo, Dirección General de Difusión Cultural, México D.F., MEX.
- Machado, R., J. Suárez, y M. Alfonso. 2012. Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de *Ricinus communis* L. para la producción de aceite. Pastos y Forrajes 35:381-392.
- Meneses, D. 2011. Caracterización y selección de microorganismos asociados a residuos lignocelulósicos (fruto y torta) de la higuerilla (*Ricinus communis*). Proyecto de grado esp. Microbiol. Indust., Universidad Católica de Manzanera, COL.
- Metcalfe, L., and C. Wang. 1981. Rapid preparation of fatty acid methyl esters using organic base-catalyzed transesterification. J. Chromatogr. Sci. 19:530-535.
- Pérez, A., y J. Dumar. 2011. Análisis del ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuerilla y etanol. Trabajo de grado Ing. Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/142298.pdf> (consultado 5 mayo 2014).
- Rico, H., L.M. Tapia, R. Teniente, A. González., M. Hernández, J.L. Solís, y A. Zamarripa. 2011. Guía para cultivar higuerilla (*Ricinus communis*) en Michoacán. Folleto técnico Núm. 1. INIFAP, Valle de Apatzingán, MEX.
- Ríos, G. 2008. Higuerilla. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Comunidades/verpregunta.asp?idpreg=125> (consultado 15 oct. 2013).
- Sánchez, I., y K. Huertas. 2012. Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de semillas de *Ricinus communis* (higuerilla) modificadas genéticamente y cultivadas en el eje cafetero. Trabajo de grado Químico Indust., Universidad Tecnológica de Pereira, COL. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3048/1/6626S211.pdf> (consultado 15 mayo 2014).
- Severino, L.S. 2010. Sequential defoliations influencing the development and yield components of castor plants (*Ricinus communis* L.). Indust. Crops Products 32:400-404.
- Sinhg, S.P., and D. Sinhg. 2010. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. Renew. Sustainable Energy Rev. 14:200-216.
- Weiss, E.A. 1983. Oilseed crops. Longman, London, GBR.