



Composición de los ácidos grasos de genotipos de *Jatropha curcas* L., en Colombia¹

Fatty acids composition of genotypes of *Jatropha curcas* L., in Colombia

Luis Fernando Campuzano-Duque², Fernando Cardeño-López³

¹ Recepción: 10 de junio, 2019. Aceptación: 10 de septiembre, 2019. Este trabajo formó parte del Proyecto Plataforma *Jatropha* Colombia, financiado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería-Colombia; Ecopetrol, Cerrejón y Colciencias. Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio, Meta, Colombia. lcampuzano@agrosavia.co (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-1146-4591>).

³ Universidad de Antioquia, Sede de Investigación Universitaria (SIU). Medellín, Antioquia, Colombia. fcardeno@udea.co

Resumen

Introducción. *Jatropha curcas* L. (JC) es una especie con potencial para usar su aceite como biocombustible y su calidad se reconoce por la composición de los ácidos grasos presentes. **Objetivo.** El objetivo de este trabajo fue la identificación y cuantificación de ácidos grasos de genotipos de JC de la Colección *Jatropha* Colombia. **Materiales y métodos.** Durante los años 2012-2014 se realizó el experimento en Espinal-Tolima, Colombia, en un diseño de bloques completo al azar con quince genotipos. Se determinó el perfil lipídico de los genotipos por cromatografía GC-MS y GC-FID. **Resultados.** Se detectaron diez tipos de ácidos grasos en el aceite: cinco saturados (mirístico, palmítico, margárico, esteárico, araquídico); tres monoinsaturados (palmitoleico, oleico y eicosenoico) y dos poliinsaturados (linoleico y linoléico). La proporción fue mayor en ácidos monoinsaturados (45,44 %) y poliinsaturados (34,18 %) y menor en saturados (20,37 %). En los monoinsaturados predominó el oleico (44,62 %); en los poliinsaturados el linoleico (33,95 %) y en los saturados el palmítico (12,41 %) y esteárico (7,43 %). Los resultados encontrados permitieron clasificar el aceite de JC como monoinsaturado-poliinsaturado (oleico-linoleico), lo cual coincidió con lo reportado a nivel mundial. **Conclusión.** Basado en el perfil lipídico se puede inferir que el aceite de los quince genotipos evaluados en Colombia es apto para uso como biodiésel con base en su constitución lipídica.

Palabras clave: ácido esteárico, ácido linoleico, ácido oleico, biocombustibles.

Abstract

Introduction. *Jatropha curcas* L. (JC) is a specie with the potential to use its oil as a biofuel and its quality is recognized by the composition of the fatty acids present. **Objective.** The objective of this work was the identification and quantification of fatty acids of JC genotypes of the *Jatropha* Colombia Collection. **Materials and methods.** During the years 2012-2014 the experiment was conducted in Espinal-Tolima, Colombia, in a randomized complete block design with fifteen genotypes. The lipid profile of the genotypes was determined by chromatography GC-MS and GC-FID. **Results.** Ten types of fatty acids were detected in the oil: five saturated (myristic, palmitic, margaric, stearic, arachidic); three monounsaturated (palmitoleic, oleic and eicosenoic), and two polyunsaturated (linoleic and linolenic). The proportion was higher in monounsaturated acids (45.44 %) and polyunsaturated acids (34.18 %) and



lower in saturated acids (20.37 %). In the monounsaturated, the oleic predominated (44.62 %); in polyunsaturated linoleic (33.95 %) and in saturated palmitic (12.41 %) and stearic (7.43%). The results found allowed the classification of JC oil as monounsaturated-polyunsaturated (oleic-linoleic), which coincided with what was reported worldwide.

Conclusion. Based on the lipid profile, it can be inferred that the oil of the fifteen genotypes evaluated in Colombia is suitable for use as biodiesel.

Keywords: stearic acid, linoleic acid, oleic acid, biofuels.

Introducción

El agotamiento gradual de los combustibles de origen fósil indica que, para cubrir la demanda energética a nivel mundial, será necesario el uso de energías alternativas renovables con la expectativa de una reducción sustancial de la contaminación ambiental (Becker y Makkar, 2008).

A nivel mundial, el aceite de *Jatropha curcas* L. (JC), ha tomado importancia como energía alternativa, especialmente como biodiesel. Diferentes estudios han reportado la presencia de catorce ácidos grasos en el aceite (Kandpal y Madan, 1995; Akintayo, 2004; Achten et al., 2008) y todos coinciden en la composición dominante de los ácidos grasos oleico, linoleico, palmítico y esteárico (Falasca y Ulberich, 2008; Akbar et al., 2009; Bora y Baruah, 2012; Martiñón et al., 2018).

Esta especie, presente en Mesoamérica y en otros lugares de dispersión en Sur América, Asia y África (Fairless, 2007; Achten et al., 2010), por su condición actual aun silvestre, la variación en el perfil lipídico de los ácidos grasos saturados e insaturados es amplia (Martínez-Díaz et al., 2017). De hecho, la variabilidad genética de las poblaciones silvestres depende además del factor genético, del lugar de origen, la altitud, el agua y la nutrición. Desde lo genético, con base en el origen, la zona denominada Mesoamérica y en especial México, considerada como el probable centro de origen de esta especie (Pecina-Quintero, 2014), presenta los mayores estudios de la variación del perfil lipídico de JC, con reportes para ácido oleico entre 8,4 % y 40,85 %, y linoleico entre 10,2% y 42,3 % (Ovando-Medina et al., 2011; Pecina-Quintero et al., 2014; Martiñón et al., 2018). En otros lugares, diferentes al centro de origen, se reportan valores extremos de 51,4 % para el ácido oleico en un genotipo procedente de Nigeria (Odeyote et al., 2010) y de 53,3 % para el ácido linoleico de un genotipo en Argentina (Montes et al., 2011) o en la India de 16,8 % a 48,0 % para ácido oleico y de 26,2 % a 51,1 % para el ácido linoleico (Wani et al., 2012). Desde lo ambiental, la sequía, por ejemplo, reduce los ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico) y aumenta los monoinsaturados (palmitoleico, oleico y eicosenóico) (Abou y Atta, 2009; Andrade et al., 2017).

Los ácidos grasos presentes en un triglicérido son saturados (Cn: 0), monoinsaturados (Cn: 1) y poliinsaturados con dos o tres dobles enlaces (Cn: 2,3). Las composiciones de estas fracciones en un biodiésel determinan propiedades como el número cetano (NC), el punto de enturbiamiento, la estabilidad a la oxidación (Jain y Sharma, 2011) y emisiones de NOx (Gopinath et al., 2009), así como el desempeño en condiciones de bajas temperaturas en términos de punto de nube y de fluidez (Becker y Makkar, 2008; Jain y Sharma, 2011).

En el caso del biodiésel, por tratarse de ésteres metílicos de ácidos grasos, estos son susceptibles a las reacciones de oxidación; es decir, a la acción del oxígeno sobre las insaturaciones de los ácidos grasos. Por tanto, esta autooxidación será favorecida a medida que aumente la concentración de ácidos grasos insaturados (esteárico, oleico, linoleico y linolénico); los cuales (C18:0, C18:1n-9, C18:2n-6 y C18:3n-3) necesitan menos tiempo para absorber la misma cantidad de oxígeno y por consiguiente, se oxidan más rápido (Becker y Makkar, 2008; Gopinath et al., 2009; Jain y Sharma, 2011).

Cada especie de planta vegetal tiene uno o dos ácidos grasos específicos dominantes, por ejemplo: la palma africana (*Elaeis guineensis*) está asociada con el ácido palmítico; higuera (*Ricinus communis*) con el ricinoleico; coco (*Cocos nucifera*) con el láurico; oliva (*Olea europaea*), cacahuete (*Arachis hypogaea*) y sésamo (*Sesamum indicum*) con el oleico; colza (*Brassica napus*) con el behénico y euríico; el cacao (*Theobroma cacao*) con el esteárico y palmitoleico, y el algodón (*Gossypium hirsutum*), cártamo (*Carthamus tinctorius*) y lino (*Linum usitatissimum*) con el linoleico. No obstante, la composición de estos en cada especie puede variar según el genotipo, condiciones de clima y el manejo agronómico como la nutrición y el riego (Benatti et al., 2004). Para el caso de Colombia, aún no se ha caracterizado la composición de los ácidos grasos de los genotipos de JC locales e introducidos. El objetivo del presente trabajo fue la identificación y cuantificación de los ácidos grasos de quince genotipos de *Jatropha curcas* L. de la Colección *Jatropha* Colombia.

Materiales y métodos

Localización

La identificación y cuantificación de los ácidos grasos de quince genotipos de *Jatropha curcas* L. de la Colección *Jatropha* Colombia, se realizó en el Centro de Investigación Nataima, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Espinal, departamento de Tolima, que se encuentra a una altura de 323 msnm, con una temperatura promedio de 29 °C, precipitación anual de 1380 mm y humedad relativa promedio de 74 %, se localiza a 04° 09' latitud norte y 74° 53' longitud oeste (Campuzano et al., 2016).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con quince tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos se constituyeron por quince genotipos de JC, identificados del 1 al 15 con la sigla de CJC (Colección *Jatropha* Colombia), con 410 accesiones y establecida en el año 2010 en el Centro de Investigación La Libertad de Agrosavia en Villavicencio (Meta-Colombia) (Campuzano, 2008). La procedencia de los materiales fue: V1 al V9 son materiales locales de Colombia de procedencia de la Guajira y de la Orinoquia; V10 de Ecuador; V11 de la India; V12 de México; V13 variedad Cabo Verde; V14 de Tailandia y V15 de Venezuela (Biollanos). La unidad experimental estuvo constituida por veinte plantas de cada genotipo establecidas con una distancia de siembra de 3x2 m.

Cosecha y preparación de muestras

La cosecha se realizó en el año 2014, a los 36 meses de establecido el cultivo, en las veinte plantas de cada unidad experimental, en las cuales solo se tomaron los frutos con coloración amarilla-café, de acuerdo con el índice de color del epicarpio (Campuzano y Cardeño, 2017). De forma manual se realizó la separación de los componentes del fruto en: cáscara, semilla y almendra. De la almendra, por el método Soxhlet (Jensen, 2007), se obtuvo el aceite, del cual se tomó una muestra de 200 cc para la determinación del perfil de ácidos grasos.

Determinación del perfil de ácidos grasos

El perfil lipídico se determinó por cromatografía GC-MS y CG-FID en los quince genotipos de JC, para diez tipos de ácidos grasos clasificados en tres grupos: 1) ácidos grasos saturados: mirístico, palmítico, margárico, esteárico, araquídico; 2) ácidos grasos monoinsaturados: palmitoleico, oleico y eicosenóico, y 3) ácidos grasos poliinsaturados: linoleico y linolénico.

Ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados

Se calcularon mediante la sumatoria de los valores en porcentaje obtenidos en cada genotipo de los ácidos grasos definidos como: ácidos grasos saturados: mirístico + palmítico + margárico + esteárico + araquídico; ácidos grasos monoinsaturados: palmitoleico + oleico + eicosenóico, y ácidos grasos poliinsaturados: linoleico + linolénico. Se organizaron en tres grupos con base en la longitud de la cadena de carbonos: i) ácidos grasos saturados: mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), margárico (C17:0), esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0); ii) ácidos grasos monoinsaturados: palmitoleico (C16:1n-7), oleico (C18:1n-9) y eicosenóico (C20:1n-9), y iii) ácidos grasos poliinsaturados: linoleico (C18:2n-6) y linolénico (C18:3n-3).

Análisis estadístico

Para todas las variables asociadas a los ácidos grasos se realizaron los siguientes procedimientos estadísticos: 1) la prueba de Shapiro Wilk para la homogeneidad de varianza, 2) transformación de datos originales (porcentaje) mediante el uso de la fórmula de arcoseno, 3) análisis individual de varianza y 4) la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p=0,01$).

Resultados

El análisis de varianza para los ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y saturados, y sus componentes constitutivos (mirístico, palmítico, margárico, esteárico, araquídico, palmitoleico, oleico, eicosenóico, linoleico y linolénico) no mostró diferencias estadísticas para el factor genotipo (Cuadro 1).

La participación promedio de cada uno de los aceites constitutivos en los quince genotipos de JC fue mayor en los monoinsaturados y poliinsaturados con valores de 45,44 % y 34,18 %, respectivamente; y menor en los saturados con 20,37 %. El ácido graso predominante en los monoinsaturados fue el ácido oleico (44,62 %), en los poliinsaturados el ácido linoleico (33,95 %) y en los ácidos saturados predominaron el ácido palmítico (12,41 %) y el esteárico (7,43 %) (Cuadro 1).

Para el caso de los ácidos grasos saturados el ácido palmítico presentó un intervalo de valores entre 11,77 % en el genotipo CJC2 y 13,70 % en el genotipo CJC8, el ácido graso esteárico entre 6,88 % en el genotipo CJC4 y 8,20 % en el genotipo CJC9. Los valores de los otros ácidos grasos (mirístico, margárico y araquídico) no presentaron valores superiores al 0,5 % (Cuadro 2). El ácido oleico fue el de mayor participación en los monoinsaturados, y presentó una variación entre 41,59 % en el genotipo CJC10 y 48,30 % en el genotipo CJC2. Los otros dos ácidos grasos (palmitoleico y eicosenóico), no presentaron valores superiores al 0,8 %. En los poliinsaturados, el ácido linoleico fue el más representativo con un intervalo de 30,61 % en el genotipo CJC3 y de 36,95 % en el genotipo CJC10. El ácido graso linolénico no fue importante en su participación (Cuadro 3).

Cuadro 1. Fórmula simplificada, nombre sistemático y común, promedio, cuadrado medio para genotipos y coeficiente de variación (CV, %) de diez de ácidos grasos presentes en quince genotipos de *Jatropha curcas* L. de la Colección *Jatropha* Colombia. Tolima, Colombia. 2014.

Table 1. Simplified formula, systematic and common name, average, mean square for genotypes, and coefficient of variation (CV, %) of ten fatty acids present in fifteen genotypes of *Jatropha curcas* L. of the *Jatropha* Colombia Collection. Tolima, Colombia. 2014.

Fórmula simplificada Cn:a	Nombre sistemático	Nombre común	Promedio (%)	Cuadrado medio (genotipos)	CV (%)
C14:0	Tetradecanóico	Mirístico	0,10	0,108 ns	9,16
C16:0	Hexadecanóico	Palmítico	12,41	1,24 ns	7,80
C17:0	Heptadecanóico	Margárico	0,13	0,00185 ns	4,57
C18:0	Octadecanóico	Esteárico	7,43	0,49 ns	9,68
C20:0	Eicosanóico	Araquídico	0,28	0,00224 ns	9,09
Total, saturados (S)			20,37	2,29 ns	7,40
C16:1 n-7	9-hexadecenóico	Palmitoleico	0,69	0,00767 ns	9,16
C18:1n-9	Cis-9-octadenóico	Oleico	44,62	16,97 ns	9,26
C20:1n-9	Cis-11-eicosenóico	Eicosenóico	0,12	0,00183 ns	7,06
Total, monoinsaturado (MI)			45,44	16,74 ns	9,03
C18:2n-6	Cis-9,12-octadecadienóico	Linoleico	33,95	12,31 ns	6,70
C18:3n-3	9,12,15-octadecatrienóico	Alfa-linolénico (ALA)	0,23	0,0026 ns	4,90
Total, poliinsaturado (PI)			34,18	12,31 ns	6,64

Cn: número de carbonos en la molécula de ácido graso; a: número de insaturaciones; CM: cuadrado medio (genotipos), calculado con base en fuente de variación y los grados de libertad para los factores: repetición (2), genotipos (14) y error (28); ns: diferencias estadísticas no significativas / Cn: number of carbons in the fatty acid molecule; a: number of unsaturations; CM: mean square (genotypes), calculated based on sources of variation and degrees of freedom for the factors: repetition (2), genotypes (14) and error (28); ns: statistical differences not significant.

Discusión

El reconocimiento y cuantificación de los ácidos grasos de un grupo de genotipos de JC en Colombia permite reconocer tres situaciones: a) los genotipos de JC evaluados coinciden con el perfil lipídico de genotipos reportados a nivel mundial (Falasca y Ulberich, 2008; Akbar et al., 2009; Bora y Baruah, 2012; Martiñón et al., 2018), en el aceite calificado como oleico-linoleico, con predominancia de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados; b) los valores obtenidos del ácido graso oleico de los quince genotipos de la CJC (41,59 % a 48,30 %) fueron superior al mayor valor reportado por Pecina-Quintero et al. (2014) (38,2 %) y Ovando-Medina et al. (2011) (38,75); c) los quince genotipos de JC evaluados cumplen con los requisitos del perfil lipídico apropiado para la producción de biocombustible, especialmente por su constitución en los ácidos oleico y linoleico que confieren propiedades al biodiésel para un buen desempeño a la oxidación y fluidez en frío (Becker y Makkar, 2008; Gopinath et al., 2009; Jain y Sharma, 2011).

No obstante que los valores obtenidos de los ácidos grasos saturados (mirístico, palmítico, margárico, esteárico y araquídico), ácidos grasos monoinsaturados (palmitoleico, oleico y eicosenóico) y poliinsaturados (linoleico y oleico), no fueron diferentes entre genotipos, la variación de los valores, medidos a través del coeficiente de variación, sí fueron menor al valor de referencia de cuarenta reportes a nivel mundial (2000 a 2018), especialmente para los ácidos oleico y linoleico (Cuadro 4, Figura 1).

Cuadro 2. Contenido promedio y total de ácidos grasos saturados en porcentaje de quince genotipos de *Jatropha curcas* L., de la Colección *Jatropha* Colombia. Tolima, Colombia. 2014.

Table 2. Average and total content of saturated fatty acids in percentage of fifteen genotypes of *Jatropha curcas* L., from the *Jatropha* Colombia Collection. Tolima, Colombia. 2014.

Genotipo	Mirístico	Palmítico	Margárico	Esteárico	Araquídico	Saturados
CJC1	0,096	11,87	0,110	7,00	0,216	19,29
CJC2	0,080	11,77	0,113	7,37	0,300	19,63
CJC3	0,083	12,99	0,126	7,39	0,266	20,85
CJC4	0,103	11,96	0,130	6,88	0,250	19,33
CJC5	0,086	11,96	0,160	6,85	0,263	19,32
CJC6	0,070	12,88	0,156	7,27	0,236	20,62
CJC7	0,276	11,60	0,126	6,97	0,286	19,26
CJC8	0,083	13,70	0,130	7,65	0,310	21,88
CJC9	0,083	12,34	0,120	8,20	0,256	21,03
CJC10	0,110	12,23	0,120	7,70	0,296	20,46
CJC11	0,123	12,15	0,123	8,08	0,283	20,77
CJC12	0,123	12,27	0,140	7,56	0,303	20,40
CJC13	0,083	12,15	0,206	7,45	0,280	20,17
CJC14	0,080	12,75	0,143	7,38	0,296	20,66
CJC15	0,136	13,64	0,113	7,72	0,300	21,90
DMS	0,299	2,93	0,186	2,17	0,185	4,74

DMS: diferencia mínima significativa ($\alpha=0,01$) / DMS: minimum significant difference ($\alpha=0,01$).

Cuadro 3. Contenido promedio y total en porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados (MI) y poliinsaturados (PI), de quince genotipos de *Jatropha curcas* L., de la Colección *Jatropha* Colombia. 2014.

Table 3. Average and total percentage content of monounsaturated (MI) and polyunsaturated fatty acids (PI), of fifteen genotypes of *Jatropha curcas* L., from the *Jatropha* Colombia collection. 2014.

Genotipo	Palmitoleico	Oleico	Eicosenóico	MI	Linoleico	Linolénico	PI
CJC1	0,660	44,66	0,090	45,40	35,02	0,200	35,22
CJC2	0,643	48,30	0,170	49,12	30,98	0,260	31,25
CJC3	0,766	47,42	0,133	48,32	30,61	0,216	30,83
CJC4	0,690	46,13	0,140	46,96	33,50	0,203	33,71
CJC5	0,653	48,34	0,110	49,10	31,38	0,193	31,58
CJC6	0,696	42,73	0,106	43,54	35,62	0,233	35,85
CJC7	0,660	43,89	0,126	44,67	35,79	0,266	36,06
CJC8	0,876	40,22	0,083	41,18	36,71	0,226	36,94
CJC9	0,703	45,61	0,090	46,40	32,39	0,196	32,59
CJC10	0,653	41,59	0,130	42,38	36,95	0,210	37,16
CJC11	0,626	42,54	0,130	43,30	35,73	0,193	35,92
CJC12	0,633	45,19	0,153	45,98	33,33	0,283	33,62
CJC13	0,696	44,63	0,136	45,46	34,10	0,263	34,36
CJC14	0,726	45,20	0,130	46,06	33,06	0,220	33,28
CJC15	0,803	42,85	0,146	43,80	34,05	0,243	34,29
DMS	0,309	12,51	0,127	12,43	10,99	0,185	11,01

DMS: diferencia mínima significativa ($\alpha=0,01$) / DMS: minimum significant difference ($\alpha=0,01$).

Cuadro 4. Promedio, rango y coeficiente de variación (C.V), en porcentaje, de los cuatro ácidos grasos predominantes de quince genotipos de *Jatropha curcas* en Colombia y de cuarenta investigaciones a nivel mundial. Tolima, Colombia. 2014.

Table 4. Average, range and coefficient of variation (C.V), as a percentage, of the four predominant fatty acids of fifteen *Jatropha curcas* genotypes in Colombia and forty research worldwide. Tolima, Colombia. 2014.

Ácido graso	Genotipos Colombia (n=45)			Genotipos nivel Mundial (n=40)		
	Promedio	Rango	C.V	Promedio	Rango	C.V
Palmítico	12,4	11,6-13,6	8,3	14,9	7,3-20,2	14,8
Estearico	7,4	6,9-8,2	10,0	7,7	5,8-11,0	15,3
Oleico	44,6	41,6-48,3	9,2	42,3	30,9-51,4	19,1
Linoleico	33,9	30,6-36,9	9,8	33,8	20,4-49,5	18,2
S	20,4	19,3-21,9	10,0	21,1	18,6-28,3	19,0
MI	45,4	41,2-49,1	9,1	43,8	31,6-52,0	10,2
PI	34,2	30,8-37,2	10,1	35,1	27,5-49,7	13,1

n: número de datos; S: saturados; MI: monoinsaturados; PI: poliinsaturados / n: number of data; S: saturated; MI: monounsaturated; PI: polyunsaturated.

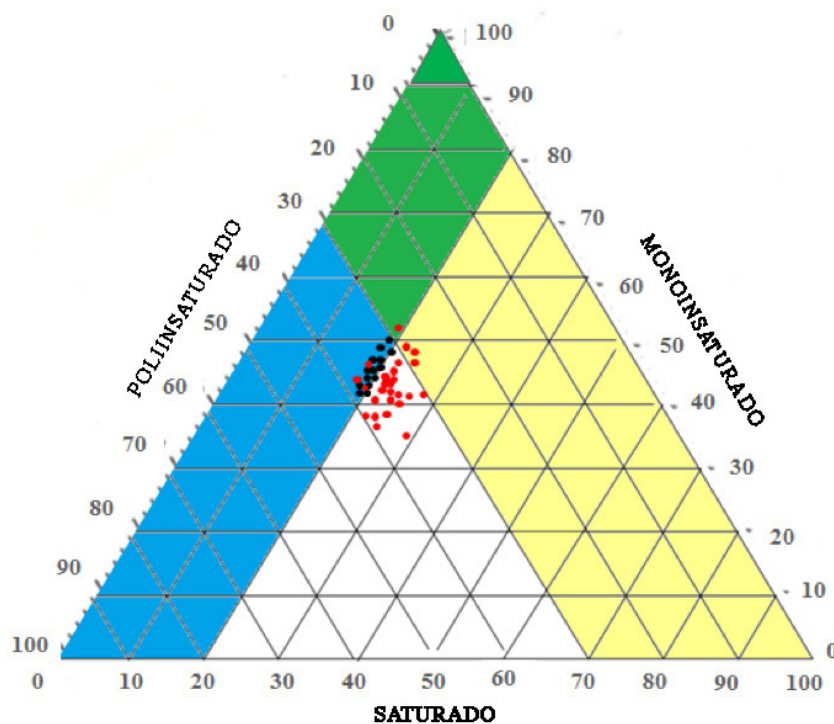


Figura 1. Ubicación de los grupos de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de quince genotipos de *Jatropha curcas* de Colombia (puntos color negro) y de los genotipos a nivel mundial (puntos de color rojo). 2014.

Figure 1. Location of saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acid groups of fifteen *Jatropha curcas* genotypes from Colombia (black dots) and genotypes worldwide (red dots). 2014.

La composición predominante de los ácidos oleico y linoleico le confiere propiedades especiales al aceite con relación directa con la calidad, el costo y la eficiencia en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiésel. El mayor contenido de ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) hace que el proceso de obtención de biodiésel sea más eficiente por el requerimiento de temperaturas más bajas para el proceso y una mayor oxidación en el corto plazo, y menores emisiones de carbono y mejoramiento del rendimiento del motor (Pedraza-Sánchez y Cayón-Salinas, 2010).

Los altos contenidos de ácido oleico y linoleico encontrados en los genotipos colombianos estarían asociados con un alto índice de cetano y buena estabilidad oxidativa del biodiésel, dos características indicadoras de la calidad de un biocombustible (Knothe, 2005; Nascimento et al., 2015). Los reportes a nivel mundial coinciden y destacan el aceite de JC como una importante fuente de materia prima para la producción de biodiésel por sus características fisicoquímicas (Becker y Makkar, 2008; Wani et al., 2012; Martínez-Díaz et al., 2017; Martiñón et al., 2018). Para efectos del mejoramiento genético de esta especie en las condiciones de Colombia, el conocimiento de los genes KASII y FAD2-1, responsables de la síntesis de ácido oleico y linoleico (Lovio-Fragoso et al., 2018) y la alta heredabilidad del carácter (Ovando-Medina et al., 2011) constituyen una fuente genética para lograr avances significativos.

Conclusiones

Se encontraron diez ácidos grasos presentes en el aceite de quince genotipos de JC evaluados en Colombia y clasificados como 1) ácidos grasos saturados (C14:0- mirístico; C16:0 palmítico; C17:0 margárico; C18:0 esteárico; C20:0 araquídico); 2) ácidos grasos monoinsaturados (C16:1 palmitoleico; C18:1 oleico; C20:1 eicosenico) y 3) ácidos grasos poliinsaturados (C18:2 linoleico; C18:3 linoléico).

La proporción de los aceites fue predominante de ácidos monoinsaturados (45,44 %) y poliinsaturados (34,18 %) y en menor proporción los saturados (20,37 %). El ácido graso predominante fue el ácido oleico (44,62 %) en los monoinsaturados; el ácido linoleico (33,95 %) en los poliinsaturados y en menor proporción el palmítico (12,41 %) y esteárico (7,43 %) en los ácidos saturados.

Los genotipos de JC evaluados en Colombia coinciden con los genotipos a nivel mundial en su perfil lipídico del aceite que se califica como oleico-linoleico con predominancia de ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados). Para aplicaciones en biocombustibles esta constitución le confiere al biodiésel de JC, un mejor desempeño en propiedades de flujo en frío.

Desde el punto de vista genético, diferencias en los contenidos de los ácidos grasos, los valores de los ácidos oleico y linoleico fueron mayores a los reportados en el centro de origen de la JC (México); siendo estos dos ácidos los que mayor injerencia tienen en la calidad del aceite para biodiésel. Esto constituye a la JC en una fuente importante para usar mediante introgresión en los programas de mejoramiento genético con fines de lograr variedades con mayor contenido de ácidos grasos oleico y linoleico.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento por el apoyo económico al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), Empresa Colombiana de Petróleo (ECOPETROL), CERREJON de Colombia (CERREJON) y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).

Literatura citada

- Abou, A.A., and N.M.M. Atta. 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficit: yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass Bioen.* 33:1343-1350. doi:10.1016/j.biombioe.2008.05.015
- Achten, W.M.J., L.R. Nielsen, R. Aerts, A.K. Lengkeek, E.D. Kjaer, A. Trabucco, J.K. Hansen, W.H. Maes, L. Gaudal, F.K. Akinnifesi, and B. Muys. 2010. Towards domestication of *Jatropha curcas*. *Biofuels* 1(1):91-107. doi:10.4155/bfs.09.4
- Achten, W., L. Verchot, Y. Franken, E. Mathijs, V. Singh, R. Aerts, and B. Muys. 2008. *Jatropha curcas* L. biodiesel production and use. *Biomass Bioen.* 32:1063-1084. doi:10.1016/j.biombioe.2008.03.003
- Akbar, E., Z. Yaakob, S. Kamaudin, M. Ismail, and J. Salimon. 2009. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. *Eur. J. Sci. Res.* 29:396-403.
- Akintayo, E. 2004. Characteristics and composition of *Parkia biglobosa* and *Jatropha curcas* oil and cakes. *Bioresour. Technol.* 92:307-310. doi:10.1016/S0960-8524(03)00197-4
- Andrade, I.P., M.C. Folegatti, O.N. Santos, E.D. Júnior, A. Barison, and A.D. Santos. 2017. Fatty acid composition on *Jatropha curcas* seeds under different agronomical conditions by means of 1H HR-MAS NMR. *Biomass Bioen.* 101:30-34. doi:10.1016/j.biombioe.2016.12.006
- Becker, K., and H.P.S. Makkar. 2008. *Jatropha curcas*: A potential source for tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Technol.* 20:104-107. doi:10.1002/lite.200800023
- Benatti, P., G. Peluso, R. Nicolai, and M. Calvani. 2004. Polyunsaturated fatty acids: biochemical, nutritional and epigenetic properties. *J. Am. Coll. Nutr.* 23:281-302. doi:10.1080/07315724.2004.10719371
- Bora, D.K., and D. Baruah. 2012. Assessment of tree seed oil biodiesel: A comparative review based on biodiesel of a locally available tree seed. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 16:1616-1629. doi:10.1016/j.rser.2011.11.033
- Campuzano, F. 2008. Programa *Jatropha* Colombia: genética, agronomía, poscosecha y desarrollo agroindustrial del piñón en Colombia (2008-2012). *Rev. Innov. Cambio Tecnol.* 7(7):64-68.
- Campuzano, L.F., and F. Cardeño. 2017. Measurement of fruit color-heterogeneity index and their relation to *Jatropha curcas* L., oil in Colombia. *Acta Agron.* 66:9-14. doi:10.15446/acag.v66n1.50736
- Campuzano, L.F., L.A. Ríos, y F. Cardeño. 2016. Caracterización composicional del fruto de 15 variedades de *Jatropha curcas* L. en el departamento del Tolima, Colombia. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 17:379-390. doi:10.21930/rcta.vol17_num3_art:514
- Fairless, D. 2007. Biofuel: The little shrub that could – maybe. *Nature* 449:652-655. doi:10.1038/449652a
- Falasca, S.L., y A. Ulberich. 2008. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones de *Jatropha curcas* (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). *Rev. Virtual REDESMA* 2(2):102-115. www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rvr/v2n2/a07pdf. (consultado ene. 2019).
- Gopinath, A., S. Puhan, and N. Govindan. 2009. Relating the cetane number of biodiesel fuels to their fatty acid composition: a critical study. *Proc. Inst. Mech. Eng. D: J. Automobile Eng.* 233:565-583. doi:10.1243/09544070JAUTO950
- Jain, S., and M.P. Sharma. 2011. Oxidation stability of blends of *jatropha* biodiesel with diesel. *Fuel* 90:3014-3020. doi:10.1016/j.fuel.2011.05.003
- Jensen, W.B. 2007. The origin of the Soxhlet extractor. *J. Chem. Educ.* 82:1913-1914. doi:10.1021/ed084p1913
- Kandpal, J.B., and M. Madan. 1995. *Jatropha curcas*: a renewable source of energy for meeting future energy needs. *Renew. Energy* 6:159-160. doi:10.1016/0960-1481(94)00081-G

- Knothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Process. Technol.* 86:1059-1070. doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.002
- Lovio-Fragoso, J.P., L.A. Medina-Juárez, N. Gamez-Meza, O. Martínez, M.A. Hernández-Oñate, and C. Hayano-Kanashiro. 2018. Expression analysis of genes involved in the synthesis of oleic and linoleic acids in *Jatropha cinérea* sedes from Northwestern Mexico. *Ciênc. Rural* 48(11):e20170610. doi:10.1590/0103-8478cr20170610
- Martínez-Díaz, I., A. González-Rodríguez, H.R. Rico-Ponce, V. Rocha-Ramírez, I. Ovando-Medina, and F.J. Espinosa-García. 2017. Fatty acid diversity is not associated with neutral genetic diversity in native populations of the biodiesel plant *Jatropha curcas* L. *Chem. Biodivers.* 14(1):e1600188. doi:10.1002/cbdv.201600188
- Martiñón, A., R. Figueroa, A. Martínez, J. Martínez, G. Pacheco, and J. García. 2018. Chemical and physical characterization of *Jatropha curcas* L., seed from the Northern of Puebla, México. *J. Plant Sci.* 6:25-30. doi:10.11648/j.jps.20180601.15
- Montes, J.M., M. Rodríguez-Aliciardi, J. Vaca-Chávez, C. Guzmán, and E. Calandri. 2011. Characterization of *Jatropha curcas* L., seed and its oil, from Argentina and Paraguay. *J. Argent. Chem. Soc.* 98:1-9.
- Nascimento, I.A., I.T.D. Cabanelas, J.N. dos-Santos, M.A. Nascimento, L. Sousa, and G. Sansone. 2015. Biodiesel yields and fuel quality as criteria for algal-feedstock selection: effects of CO₂-supplementation and nutrient levels in cultures. *Algal Res.* 8:53-60. doi.org/10.1016/j.algal.2015.01.001
- Odeyote, T.E., D.S. Ogunniyi, and G.A. Olatunji. 2010. Preparation and evaluation of *Jatropha curcas* Linnaeus seed oil alkyl resins. *Ind. Crops Prod.* 32:225-230. doi:10.1016/j.indcrop.2010.04.016
- Ovando-Medina, I., F.J. Espinosa-García, J. Farfán-Núñez, y M. Salvador-Figuera. 2011. Genetic variation in Mexican *Jatropha curcas* L. estimated with seed oil fatty acids. *J. Oleo Sci.* 60(6):301-311. doi:10.5650/jos.60.301
- Pecina-Quintero, V., J.L. Anaya-López, A. Zamarripa-Colmenero, C.A. Núñez-Colín, N. Montes-García, J.L. Solís-Bonilla, and M.F. Jiménez-Becerril. 2014. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in Mexico and probable centre of origin. *Biomass Bioen.* 60:147-155. doi:10.1016/j.biombioe.2013.11.005
- Pedraza-Sánchez, E.A., y D.G. Cayón-Salinas. 2010. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. *Acta Agron.* 59:30-36.
- Wani, T.A., S. Kitchulu, and G. Ram. 2012. Genetic variability studies for morphological and qualitative attributes among *Jatropha curcas* L. accessions grown under subtropical conditions of North India. *South Afr. J. Bot.* 79:102-105. doi:10.1016/j.sajb.2011.10.009