

Caracterización composicional del fruto de 15 variedades de *Jatropha curcas* L. en el departamento del Tolima, Colombia

Compositional Fruit Characterization of 15 Varieties of *Jatropha curcas* L. in the Department of Tolima, Colombia

Caracterização composicional do fruto de 15 variedades de *Jatropha curcas* L. no departamento do Tolima, Colômbia

Luis Fernando Campuzano-Duque,¹ Luis Alberto Ríos,² Fernando Cardeño-López³

¹ PhD, Colegio de Postgraduados y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Investigador PhD, Corpoica. Villavicencio, Colombia. lcampuzano@corpoica.org.co

² PhD, Universidad Técnica de Aachen. Investigador PhD, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. larios@udea.edu.co

³ Msc, Universidad de Antioquia. Investigador, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. fernando.cardeno@udea.edu.co

Fecha de recepción: 12/09/2014

Fecha de aceptación: 09/05/2016

Para citar este artículo: Campuzano-Duque LF, Ríos LA, Cardeño-López F. Caracterización composicional del fruto de 15 variedades de *Jatropha curcas* L. en el departamento del Tolima, Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 17(3):379-390

DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:514

Resumen

Jatropha curcas L. (JCL) es una planta tropical en proceso de domesticación con uso multipropósito, principalmente, para biodiésel. La caracterización del fruto permitirá reconocer el aprovechamiento del aceite para la sustitución de la energía fósil y el potencial uso de los otros componentes. Por esta razón, se realizó la valoración e identificación de los componentes del fruto y sus posibles usos en un experimento ubicado en el Tolima (Colombia). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 15 variedades y 3 repeticiones, mediante el uso de una unidad experimental de 20 plantas establecidas con una distancia de siembra de 3 x 2 m. La valoración del fruto mostró seis componentes: pulpa, semilla, cascarilla, almendra, torta y aceite.

La participación de cada componente fue la siguiente: pulpa 73,9 % y semilla 26,1 %. La pulpa presentó nitrógeno (1,1 %) y potasio (9,7 %), además de elementos menores (manganeso, zinc y hierro). La semilla mostró dos componentes: cascarilla (29,9 %) y almendra (70,1 %), con un valor energético de la cascarilla de 4.155 kcal/kg. De la almendra se obtuvo aceite (44,1 %) y torta (55,9 %). El aceite presentó en mayor proporción dos ácidos grasos: oleico (40,3 %) y linoleico (38,6 %), y la torta, un contenido de proteína del 62,0 %. El aceite de JCL tiene potencial para biodiésel; la pulpa, como biofertilizante; la cascarilla, para la cogeneración de energía; y la torta, para alimentación animal.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, ácidos grasos, generación de energía, alimentación de los animales, Tolima (Colombia)

Abstract

The *Jatropha curcas* L. (JCL) is a tropical plant going through a domestication process with a multipurpose use, mainly for biodiesel. The characterization of the fruit will allow recognizing the use of oil in order to replace fossil energy and the potential use of the other components. For this reason, the assessment and identification of the components of the fruit and its possible uses were tested in an experiment that took place in Tolima, Colombia. One random complete block design was used with 15 varieties and three replications, using an experimental unit of 20 plants established with a planting distance of 3 x 2 m. The assessment showed six components of the

fruit: pulp, seed husk, almond cake, and oil. The share of each component was: pulp (73.9%) and seed (26.1%). The pulp showed nitrogen (1.1%) and potassium (9.7%), plus some minor elements (manganese, zinc and iron). The seed showed two components: husk (29.9%) and almond (70.1%), with an energy value of 4,155 kcal husk / kg. From the Almond, oil (44.1%) and cake (55.9%) were obtained. The oil showed two fatty acids in higher proportion: oleic (40.3%) and linoleic (38.6%) and the cake showed a protein content of 62.0%. The JCL oil has the potential for biodiesel; the pulp as biofertilizer; the husk for energy cogeneration, and the cake for animal feed.

Keywords: *Jatropha curcas*, Fatty acids, Energy generation, Animal feeding, Tolima (Colombia)

Resumo

Jatropha curcas L. (JCL) é uma planta tropical em processo de domesticação com uso multipropósito, principalmente, para biodiesel. A caracterização do fruto permitirá reconhecer o aproveitamento do óleo para a substituição da energia fóssil e o potencial uso dos outros componentes. Por esta razão, realizou-se a valoração e identificação dos componentes do fruto e os seus possíveis usos em um ensaio localizado em Tolima (Colômbia). Utilizou-se um estudo de blocos completos ao acaso, com 15 variedades e 3 repetições, mediante o uso de uma unidade experimental de 20 plantas estabelecidas com uma distância de semeadura de 3 x 2 m. A valoração do fruto mostrou seis componentes: polpa, semente, caroço, amêndoa,

bagaço e óleo. A participação de cada componente foi a seguinte: polpa 73,9% e semente 26,1%. A polpa apresentou nitrogênio (1,1%) e potássio (9,7%), além do mais de elementos menores (manganês, zinco e ferro). A semente mostrou dois componentes: caroço (29,9%) e amêndoa (70,1%), com um valor energético do caroço de 4.155 kcal/kg. Da amêndoa se obteve óleo (44,1%) e bagaço (55,9%). O óleo apresentou em maior proporção dois ácidos gordurosos: oleico (40,3%) e linoleico (38,6%), e a bagaço, um conteúdo de proteína do 62,0%. O óleo de JCL tem potencial para biodiesel; a polpa, como biofertilizante; o caroço, para a cogeração de energia; e o bagaço, para alimentação animal.

Palavras chave: *Jatropha curcas*, ácidos gordurosos, geração de energia, alimentação dos animais, Tolima (Colômbia)

Introducción

En los planes energéticos de los países desarrollados se están implementando proyectos que permitirán la inclusión de biomásas de primera y segunda generación para la producción de energía renovable. *Jatropha curcas* L. (JCL) es una especie vegetal en estudio con fines agroenergéticos de segunda generación. Es considerada una planta silvestre en proceso de domesticación, pertenece a la familia Euphorbiaceae y es nativa de Centroamérica, con una distribución amplia desde México hasta Brasil (Colombia, Ecuador, Perú, Argentina y Paraguay), así como en otros lugares del subtrópico africano y asiático (Pandey et al. 2012).

Esta especie es un ejemplo de planta versátil, con atributos económicos y ecológicos, utilizada en varios países tropicales de América, África y Asia como energía alternativa gracias al aceite obtenido de las semillas (Achten et al. 2008; Becker y Makkar 2008). Presenta usos diversos, entre los que se destacan la farmacología, los biofertilizantes, la bioenergía y la alimentación animal y humana (Pabón y Hernández-Rodríguez 2012). En farmacología, Sabandar et al. (2013) presentan las bondades de la JCL como planta medicinal, así como las aplicaciones de esta para el control de insectos-plaga y patógenos en plantas. También tiene usos multi-propósito como cerca viva, tutor de otros cultivos, control de la erosión, árbol de sombra y ornato y en modelos agroforestales (Odalys et al. 2008; Pandey et al. 2012).

Los componentes del fruto de JCL tienen diferentes usos. La pulpa presenta contenidos de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio, que permiten su uso como biofertilizante (Singh et al. 2008; Kumar et al. 2012). Sus semillas quemadas con óxido de hierro se han considerado fuente importante en la preparación de barnices o como un sustituto de aceites industriales (Bart et al. 2013). En Europa, se emplean en el hilado de lana y en manufacturas textiles; adicionadas con ceniza, se utilizan para la elaboración de jabones caseros (Heller 1996).

La cascarilla está constituida por carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno, con un valor de su

potencial calorífico de 1.722 MJkg^{-1} . Esto permite su uso en la generación de gas mediante gasificador de corriente descendente, con una eficiencia del 64,8% (Maiti et al. 2014), o como combustible sólido para la elaboración de briquetas, o *biochar* para uso agrícola como biofertilizante (Kumar y Sharma 2008; Wang et al. 2008). No obstante, Adinurani et al. (2015) encontraron que el alto contenido de lignina en la cascarilla ocasiona resistencia a la degradación biológica, enzimática o química. Esta limitante fue resuelta por estos mismos investigadores mediante procesos como la digestión anaeróbica semicontinua.

La semilla y la torta de JCL, por su parte, tienen antinutrientes: inhibidor de tripsina, lectina (curcina y curcusone B), saponina, ácido fítico, ácido curcalónico y un grupo de compuestos tóxicos denominados ésteres de forbol (EF) (Saetae y Suntornsuk 2010a; 2010b). Los inhibidores de tripsina y lectina son lábiles al calor y son inactivados mediante tratamientos térmicos, pero los ésteres de forbol y fitatos permanecen sin cambios. Los fitatos constituyen un importante componente antinutritivo único que no es lábil al calor y que puede tener efectos adversos, en especial, por la disminución en la bio-disponibilidad de los minerales, particularmente, calcio, zinc y hierro. Sin embargo, el efecto adverso del fitato puede ser mitigado mediante la adición de minerales en la dieta.

Está restringido el uso para alimentación animal o humana de la torta proveniente de variedades tóxicas, por su contenido de curcina y EF (Devappa et al. 2011). Se ha propuesto que, si estos se retiran total o parcialmente de la torta de semilla, esta podría ser utilizada como un componente rico en proteína en dietas de alimentación humana o animal. Haas et al. (2012) reportan seis tipos de EF con una misma fracción diterpeno. Sin embargo, el forbol ampliamente prevalente es el 4 B-12-O-tetracanoilforbol-13-acetato.

Además de su contenido de proteína útil para alimentación animal y humana, la torta tiene propiedades como biomasa para cogeneración de energía y aplicaciones industriales y agrícolas. Para

la cogeneración de energía, mediante fermentación anaeróbica y gasificación, presenta un rendimiento de gas de 5981 kg⁻¹ con una eficiencia del 66,7% (Christodoulou et al. 2014), debido a su alto contenido de metano (Vyas y Singh 2007). En la industria y la agricultura, la torta se utiliza para la elaboración de tableros de aglomerados (Hidayat et al. 2014) y también como estimulador natural del crecimiento de las plantas por la presencia de una proteína específica (Selanon et al. 2014).

El aceite de JCL presenta una composición predominantemente oleica-linoleica que le confiere propiedades especiales en relación directa con la calidad, costo y eficiencia en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiésel, con aplicaciones como biocombustible de segunda generación (Makkar y Becker 2009; Pandey et al. 2012). No obstante, el aceite no es el único producto de importancia para la sociedad. Los componentes del fruto como la pulpa, la cascarilla y la torta también lo son y tienen aplicaciones diversas. La valoración de estos componentes aún se desconoce en las variedades de JCL introducidas en Colombia por Corpoica. Por esta razón, se planteó esta investigación, con el objetivo de valorar la participación de la pulpa, la semilla, la cascarilla, la almendra y la torta en el fruto de 15 variedades de JCL.

Materiales y métodos

Localización

El estudio fue realizado en el Centro de Investigación Nataima, de Corpoica, localizado en el municipio de El Espinal, departamento del Tolima. El municipio se encuentra ubicado a una altura de 323 msnm, con una temperatura promedio de 29 °C, una precipitación anual de 1.380 mm, humedad relativa promedio de 74 % y una localización de 04° 09' LN y 74° 53' LO.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con 15 tratamientos y 3 repeticiones. Los

tratamientos se constituyeron por 15 variedades de JCL, identificados del 1 al 15 con la sigla *JC*. La unidad experimental estuvo constituida por 20 plantas de cada variedad, establecidas con una distancia de siembra de 3 x 2 m.

Preparación de componentes

La cosecha del fruto de JCL se realizó a los 36 meses de establecido el cultivo. Se tomaron 50 frutos con coloración amarilla-café, de acuerdo con la escala de color del pericarpio (Dranski et al. 2010, ajustada por Campuzano-Duque y Cardeño 2015), en 20 plantas de cada unidad experimental. El fruto fue desagregado por sus componentes: pulpa, semilla, cascarilla, almendra, torta y aceite. La pulpa y la semilla se obtuvieron mediante separación manual. La cascarilla y la almendra de la semilla fueron obtenidas igualmente por separación manual. De la almendra, se obtuvieron la torta y el aceite por extracción química con el método Soxhlet (AOAC 2007).

Determinaciones del perfil bromatológico

El perfil bromatológico se consiguió con una muestra de 150 g, obtenida de la mezcla de 10 g de pulpa de cada variedad, previamente secada en estufa a 70 °C durante 48 horas. Los elementos, determinados mediante el método 3052 (EPA 1996), fueron nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, manganeso, zinc y boro.

Determinación de contenido de aceite y perfil lipídico

En cada unidad experimental (variedades) y repetición se tomó una muestra de 100 gramos de semilla y se realizó la extracción del contenido de aceite mediante el método Soxhlet (AOAC 2007). Así mismo, en el Laboratorio de Física y Química de Aceites (Universidad de Antioquia), con una muestra de 100 g de torta de cada variedad y repetición, se determinó el perfil lipídico utilizando cromatografía GC-MS (marca Agilent Technologies, referencia CG-7890B, con detector de masas 5975C).

Preparación de extractos para el análisis de proteína

Se molieron 100 g de la torta de cada variedad de JCL en un molino con mallas de 0,4 mm. Se utilizó 1 g de harina para realizar la extracción en las siguientes soluciones: cloruro de sodio 0,5 M, preparado en amortiguador de fosfatos 0,03 M pH 7,4; 70% v/v de etanol; y ácido acético 0,05 M. Se realizaron tres extracciones sucesivas hasta completar 30ml de cada extracto de acuerdo con el método descrito por Osborne (1907).

Determinación de proteínas

La cantidad de proteína presente en los extractos de JCL se determinó con el equipo Technicon Auto-analyzer II, en pares de muestras alícuotas, cada una de 1 ml, y por el método de Lowry et al. (1951), en el cual se emplearon pares de muestras alícuotas de 5 µl del sobrenadante de los extractos centrifugados (22.000 x g durante 15 minutos, a 10 °C).

Determinaciones térmicas

Se tomaron 250 g de cascarilla para realizar la prueba de poder calorífico, con el método de la bomba

calorimétrica descrito por Bailly (1971), expresada en kcal/kg.

Análisis estadístico

Para las variables de peso de fruto, pulpa, semilla, cascarilla, almendra, torta y aceite se realizaron los siguientes procedimientos estadísticos: 1) análisis individual de varianza para determinar la variabilidad entre las variedades; 2) prueba de homogeneidad de varianzas del error según la prueba de Bartlett (Bartlett 1937); y 3) comparación de medias mediante la prueba de Tukey (p = 0,01). Para las variables de caracterización bromatológica de la pulpa y el contenido de proteína en la almendra, se calculó el promedio por variedad.

Resultados y discusión

La desagregación del fruto presentó seis componentes: pulpa, semilla, cascarilla, almendra, torta y aceite. La participación de cada uno de estos componentes fue la siguiente: pulpa 73,9% y semilla 26,1%; de la semilla se obtuvo la cascarilla (29,9%) y la almendra (70,1%), y de esta, el aceite (44,1%) y la torta (55,9%) (figura 1).

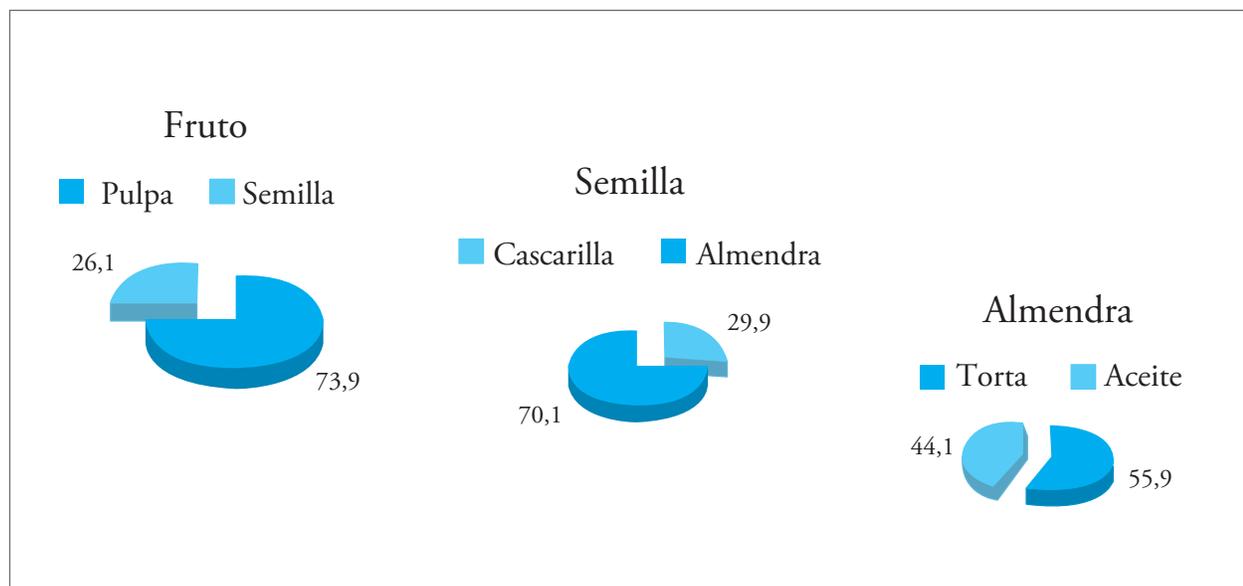


Figura 1. Componentes del fruto de 15 variedades de JCL y porcentaje de participación de sus componentes en El Espinal (Colombia), 2012.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas para todos los componentes del fruto estudiados (tabla 1). Los coeficientes de variación observados fueron en todos los casos menores a 5,0%, lo cual indica el grado de confiabilidad de los datos. Los valores de los componentes a través de variedades mostraron diferencias estadísticas

($p=0,01$). Los valores de intervalo expresados en gramos mostraron para cada componente lo siguiente: fruto: 476,0 (JC6) - 721,9 (JC13); pulpa: 340,8 (JC6) - 543,3 (JC13); semilla: 135,2 (JC6) - 178,6 (JC13); cascarilla: 40,1 (JC6) - 53,6 (JC13); y almendra: 95,1 (JC6) - 125,0 (JC13) (figura 2).

Tabla 1. Análisis de varianza para peso del fruto y sus componentes

F de V	gl	PF	PP	PS	PC	PA	PT	PAC
Bloque	2	1,09	6,31	11,97	0,76	6,69	2,26	1,24
Variedad	14	8.817**	6.568**	309,94**	28,10**	151,43**	43,73**	29,19**
Error	27	4,00	1,15	4,62	0,45	2,22	0,70	0,41
Media		611,9	452,3	159,7	47,9	111,8	62,6	49,2
CV (%)		4,20	3,18	1,30	1,52	1,36	1,38	1,29

Nota: F de V: fuente de variación; gl: grados de libertad; CV: coeficiente de variación en %; ** diferencias estadísticas altamente significativas; PF: peso del fruto; PP: peso de la pulpa; PS: peso de la semilla; PC: peso de la cascarilla; PA: peso de la almendra; PT: peso de la torta; PAC: peso del aceite

Fuente: Elaboración propia

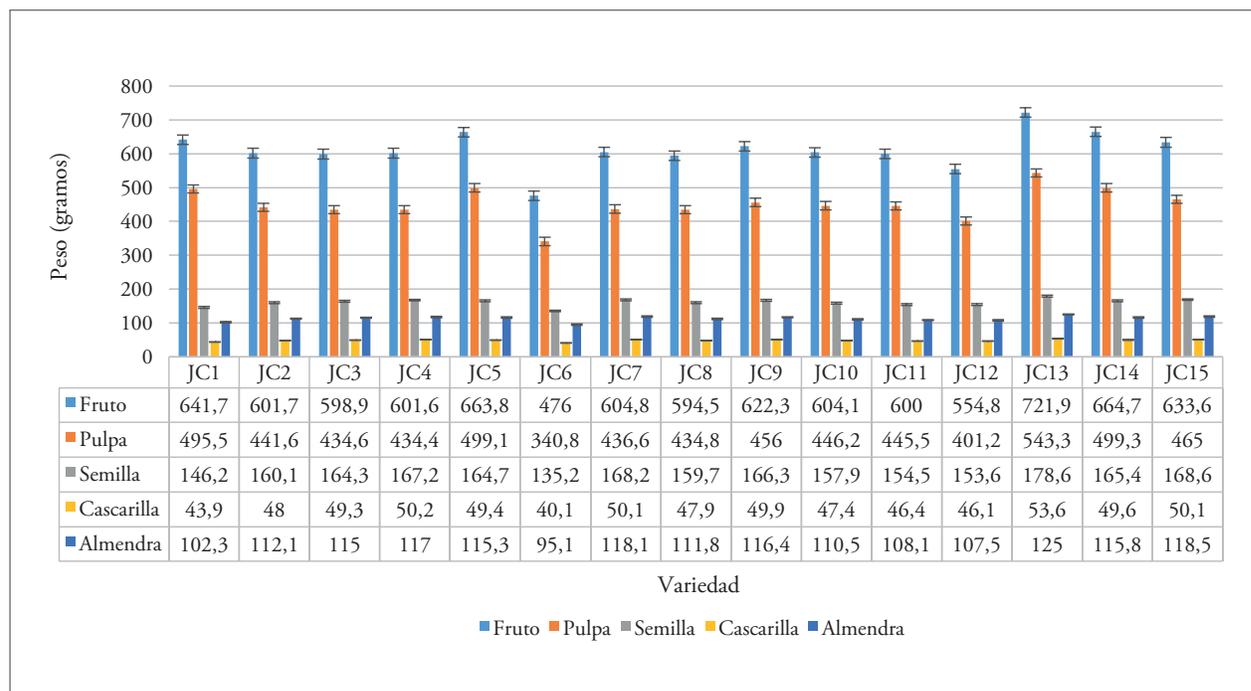


Figura 2. Peso de los componentes del fruto de 15 variedades de JCL.

Nota: Diferencia mínima significativa $\alpha = 0,01$; para fruto = 4,21; pulpa = 3,19; semilla = 4,02; cascarilla = 1,35; y almendra = 2,74

Fuente: Elaboración propia

La variedad JC6 mostró en todos los componentes del fruto los menores valores, y la variedad JC13 presentó en todos los casos los mayores valores. Esto indica el reconocimiento de una importante fuente genética de partida (JC13) para fines de mejoramiento genético de esta especie en Colombia, lo que posiblemente permita la selección de genotipos en un esquema dirigido a modificar la participación de los componentes del fruto con énfasis en el incremento del rendimiento en almendra y cantidad de aceite.

Los resultados reportados de los componentes del fruto aún son diversos y heterogéneos, debido a la condición silvestre de la especie en proceso de domesticación, con una dominancia de polinización cruzada que conlleva una estructura genética heterogénea alta. Aunado a esto, los estudios genéticos de algunos atributos asociados a la morfología del fruto indican valores de heredabilidad bajo, que evidencian no solo alta variabilidad, sino también alta interacción con el ambiente: ancho del fruto (20,5 %) (Sharma y Kumar 2013), peso del fruto (20,1 %) y peso de la semilla (18,2 %) (Gairola et al. 2011).

La composición química del fruto y su heterogeneidad depende, además, del contenido de humedad, de lignina, celulosa y hemicelulosa, y de sólidos volátiles y cenizas. Por ejemplo, Singh et al. (2008) encontraron una composición del fruto de JCL que difiere de lo hallado en el estudio: 35-40 % de pulpa y 60-65 % de semilla y, en esta última, el 58-60 % está compuesto por almendra. En la almendra, Li et al. (2006) encontraron un contenido de aceite que varió entre 51,3 % y 61,2 %, valores superiores al encontrado en los materiales evaluados en Colombia (44,1 %) y similares a los reportados por Wan et al. (2008) (37,6 % a 41,4 %).

La pulpa estuvo constituida principalmente por dos elementos: nitrógeno (1,1 %) y potasio (9,7 %), con contenidos de manganeso, zinc y hierro. Los valores de estos tres elementos, expresados en mg/kg, presentaron los siguientes intervalos: manganeso, entre 78,5 y 213,4; zinc, entre 53,7 y 84,2; y hierro, entre 36,0 y 93,4 (tabla 2). La composición bromatológica de la pulpa se asocia con el uso potencial de este insumo como fuente para la elaboración de biofertilizantes.

Tabla 2. Elementos contenidos en la pulpa de fruto de 15 variedades de JCL

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
CJ1	1,0	0,2	8,5	0,3	0,3	0,1	60,7	8,0	213,4	49,4	84,2
CJ2	0,9	0,2	7,5	0,1	0,2	0,0	43,4	7,3	146,1	10,7	72,6
CJ3	1,2	0,2	9,7	0,3	0,3	0,0	36,0	7,3	106,7	8,7	77,5
CJ4	0,7	0,2	8,6	0,2	0,4	0,1	41,4	8,7	132,1	9,3	79,8
CJ5	0,8	0,3	7,4	0,4	0,4	0,2	63,4	6,0	155,4	12,7	67,6
CJ6	0,9	0,2	8,7	0,2	0,4	0,0	53,4	9,3	122,1	7,3	53,7
CJ7	0,9	0,2	6,7	0,4	0,4	0,1	54,7	7,3	200,1	5,3	74,8
CJ8	0,7	0,2	9,7	0,3	0,2	0,0	64,0	8,0	124,1	5,3	84,2
CJ9	1,1	0,2	8,8	0,1	0,2	0,0	93,4	6,0	78,5	10,7	73,3
CJ10	1,1	0,2	8,5	0,1	0,2	0,1	85,4	8,7	146,1	12,7	71,7

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
CJ11	0,7	0,2	7,6	0,2	0,2	0,0	40,7	6,7	164,7	9,3	71,7
CJ12	0,9	0,2	8,9	0,3	0,3	0,0	56,7	8,7	160,1	10,0	73,3
CJ13	0,7	0,1	7,6	0,3	0,3	0,2	55,4	9,3	111,4	7,3	74,8
CJ14	0,6	0,2	7,7	0,3	0,4	0,2	64,7	9,3	150,1	8,0	76,4
CJ15	0,6	0,1	7,2	0,3	0,3	0,2	61,7	8,2	155,9	8,7	73,9

Nota: Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B). N, P, K, Ca, Mg: expresados en porcentaje; Fe, Cu, Mn, Zn y B: expresados en mg/kg
Fuente: Elaboración propia

La cascarilla y la almendra, componentes de la semilla, presentaron un promedio en gramos de 47,9 (cascarilla) y 111,8 (almendra), con una participación del 29,9% y 70,1%, respectivamente. Las variedades de JCL mostraron valores de cascarilla que oscilaron entre 40,1 g (JC6) y 53,6 g (JC14), y en la almendra, entre 95,1 g para la variedad JC6 y 125,0 g para la variedad JC13 (figura 2).

La valoración de la cascarilla presentó un valor promedio de 4.155,62 kcal/kg, con valores que oscilaron entre 4.087,54 y 4.222,66 kcal/kg para las variedades JC1 y JC4, respectivamente (figura 3). El potencial de este componente se sugiere como fuente de cogeneración de energía en procesos agroindustriales.

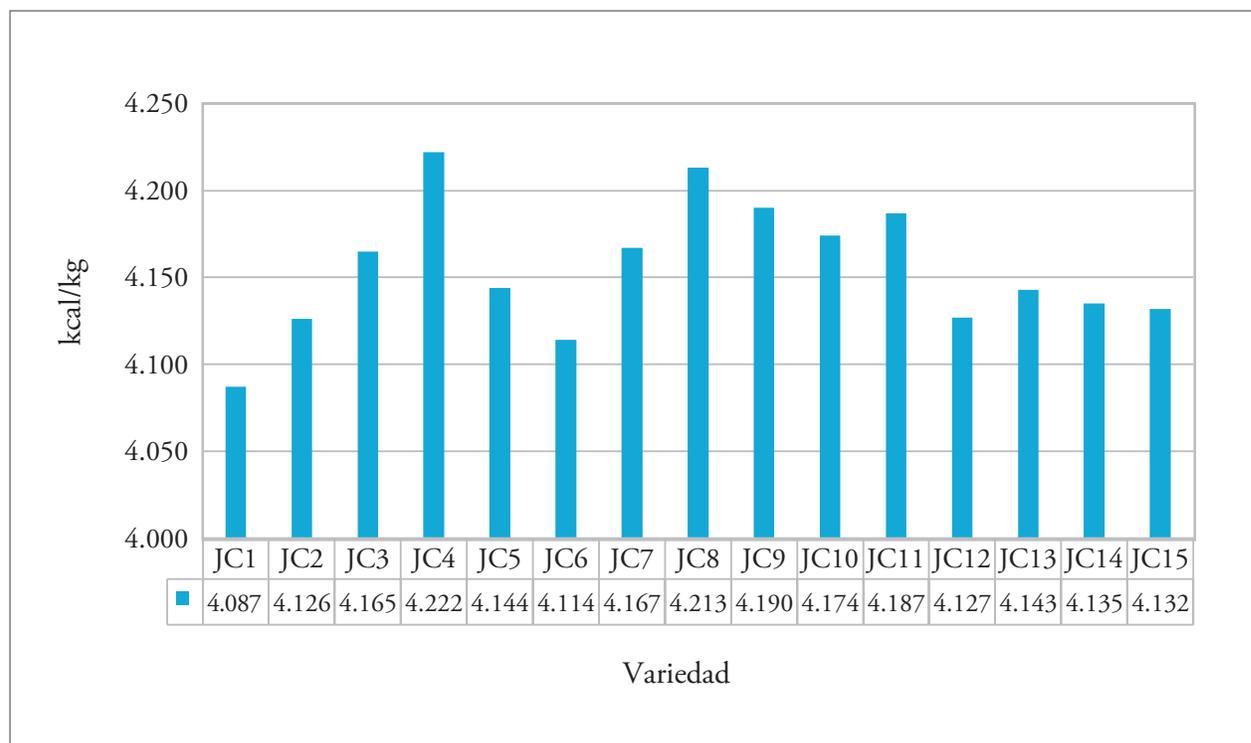


Figura 3. Valor calorífico de la cascarilla de 15 variedades de JCL.

Fuente: Elaboración propia

La torta presentó un valor promedio de proteína de 59,83 %, con valores que oscilaron entre 48,56 % para la variedad JC2 y 63,65 % para JC5 (figura 4). Estos valores de proteína concuerdan con la mayoría de los reportes de investigación realizados (Heller 1996; Makkar y Becker 2009; Pal et al. 2012; Xiaoyu et al. 2016). Este componente se constituye en una importante fuente para la alimentación humana y animal, previo tratamiento para la eliminación de los metabolitos secundarios, principalmente, de ésteres de forbol.

La torta también tiene una aplicación en la agricultura como sustituto de productos inorgánicos en la estimulación del crecimiento de los cultivos (Selanon et al. 2014). Por sus propiedades mecánicas, la torta tiene aplicación industrial para la elaboración de materiales aglomerados en sustitución de la madera (Hidayat et al. 2014).

El análisis de varianza en el aceite presentó diferencias estadísticas significativas para el ácido esteárico y altamente significativas para los ácidos oleico y linoleico; el ácido palmítico no presentó diferencias estadísticas entre las variedades estudiadas (tabla 3).

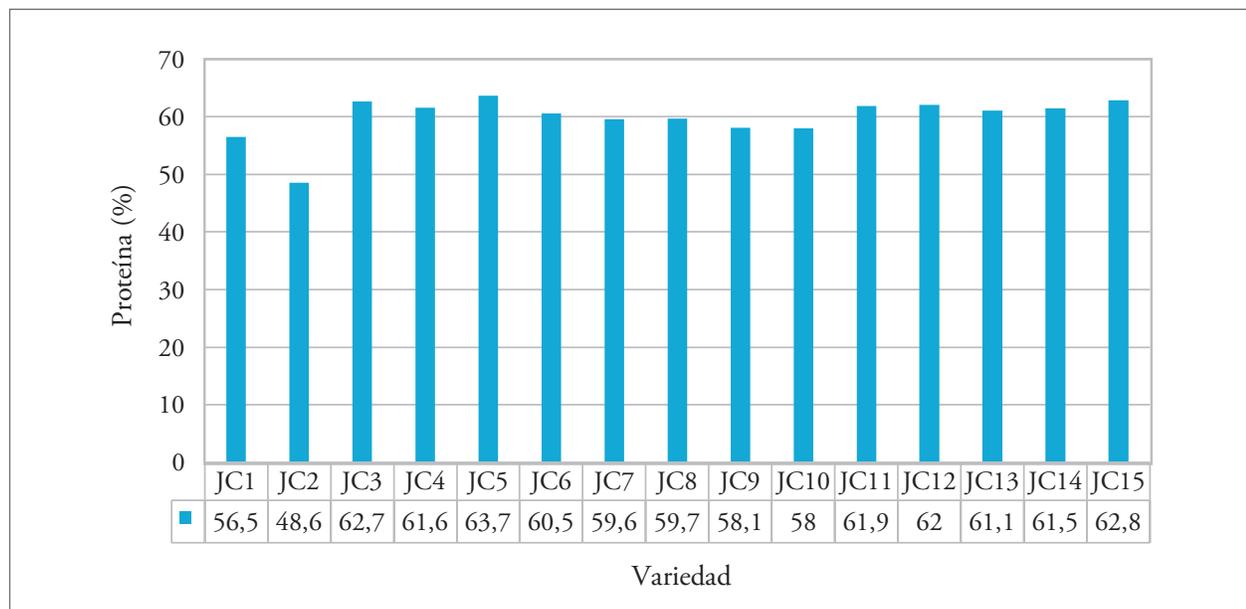


Figura 4. Contenido de proteína en la torta de 15 variedades de JCL.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Análisis de varianza para ácido oleico, linoleico, palmítico y esteárico de 15 variedades de JCL evaluados en El Espinal (Colombia), 2012

F de V	gl	Oleico	Linoleico	Palmítico	Esteárico
Repetición	2	18.648	48.186	0,109	0,109
Variedad	14	86.643**	92.588**	1.263*	0,425ns
Error	28	0,126	37.911	0,476	32.677
CV (%)		5,4	4,8	5,3	4,7

Nota: F de V: fuente de variación; gl: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; * y **: diferencias estadísticas al 1 % y 5 % de probabilidad; ns: no significativas

Fuente: Elaboración propia

Cada género de plantas tiene uno o dos ácidos grasos específicos dominantes, por ejemplo, la palma africana (*Elaeis guineensis*) está asociada con el ácido palmítico; la higuera (*Ricinus communis* L.), con el ricinoleico; el coco (*Cocos nucifera*), con el láurico; la oliva (*Olea europaea*), el cacahuete (*Arachis hypogaea*) y el sésamo (*Sesamum indicum*), con el oleico; la colza (*Brassica napus*), con el behénico y eurístico; el cacao (*Theobroma cacao* L.), con el esteárico y palmitoleico; y el algodón (*Gossypium hirsutum* L.), el cártamo (*Carthamus tinctorius*) y el lino (*Linum usitatissimum*), con el linoleico. No obstante, la composición de estos en cada especie puede variar dependiendo del genotipo, de las condiciones del clima y del manejo agronómico, como la nutrición y el riego (Benatti et al. 2004).

El perfil lipídico de JCL presentó una predominancia de cuatro ácidos grasos. El ácido oleico mostró 40,3% y el linoleico, 38,6%, en contraste con los menores valores observados en el ácido palmítico (12,9%) y esteárico (6,6%) (figura 5). Otros ácidos presentes que manifestaron una concentración promedio no superior al 2,0% fueron el linolénico, el mirístico, el palmitoleico, el eicosanoico y el eicosenoico.

Estos resultados del perfil lipídico del aceite corroboran que los genotipos de JCL evaluados en

Colombia coinciden con lo reportado a nivel mundial, pues dicho perfil está calificado como oleico-linoleico con predominancia de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (principalmente, oleico y linoleico). Tal constitución lipídica le confiere al biodiésel producido con JCL propiedades que redundan en un mejor desempeño a bajas temperaturas; a diferencia del biodiésel de aceite de palma, que tiene mayor dominancia de ácidos saturados, principalmente, de ácido palmítico, lo que le otorga malas propiedades de flujo en frío.

La composición predominantemente oleica-linoleica del aceite de JCL, de los genotipos evaluados en el departamento del Tolima (Colombia), le confiere propiedades especiales en relación directa con la calidad, costo y eficiencia en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiésel. El mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados hace que el proceso de obtención de biodiésel sea más eficiente, debido al requerimiento de temperaturas más bajas para el proceso y a la presencia de una mayor oxidación en el corto plazo (Pedraza y Cayón 2010); en comparación con el aceite de palma, que posee mayor proporción de ácidos grasos saturados y monoinsaturados en una relación aproximada de 50% y 50% (Habib 2000).

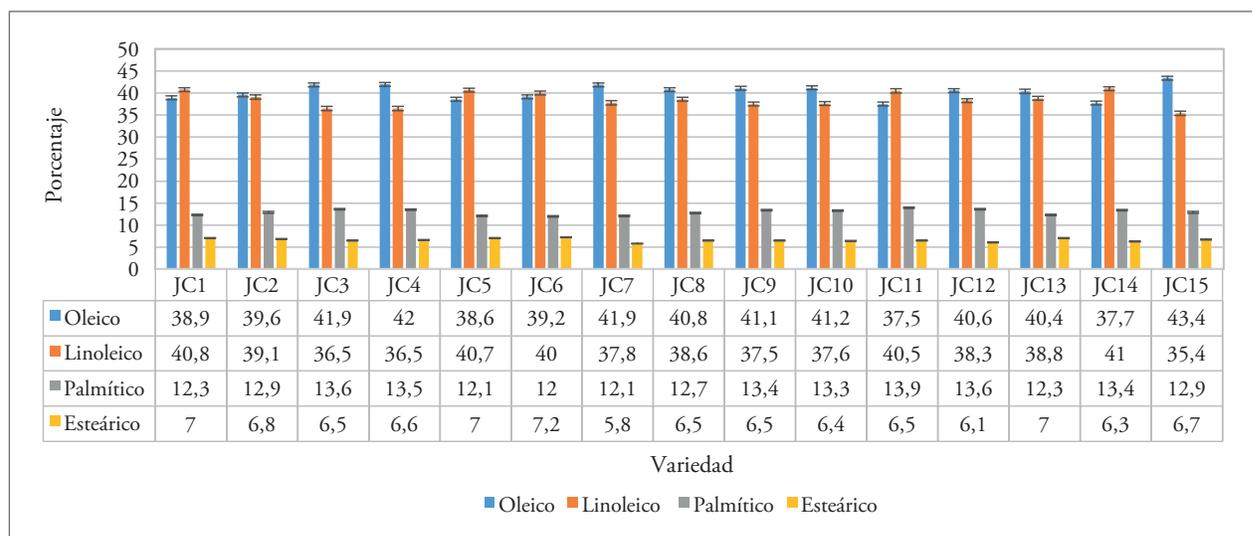


Figura 5. Contenido de ácidos grasos de 15 variedades de JCL.

Nota: Diferencia mínima significativa $\alpha = 0,01$; oleico = 5,8; linoleico = 5,4; palmítico = 2,0; y esteárico = 1,0

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La desagregación del fruto de 15 variedades de la colección colombiana de JCL presentó seis componentes: pulpa, semilla, cascarilla, almendra, torta y aceite, todos ellos con diferentes usos y aplicaciones y con potencial para la estructuración de un modelo agroindustrial de JCL en Colombia con visión de biorrefinería.

La composición del fruto presentó las siguientes características: la pulpa mostró una riqueza composicional en nitrógeno, potasio, manganeso, zinc y hierro, con uso como biofertilizante. La cascarilla, con un poder calorífico de 4.155 kcal/kg, mostró un uso potencial para la cogeneración de energía. La torta presentó un contenido de proteína promedio de 59,8%, considerado alto y potencial para la alimentación humana y animal, y considerado también como sustituto de productos para la estimulación del crecimiento en las plantas y la elaboración de aglomerados. La almendra, finalmente, presentó

un contenido de aceite de 44,1%, con un perfil lipídico predominantemente oleico-linoleico apto para biodiésel.

Agradecimientos

Los autores hacen un reconocimiento a Nataly Campos, estudiante de Agronomía de la Universidad de los Llanos, por la toma de los datos de campo como parte de su pasantía profesional en Corpoica.

Descargos de responsabilidad

Esta investigación fue posible gracias al apoyo económico del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, Colciencias, Ecopetrol y Cerrejón. Los autores están de acuerdo con la publicación de los resultados y declaran que no existe conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de estos.

Referencias

- Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R. 2008. *Jatropha curcas* bio-diesel production and use. *Biomass Bioenerg.* 32:1063-1084.
- Adinurani PG, Hendroko R, Nindita A, Wahano SK, Maizirman M, Sasmito A, Nugroho Y, Liwang T. 2015. Characterization of *Jatropha curcas* Linn. Capsule husk as feedstock for anaerobic digestion. *Energy Procedia.* 65:264-273.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2007. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg, EE. UU.: AOAC International.
- Bailly M. 1971. *Thermo dynamique technique.* Paris: Bordas.
- Bart JC, Gucciardi E, Cavallero S. 2013. *Biolubricants.* Cambridge, Reino Unido: Woodhead Publishing. Chapter 5. Renewable feedstocks for lubricant production; pp. 121-248.
- Bartlett MS. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings R Soc.* 160(901):268-282.
- Becker K, Makkar HPS. 2008. *Jatropha curcas*: a potential source tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Technol.* 20:104-107.
- Benatti P, Peluso G, Nicolai R, Calvani M. 2004. Polyunsaturated fatty acids: biochemical, nutritional and epigenetic properties. *J Am Coll Nutr.* 23(4):281-302.
- Campuzano-Duque LF, Cardeño F. Próximo a publicar 2015. Índice de color-heterogeneidad de frutos y su relación con el aceite de *Jatropha curcas* L., en Colombia. *Acta Agron.*
- Christodoulou C, Grimekis D, Panopoulos K, Vamvuka D, Karellas S, Kakaras E. 2014. Circulating fluidized bed gasification tests of seedcakes residues after oil extraction and comparison with wood. *Fuel.* 132:71-81.
- Devappa RK, Makkar HPS, Becker K. 2011. *Jatropha diterpenes*: a review. *J Am Oil Chem Soc.* 88:301-322.
- Dranski JAL, Pinto AS, Steiner F, Zoz T, Malavasi UC, Malavasi MM, Guimaraes VF. 2010. Physiological maturity of seeds and colorimetry of fruits of *Jatropha curcas* L. *Rev Bras Sementes.* 32(4):158-165.
- [EPA] United States Environmental Protection Agency. 1996. Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. [consultado 2016 abr]. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052.pdf>.
- Gairola KC, Sharma AR, Dwivedi AK. 2011. Variability in seed characteristics of *Jatropha curcas* Linn. From hill region in Uttarakhand. *Bulletin of Environmental, Pharmacology and Life Sciences.* 1(1):64-69.
- Habib F. 2000. Kernel-specific DNA clones encoding three different isoforms of seed storage protein glutelin from oil palm *Elaeis guineensis*. *Plant Sci.* 160:913-923.

- Haas W, Sterk H, Mittelbach M. 2002. Novel 12-deoxy-16-hydroxyphorbol diesters isolated from the seed oil of *Jatropha curcas*. *J Nat Prod.* 65(10):1434-1440.
- Heller J. 1996. Physic nut *Jatropha curcas*, L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Gatersleben, Alemania: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute.
- Hidayat H, Keijsers ERP, Prijanto U, van Dam JEG, Heeres HJ. 2014. Preparation and properties of binderless board from *Jatropha curcas* L. seed cake. *Ind Crop Prod.* 52: 245-254.
- Kumar A, Sharma S. 2008. An evaluation of multipurpose oilseed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. *Ind Crop Prod.* 28(1):1-10.
- Kumar S, Chaube A, Jain SK. 2012. Sustainability issues for promotion of *Jatropha* biodiesel in Indian scenario: a review. *Renew Sust Energ Rev.* 16:1089-1098.
- Li YL, Zhang P, He Y. 2006. Perspective of the development and application of *Jatropha curcas* in the dry hot valley of Panzhihua. *Guangxi Trop Agric.* 2:39-40.
- Lowry O, Rosebrough N, Farr A, Randall R. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J Biol Chem.* 193:265-275.
- Maiti S, Bapat P, Das P, Ghosh PK. 2014. Feasibility study of *Jatropha* shell gasification for captive power generation in biodiesel production process from whole dry fruit. *Fuel.* 121:126-132.
- Makkar HPS, Becker K. 2009. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. *Eur J Lipid Sci Technol.* 111(8):773-787.
- Osborne TB. 1907. The protein of the wheat kernel. Washington (DC): Carnegie Institution of Washington; [2016 abr]. <https://archive.org/details/proteinsowheatk00osborich>.
- Pabón L, Hernández-Rodríguez P. 2012. Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales. *Rev Cuba Plantas Med.* 17(2):194-209.
- Pal A, Negi VS, Khanal S, Borthakur D. 2012. Immunodetection of curcumin in seed meal of *Jatropha curcas* using polyclonal antibody developed against curcumin-L. *Curr Nutr Food Sci.* 8(3):213-219.
- Pandey VC, Singh K, Singh JS, Kumar A, Singh B, Singh RP. 2012. *Jatropha curcas*: a potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renew Sustain Rev.* 16(5):2870-2883.
- Pedraza E, Cayón D. 2010. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. *Acta Agron.* 59(1):30-36
- Saetae D, Suntornsuk W. 2010a. Antifungal activities of ethanolic extract from *Jatropha curcas* seed cake. *J Microbiol Biotechnol.* 20(2): 319-324.
- Saetae D, Suntornsuk W. 2010b. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. *Int J Mol Sci.* 12(1):66-77.
- Sabandar CW, Ahmat N, Jaafer FM, Sahidin I. 2013. Medicinal property, phytochemistry and pharmacology of several *Jatropha* species (*Euphorbiaceae*): a review. *Phytochemistry.* 85:7-29.
- Selanon O, Saetae D, Suntornsuk W. 2014. Utilization of *Jatropha curcas* seed cake as a plant growth stimulant. *Biocatal Agric Biotechnol.* 3(4):114-120.
- Sharma S, Kumar A. 2013. Variability studies of fruit and seed characteristics in *Jatropha (Jatropha curcas L.)* in Himachal Pradesh. *Int J Farm Sci.* 3(1):70-76.
- Singh RN, Vyas DK, Srivastava NSL, Narra M. 2008. SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy. *Renew Energ.* 33(8):1868-1873.
- Toral OC, Iglesias JM, Montes de Oca S, Sotolongo JA, García S, Torsti M. 2008. *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes.* 31(3):191-207.
- Wang ZY, Lin JM, Xu ZF. 2008. Oil contents and fatty acid composition in *Jatropha curcas* seeds collected from different regions. *J South Med Univ.* 28(6):1045-1046.
- Vyas DK, Singh RN. 2007. Technical note feasibility study of *Jatropha* seed husk as an open core gasifier feedstock. *Renew Energ.* 32(3):512-517.
- Xiaoyu Z, Zehong Y, Jian L, Kin T, Fan Ch. 2016. Detoxification of *Jatropha curcas* seed cake in solid-state fermentation of newly isolated endophytic strain and nutrition assessment for its potential utilization. *Int Biodeter Biodegr.* 109:202-210.