

Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales

Chemical importance of *Jatropha curcas* and its biological, pharmacological and industrial applications

MSc. Ludy C. Pabón, MSc. Patricia Hernández-Rodríguez

Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.

RESUMEN

Introducción: *Jatropha curcas* L. (Euforbiaceae) es un árbol con múltiples propósitos; fuente alternativa para la obtención de biodiesel, alimentación humana y animal, producción de fertilizantes y en medicina tradicional. En los últimos años, el aumento en la prevalencia de bacterias multirresistentes y la aparición de cepas con reducida susceptibilidad a los antibióticos han propiciado la búsqueda de principios activos naturales, que controlen infecciones y plagas y minimicen los efectos secundarios producidos por las sustancias sintéticas.

Objetivo: establecer la importancia química y las aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales de *Jatropha curcas* frente a sus efectos tóxicos.

Métodos: se realizó una revisión exhaustiva y actualizada sobre diferentes investigaciones, que permitió identificar los aspectos más relevantes de los principales compuestos químicos presentes en cada una de las partes de la planta. Igualmente, se determinó la aplicación biológica, la utilidad medicinal, la toxicidad y la importancia industrial de *Jatropha curcas*.

Resultados: *Jatropha curcas* se emplea de manera tradicional para el tratamiento de infecciones bacterianas y fúngicas o para enfermedades con episodios febriles, dolor muscular o ictericia. También es utilizada para la obtención de nuevos medicamentos mediante la identificación de principios activos, que permitan eliminar patógenos o inhibir signos y síntomas de enfermedades humanas y veterinarias.

Conclusiones: de las especies con aplicaciones medicinales y diversidad en la obtención de productos útiles para la industria, *Jatropha curcas* es una de las que presenta gran número de reportes que evidencian su utilidad en la industria farmacéutica, agrícola, cosmética y alimenticia.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, aplicaciones, toxicidad, sustancias naturales.

ABSTRACT

Introduction: *Jatropha curcas* (Euforbiaceae) is a multipurpose tree, an alternative source for biodiesel production, food, feed, fertilizers and in traditional medicine. In recent years, the increasing prevalence of multidrug resistant bacteria and the emergence of strains with reduced susceptibility to antibiotics have led to the search for natural active ingredients to control pests and minimize infections and side effects caused by synthetic substances.

Objective: to ascertain the chemical importance and the biological, pharmacological and industrial applications of *Jatropha curcas* as well as its toxic effects.

Methods: a thorough updated review of various studies was conducted to identify the most relevant traits of the main chemical compounds in every part of the plant. Additionally, the biological application, the medical benefits, the toxicity and the industrial importance of *Jatropha curcas* were determined.

Results: *Jatropha curcas* is traditionally used to treat bacterial and fungal infections or febrile diseases, muscle pain or jaundice. It is also used for obtaining new drugs through the identification of active ingredients to eliminate pathogens or inhibit signs and symptoms of human and veterinary diseases.

Conclusions: among the species with diverse medicinal applications *Jatropha curcas* is one having wide recognition due to its utility for obtaining useful products in the pharmaceutical, agricultural, cosmetic and food industries.

Key words: *Jatropha curcas*, applications, toxicity, natural substances.

INTRODUCCIÓN

La familia Euphorbiaceae es la sexta familia de plantas con flores más diversas, conformada por aproximadamente 8 000 especies agrupadas en 317 géneros; distribuidas sobre todo en la región tropical y subtropical. Las especies de esta familia se caracterizan por sus variaciones morfológicas, que van desde árboles, hasta arbustos, hierbas y lianas. El género *Jatropha* perteneciente a esta familia, cuenta con más de 70 especies, que se destacan por su dureza, rápido crecimiento y fácil propagación; las semillas de *Jatropha* especialmente *J. pohliana*, *J. gossypifolia* y *J. curcas* tienen un alto contenido de aceite, lo cual ha permitido que estas especies se consideren como cultivos potenciales para la producción de biodiesel.¹

La especie *Jatropha curcas* es un arbusto o árbol pequeño originario de América pero ampliamente cultivado en países de Asia y África; es reconocida por ser un excelente cultivo debido a que se adapta fácil a zonas áridas, semiáridas y de alta pluviosidad, además, tiene pocas plagas y enfermedades. Es próspera en suelos de baja fertilidad y en terrenos baldíos permite recuperar nutrientes, restaurar y rehabilitar suelos afectados por la erosión y mejorar la captura de carbono por el suelo.²⁻¹¹

A nivel biológico el género se utiliza ampliamente en el control de plagas por sus propiedades como insecticida y fungicida. En diferentes especies del género *Jatropha* se han evidenciado usos medicinales, en especial en el tratamiento de infecciones de la piel, enfermedades de transmisión sexual, ictericia y fiebre.¹² En

las hojas de *J. curcas* se han identificado metabolitos como apigenina, vitexina e isovitexina, que pueden ser utilizados contra la malaria, el reumatismo y los dolores musculares. El látex se utiliza como desinfectante en las infecciones bucales y se ha establecido que contiene compuestos con propiedades anticancerígenas como jatrophina, jatrofano, y curcaina. Se ha observado actividad antimicrobiana de *Jatropha* frente *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*.¹³⁻¹⁵

En Colombia el conocimiento de la familia Euphorbiaceae es escaso, se conocen 78 géneros y 390 especies; los géneros *Acalypha*, *Alchornea* y *Croton* son los más revisados.¹⁶ Adicionalmente, el uso de sustancias naturales con utilidad biológica, medicinal e industrial no ha sido muy estudiado en Colombia, pero sí se han reportado aplicaciones de diferentes plantas presentes en el trópico. *Jatropha curcas* es una de las especies más significativas dentro de su género por su importancia química, biomédica y económica; por consiguiente, en este documento se relacionan diversas investigaciones que determinan la composición química y los potenciales usos medicinales e industriales de la especie, para dar a conocer de manera general el contenido de esta planta para su óptimo aprovechamiento.

ESTUDIOS QUÍMICOS

Las plantas y en general los seres vivos sintetizan diversos compuestos para su funcionamiento (metabolitos primarios) como los aminoácidos, carbohidratos, lípidos, glicéridos, ácidos nucleicos, y compuestos que intervienen en sus interacciones ecológicas con el ambiente (metabolitos secundarios) como terpenos, compuestos fenólicos, glicósidos y alcaloides. Estos metabolitos cumplen con funciones de defensa contra predadores y patógenos, como agentes alelopáticos (que son liberados para ejercer efectos sobre otras plantas), para encantar a los polinizadores con sus bellos colores o atrayendo a los animales que van a utilizar los frutos como fuente de alimento y que contribuyen a la dispersión de las semillas. El conocimiento, estudio y utilidad de estos metabolitos ha propiciado el desarrollo de la fitoquímica a través de la incorporación de nuevas técnicas de extracción, purificación e identificación de moléculas biológicamente activas, como materia prima para la fabricación de productos farmacéuticos, cosméticos, nutracéuticos y agropecuarios.

Estos estudios han permitido considerar que la naturaleza produce compuestos con una gran diversidad en términos de estructura química, propiedades físico-químicas y biológicas. *Jatropha curcas* es un ejemplo de esta gran diversidad tal como se reporta en el gran número de estudios dirigidos a conocer la composición química en cada una de las partes de esta planta. Se han identificado flavonoides, diterpenos, esteroides, triterpenos, saponinas, cumarinas, deoxipreussomerinas, ácidos orgánicos, iridoides, saponinas y taninos.^{10,17-21} En la tabla se muestra los compuestos aislados en cada una de las estructuras de esta planta.

Tabla. Metabolitos aislados de diferentes estructuras de *Jatropha curcas*

Estructuras	Compuestos	Referencias
Hojas	Flavonoides: apigenina, vitexina, isovitexina	10, 18,19,20
	Diterpenos: heudolotina	21,25
	Esteroides: estigmasterol, estigmast-5-en-3 β ,7 β -diol, estigmast-5-en-3 β ,7 α -diol, colest-5-en-3 β ,7 β -diol, colest-5-en-3 β ,7 α -	10,18,19

	diol, campesterol, β -sitosterol, 7-ceto- β -sitosterol, β -D-glucósido	
	Triterpenos: α -amirina, 1-triacontanol y el dímero	10,18,19
	Aminas: mezcla de 5-hidroxipirrolidina-2-ona y pirimidina-2,4-diona	19
Tallos	Triterpenos: β -amirina, β -sitoesterol, Taraxerol, <i>epi</i> -friedelinol, friedelina, jatrocuringina	10,20
	Cumarinas: éster metílico escopoletina	10,20
	Diterpenos: palmarumicina CP1, palmarumicina JC1, palmarumicina JC2	21,25
Parte aérea	Ácidos: <i>o</i> -cumárico, <i>p</i> -cumárico, <i>p</i> -metilbenzoico, <i>p</i> -hidroxibenzoico, protocatéquico, resorsílico	10
	Diterpenos: 15- <i>O</i> -acetil-15- <i>epi</i> -(4 <i>E</i>)-jatrogrossidentadiona, isojatrogrossidentadiona 3- β -acetoxi-12-metoxi-13-metil-podocarpa-8,11,13-trieno-7-ona, 3 β ,12-hidroxi-13-metil-podocarpa-8,10,13-trieno	25,61
Raíces	Esteroles: β -sitosterol y su β -D-glucósido, daucosterol	10,61
	Triterpenos: taraxerol	18
	Cumarina: tomentina, marmesina, propazina, jatrofina, 5-hidroxi-6,7-dimetoxicumarina, 6-metoxi-7-hidroxicumarina	10,61
	Diterpenos: curculatirano A y B, curcusona A-D, jatrolona A y B, jatrolol, jatrolactama, caniojana	10,20,25,61
	Flavonoides: nobiletina	61
Látex	Peptidos: curcaciclina A y B	10,54
	Enzimas: curcaína	10,20
	Alcaloides: jatrofina, jatrolano	10
Semillas	Esteroles: β -sitosterol y su β -D-glucósido	10
	Diterpenos: factores C1-C6(díesteres núcleo tiglano 12-deoxi-16-hidroxiforbol)	9
	Azúcares: dulcitol y sacarosa	10
	Proteínas: esterasa JEA, JEB, lipasa JL, curcina	18

Las semillas han sido objeto del mayor número de estudios para esta especie, contienen entre 30 y 32 % de proteína y de 60 a 66 % de lípidos, lo cual indica su potencial como fuente de energía renovable y ha conllevado al desarrollo de investigaciones que permiten la caracterización química.^{7,22}

Al ser considerada como una planta oleaginosa por su alto contenido de aceite en las semillas, se han empleado diferentes métodos para optimizar los rendimientos de extracción, encontrándose que en el método de *Soxhlet* con hexano el rendimiento es de 49,21 % y por el método de fluidos supercríticos es de 43,51 %.^{8,23} Así mismo, las características fisicoquímicas de este aceite como viscosidad, índice de yodo y de saponificación, permiten sugerir su aplicación en la fabricación de biodiesel, barnices, betunes y jabones. La composición mayoritaria de este aceite es de 64 % de triacilglicérols, 12 % de compuestos hidrocarbonados y 9 % de ácidos grasos libres, entre los que se encuentran el oleico, linoleico, palmítico y esteárico.^{1,22,24} A pesar de que este aceite tiene una composición similar a la de muchos aceites comestibles no se ha comercializado por sus efectos tóxicos atribuidos a los ésteres de forbol; estos metabolitos han sido encontrados en diferentes partes de la planta.²⁵

APLICACIONES BIOLÓGICAS

Control de plagas

Jatropha curcas es una especie vegetal promisoría, con utilidad en el control de plagas a partir del uso de principios activos obtenidos de diferentes partes de la planta que pueden controlar de manera eficiente hongos, parásitos y otros organismos que afectan el crecimiento y la producción de cultivos de importancia económica. Reemplazar plaguicidas sintéticos por sustancias vegetales representa una alternativa viable porque son económicos, se descomponen rápidamente y a pesar de ser tóxicos no tienen un efecto residual prolongado; sin embargo, es necesario utilizarlos con la misma precaución que los plaguicidas químicos. Las reacciones de planta a hongo se fundamentan en la presencia de una sustancia antifúngica con un mecanismo de defensa que induce la lignificación de las paredes celulares. Las reacciones planta-insecto han sido las más estudiadas e identifican diferentes metabolitos que actúan como insecticidas, seguido de sustancias vegetales que controlan nematodos y otras que pueden combatir ácaros, babosas y ratas.^{10,26,27}

Saetae y *Worapot*,¹⁴ reportaron que extractos obtenidos de las semillas, las hojas y el aceite de semilla de *J. curcas* tienen propiedades molusquicidas, insecticidas y fungicidas. Extractos de *J. curcas* son capaces de inhibir el crecimiento micelial de *Colletotrichum musae* causante de la enfermedad antracnosis que afecta el cultivo de plátano. Extractos obtenidos de la hoja fueron eficaces en el control del hongo patógeno *Sclerotium* sp., que causa enfermedad en Azolla, helecho que realiza simbiosis con cianobacterias y que es utilizado de forma eficaz para abastecer de nutrientes a los cultivos y mejorar los sustratos.^{14,28}

Jatropha curcas ha mostrado potencial contra larvas de dípteros que representan problemas fitosanitarios. Estudios realizados por *Kovendan*²⁹ mostraron el efecto de diferentes concentraciones de extractos de la planta sobre las larvas de *Culex quinquefasciatus*, vector de filaria; concluyendo el potencial que tienen los extractos de esta especie como control del vector de la filariasis linfática para ser utilizado como un control ecológico ideal frente al insecto. La efectividad como insecticida de plantas Euphorbiaceae también se ha reportado frente a estadios larvarios de *Aedes aegypti*; en este sentido, se demostró que la mayor mortalidad de las larvas se encuentran en el extracto de éter de petróleo. El valor de la CL₅₀ de los extractos de éter de petróleo de *J. curcas*, *P. tithymaloides*, *P. amarus*, *E. hirtay* *E. tirucalli*, contra *A. aegypti* fue de 8,79, 55,26, 90,92, 272,36 y 4,25 ppm, respectivamente. De las relaciones de varias pruebas, los extractos de éter de

petróleo de *J. curcas* y *E. tirucalli* mostraron cierta efectividad; por lo tanto, se concluyó que los extractos de estas especies pueden ser aplicados como un larvicida ideal contra *A. aegypti*. Su utilización además de representar un método de control contra vectores del dengue y la filariasis linfática es un método inocuo con el medio ambiente.³⁰ Georges y otros,³¹ realizaron un estudio donde obtuvieron extractos como el n-hexano, acetato de etilo y extractos de metanol presentes en *J. curcas*; estos extractos mostraron efectividad como insecticida frente a larvas de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y otros mosquitos como *Ochlerotatus triseriatus*, *Helicoverpa zea* y *Heliothis virescens*. Los extractos se probaron a una concentración de 250 mg/mL con la cual se obtuvo 100 % de mortalidad en larvas e insectos adultos.³¹

La harina de semillas de *J. curcas* ha sido evaluada como acaricida en la dieta de conejos infestados por *Hyalomma* para determinar el efecto de este producto sobre el control de garrapatas. En este estudio se utilizó un modelo experimental con conejos para evaluar el rendimiento en la alimentación, el efecto sobre el peso y la reproducción de garrapatas presentes en los conejos. Los investigadores encontraron que el consumo de alimento y la ganancia de peso corporal disminuyó con el aumento en el nivel de harina de semilla de *J. curcas* en la dieta, ellos concluyeron que la harina debe ser usada en un porcentaje inferior a 10 % para el tratamiento de ectoparásitos.³²

Extractos obtenidos de las hojas y de la savia de *J. curcas* han mostrado actividad antibacteriana e insecticida, esto fue evidenciado en un estudio en el que los extractos se evaluaron frente a *Staphylococcus*, *Bacillus* y *Micrococcus*; así como en larvas del mosquito *Anopheles* y huevos de nematodos. La savia extraída tuvo acción germicida e inhibió el crecimiento bacteriano; además, exhibió un potente efecto inhibitor sobre el crecimiento normal de las larvas de mosquito; sin embargo, en los huevos de nematodos como *Ascaris lumbricoides* y *Necator americanus* no se observó el mismo efecto; por lo tanto, con este estudio se concluye que los extractos de *J. curcas* serían un excelente y económico desinfectante e insecticida que puede utilizarse como control del vector de la malaria.³³

Biorremediación

Jatropha curcas ha sido utilizada en procesos de fitorremediación de suelos contaminados principalmente por aceites lubricantes usados en los automóviles. La planta ofrece una alternativa de recuperación del suelo rentable y viable con el medio ambiente. Para probar el impacto de *J. curcas* en fitorremediación de suelos se realizó un estudio en suelos contaminados con hidrocarburos, observándose una reducción de estos entre 89 y 96 %; el experimento incluyó además el análisis de la rizosfera, lo cual permitió establecer que el mecanismo de degradación del aceite fue a través de rizo-degradación principalmente; esto se explica por la presencia de diversos microorganismos con actividad metabólica influenciada por la raíz de la planta. En el estudio se concluye que *J. curcas* tiene un gran potencial en la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.³⁴ La capacidad de fitorremediación de *J. curcas* frente a metales pesados ha sido probada mediante la utilización de plantas cultivadas en tierra fértil de jardín, en presencia y ausencia de sustancias químicas quelantes como ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Esta sustancia mejoró la absorción de los 5 elementos (Fe, Al, Cr, Cu y Mn) evaluados; el efecto de la acumulación de metales indica que el EDTA a 0,3 g/kg fue más pronunciado que el EDTA a 0,1 g/kg; mejorando la absorción en 117 % en la raíz, 62 % en el vástago y 86 % en las hojas. Estos resultados sugieren que *J. curcas* tiene un potencial para degradar metales pesados sin atenuar el crecimiento de las plantas.³⁵

UTILIDAD MEDICINAL

La medicina tradicional sigue ofreciendo cobertura de salud para más de 80 % de la población mundial, especialmente en los países en desarrollo.³⁶ En África, la utilización de productos naturales para curar diferentes enfermedades es la opción principal de la población. De igual forma, los curanderos tradicionales han sido los proveedores de la atención primaria en salud.³⁷⁻³⁹

En el distrito de Bukoba en Tanzania, la mayoría de la población del distrito es pobre y no puede comprar medicamentos convencionales por el costo y porque en muchos centros de salud no disponen de los fármacos.⁴⁰ Esto ha propiciado en la población local la utilización de medicinas tradicionales de plantas que son fácilmente disponibles, más asequibles, menos tóxicas, y tienen una amplia aceptación en todo el mundo.³⁶ Diversos estudios se han enfocado en encontrar nuevos compuestos antimicrobianos de diferentes fuentes naturales como microorganismos, animales y plantas.⁴¹ Las plantas que se utilizan tradicionalmente en el tratamiento de infecciones bacterianas y fúngicas son una buena fuente de antibióticos seguros y biodegradables, que ofrecen un potencial farmacológico contra microorganismos patógenos.^{39,42}

Extractos obtenidos de la semilla, las hojas, la corteza y el aceite de *J. curcas* han mostrado acción eficaz como purgante natural.^{10,43} La actividad antiinflamatoria y la utilización como tratamiento del reumatismo ha sido evidenciado mediante la utilización de las hojas de la planta sobre la región afectada. Los tallos de *J. curcas* se han utilizado para elaborar cepillos de dientes con el fin de fortalecer las encías, reducir y evitar la presencia de abscesos.⁴⁴ La raíz se ha utilizado para el tratamiento de la neumonía, la sífilis y como abortivo, purgante y desinflamatorio local.^{10,45} Las semillas son la base de muchos medicamentos que se utilizan para la ascitis, la gota y enfermedades de la piel. El látex se ha utilizado para promover la curación de heridas, úlceras y como astringente en cortes y contusiones.^{13,20,46}

La utilización de la planta en medicina tradicional y el uso veterinario se ha reportado en India, África y América Latina. En Egipto se utilizan las semillas para artritis, gota e ictericia. En Malí, Nigeria, Camerún, Camboya, Filipinas y Malasia las hojas se han utilizado para la malaria, la ictericia, el reumatismo, la diarrea y como purgante y cicatrizante respectivamente. Las mujeres en Sudán emplean los frutos y las semillas como abortivos y anticonceptivos. En México el látex ha mostrado actividad contra infecciones causadas por bacterias, hongos, picaduras de abejas y avispas.^{10,18,20,24}

En *J. curcas* se han identificado metabolitos con actividad antirretroviral; entre los compuestos más interesantes está la prostatina, un éster de forbol no tumorigénico. Este metabolito ha demostrado tener 2 actividades; en primer lugar, actúa como inhibidor de la replicación del virus de inmunodeficiencia humana (VIH) internalizando los receptores que este utiliza para entrar en la célula hospedadora y en segundo lugar, activando la transcripción que promueve el paso de latencia a la reactivación. Estas 2 actividades hacen de la prostatina un candidato a agente reactivador con la finalidad de eliminar los reservorios celulares del virus.⁴⁷⁻⁴⁹

La actividad antiinflamatoria de *J. curcas* también ha sido evaluada en ratones albinos y ratas, para esto se utilizaron extractos de la raíz de la planta, obtenidos por éter y etanol, para controlar la inflamación en el oído de los animales. La actividad antiinflamatoria fue evaluada midiendo el volumen del exudado, la reducción morfológica del tejido granular y la migración de los leucocitos.⁴⁵ *J. curcas* también ha evidenciado actividad cicatrizante, investigadores peruanos emplearon extractos de la planta, como agentes para la recuperación de tejidos

asociados con heridas superficiales e internas (úlceras gástricas). Los resultados de la evaluación de la actividad cicatrizante mostraron eficacia en el proceso de cicatrización que fue atribuida a diversas plantas de la Amazonía, entre ellas *Jatropha curcas*.²⁰

El látex de esta especie ha mostrado actividad coagulante y anticoagulante; para determinar esta actividad se diseñó un experimento para registrar el tiempo en la formación del coagulo en muestras con látex y en muestras control. En este mismo estudio se evaluó la actividad anticoagulante en plasma mediante el tiempo de protrombina (PT) y el tiempo de tromboplastina parcial activada (APTT). Los resultados mostraron que el látex de *J. curcas* presenta efecto coagulante y anticoagulante.⁴⁶

TOXICIDAD

Si es bien conocido de la amplia utilización de las plantas en medicina tradicional, no todas son seguras por la toxicidad que algunas presentan; sin embargo, son un grupo muy abundante dentro del reino vegetal y su efecto tóxico ha sido poco estudiado. Se conoce que la toxicidad aumenta en relación con la concentración, el tipo de principio activo, el tiempo de uso y el lugar geográfico de donde se extrae. Igualmente, pueden causar diferentes riesgos que van desde enfermar, herir o dar muerte a los seres vivos. Teniendo en cuenta el amplio conocimiento que se ha generado a través de los usos etnobotánicos, es importante realizar estudios sistemáticos y controlados para conocer el grado de toxicidad y la influencia de esta en las aplicaciones farmacológicas en los seres vivos. Además, propiciar el aislamiento de principios activos tóxicos para patógenos e inoocuos para el ambiente permitiría generar productos contra plagas y vectores de agentes patógenos que beneficien la producción agrícola, la salud humana y veterinaria.

El efecto tóxico de *J. curcas* ha sido reportado para la mayoría de las estructuras de la planta, la semilla es la parte más estudiada en los seres vivos, desde microorganismos hasta animales multicelulares.^{6,50} La mayoría de los ensayos donde se ha evaluado el efecto tóxico de las semillas en animales han mostrado síntomas clínicos comunes como dolor abdominal, diarrea, hemorragia, pérdida de apetito, disnea, desequilibrio nervioso y ojos hundidos. Adicionalmente, los hallazgos histopatológicos reportan inflamación gastrointestinal, necrosis del hígado, corazón y riñones.^{10,43,51} Los ensayos de toxicidad también han permitido evaluar la letalidad de esta parte de la planta; se ha encontrado que en ratas alimentadas con semillas crudas la muerte se produce de 2 a 3 d, cuando se emplea harina de semilla desengrasada la muerte ocurre al cabo de 6 a 8 d y si se alimentan con semillas asadas o cocidas se prolonga entre 14 y 16 d.

Los estudios de toxicidad han permitido identificar que las diferencias en el efecto tóxico radican en la dosis, en el modo de administración y en el animal que se utilice en el ensayo biológico.⁶ Estos parámetros se deben tener en cuenta porque proporcionan una aproximación sobre las condiciones de inocuidad de la sustancia a utilizar de manera segura. Por consiguiente, con relación a la dosis se ha reportado que cuando en las cabras se suministra por vía oral una concentración diaria de 1 g/kg la muerte ocurre entre los días 7 y 11, si la dosis se disminuye a 0,25 g/kg, se provoca la muerte entre 18 y 21 d.⁴³ El modo de administración también puede provocar diferencias en el efecto tóxico de la sustancia que se evalúa; en forma general, se observa que la administración oral ocasiona la muerte en la mayoría de los animales, mientras que si se utiliza como tópico se genera una alteración local que puede ir desde un eritema hasta una lesión necrótica.⁶ El tipo de animal

también influye en la evaluación toxicológica de una sustancia, se han observado diferencias considerables en las concentraciones mínimas letales en animales como ovejas, cabras y terneros con valores de 7,4 g/kg, 1,5 g/kg y 3,0 g/kg, respectivamente.¹⁰

Este efecto también ha sido observado en los humanos, en 1854, en Birmingham, más de 30 niños se intoxicaron con semillas de *J. curcas*. Estos efectos tóxicos, atribuidos a la presencia de factores antinutricionales (saponinas, fitatos, inhibidores de tripsina, glucosinolatos, inhibidores de amilasa, glicósidos cianogénicos, curcina, curcaina y los ésteres de forbol), han llevado a la búsqueda de antidotos como *Bixa orellana* y *Peltrophorum africanum* para contrarrestar las intoxicaciones en la población de México y del sur de África.^{7,10,22,51,52}

Con el interés de conocer a qué factor antinutricional se deben los mayores efectos tóxicos, se han desarrollado varias investigaciones con algunos de ellos. Por ejemplo, la curcina presenta una toxicidad oral aguda de DL₅₀ 104,737 mg/kg y un efecto aglutinante de los eritrocitos en conejos cuando se emplea una concentración de 7,8 mg/L de esta sustancia; el efecto tóxico está asociado con su participación en la inhibición de proteínas *in vitro*.^{10,50} Sin embargo este compuesto se encuentra en muchos alimentos como granos (trigo y cebada) y vegetales (remolacha, espinaca y espárrago), por lo que su presencia en las semillas no es una barrera para el aprovechamiento de esta parte de la planta.⁴

Con relación a la toxicidad de la curcaina en ratones se determinó que es tóxico cuando es administrado vía oral, con un valor de DL₅₀ 960 mg/kg. Adicionalmente, de acuerdo con estudios histopatológicos en ratones este compuesto tiene propiedades curativas superiores que las pomadas comerciales de nitrofurazona o propamidina isotionato, empleadas para el tratamiento de enfermedades infecciosas de la piel.¹⁰

Por otro lado, los diésteres de forbol son moléculas anfipáticas que presentan una DL₅₀ 27,34 mg/kg, teniendo en cuenta su toxicidad es probable que tengan relación con el gran número de actividades que presentan (inflamatoria, molusquicida, entre otras). Estos compuestos además provocan hemorragia gastrointestinal y cambios microscópicos en riñones, pulmones, corazón, hígado y bazo.²⁵ Adicionalmente, se reporta para este grupo de sustancias su participación en la proliferación celular, activación de plaquetas en la sangre, mitogénesis de linfocitos, eritema de la piel, producción de prostaglandinas y estimulación de la degranulación de los neutrófilos.¹⁵ Así mismo, se ha determinado su participación en la transducción de señales al ser considerados análogos de diacil glicerol (DAG) y co-cancerígenos al ser activadores de la proteína quinasa C, lo cual significa que este tipo de sustancias no inducen la formación de tumores, sino que promueven su crecimiento y aumentan el riesgo de aparición, cuando se expone de manera simultánea a un cancerígeno químico.^{4,6,9,10, 43,46,53,54}

Teniendo en cuenta los valores de toxicidad que presentan los 3 factores antinutricionales y sus efectos en la salud, se han considerado los ésteres de forbol como los responsables de la toxicidad en *J. curcas*.

Para disminuir la toxicidad de *J. curcas* se han realizado diversos métodos de desintoxicación, como tratamiento térmico, extracción con solventes, extracción con radiación ionizante, entre otros.^{4,22} El tratamiento térmico no es considerado como un método eficaz para disminuir la concentración de factores antinutricionales, por lo que se ha optado por la combinación de temperatura con bases fuertes, obteniéndose así una disminución de 86 % de este tipo de compuestos.²² Adicionalmente este proceso mejora las propiedades organolépticas

del alimento, incrementando la alimentación, reduciendo la pérdida de masa corporal y retrasando la mortalidad en las ratas.⁵¹ Otro de los métodos evaluados es la extracción con etanol, obteniéndose buenos resultados para eliminar por completo los ésteres de forbol y lectina, mientras que parcialmente el ácido fítico, inhibidor de tripsina y las saponinas.¹⁵ Sin embargo, estos procesos de desintoxicación solo han tenido éxito a escala de laboratorio y no a gran escala, debido a su costo económico; por lo que sigue siendo una necesidad buscar otro método para la eliminación completa de las toxinas, que permita el aprovechamiento de las semillas en la industria o en la medicina humana.^{17,22}

Adicional a los métodos químicos, también ha sido evaluado un método biológico para reducir el efecto tóxico de la planta. En este sentido Joshiet y otros,⁵⁵ realizaron un estudio para probar la eficacia de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* en la degradación de ésteres de forbol, obteniéndose una degradación completa durante la fermentación en estado sólido de semillas desengrasadas de *J. curcas*.

Una opción viable para la utilización de esta planta sin verse afectada por los efectos tóxicos, es la implementación en otros lugares, al encontrarse que especies proveniente de México o América Central no presentan este efecto tóxico. Por ejemplo las semillas de especies procedentes de México son empleadas para alimentar pollos y cerdos e incluso después de ser hervidas o asadas son utilizadas para preparar platos tradicionales de este país. También ha sido reportada la ganancia de peso en ratones alimentados con semillas de esta especie proveniente de Veracruz, México.¹⁰

IMPORTANCIA INDUSTRIAL

Esta especie además de ser útil para la industria farmacéutica presenta un valor económico muy importante, porque es una fuente de biocombustibles y produce otros productos potencialmente útiles.^{2,10,22,23,56,57} Por ejemplo, de su corteza se pueden aislar colorantes y taninos, los cuales se utilizan para teñir de color azul oscuro y tratar el cuero. Sus flores atraen las abejas, por lo que se puede utilizar para la producción de miel; las hojas son empleadas como sustrato alimenticio para los gusanos de seda *Samia cynthiaricini*; y los frutos al ser ricos en carbohidratos son empleados para la producción de bioetanol por fermentación.^{2,10,58,59}

Las semillas constituyen 61 % de los frutos, son una de las partes más utilizadas al obtenerse medicamentos antiinflamatorios e insecticidas y un aceite con múltiples usos: que van desde su utilización en la fabricación de jabón, en la industria de cosméticos hasta su uso como un sustituto del diesel.^{1,2,6,22,52,56} El aceite de esta semilla fue usado en motores en África en la Segunda Guerra Mundial, en Tailandia fue probado en motores con rendimientos satisfactorios y se utiliza en la iluminación de algunas calles cerca de Río de Janeiro.^{22,59}

Este aceite es una alternativa potencial para la obtención de energía renovable de manera rentable, al obtenerse un alto rendimiento que varía entre 43 y 59 %, en dependencia de la variedad de las semillas que se utilice.^{11,19,22} Posterior a la extracción del aceite, se obtiene una torta con alto contenido de proteínas (50-62 %) y de aminoácidos esenciales, que constituye un buen alimento; sin embargo, por la presencia de compuestos altamente tóxicos, se ha impedido su aprovechamiento y se ha restringido su uso con fines nutricionales. Entre los beneficios que se le han dado a esta torta se encuentra su utilidad como fertilizante, también de materia prima para producir adhesivos, revestimientos, surfactantes y biogás;⁵⁷ convirtiéndose en una alternativa en el sector industrial y en el abastecimiento energético.^{8,22,60}

Estudios de evaluación económica han mostrado que la producción de biodiesel de *Jatropha* es rentable, si se comercializan los subproductos obtenidos de la producción.²² Por ejemplo, el glicerol obtenido durante el proceso de producción de biodiesel puede servir como un insecticida contra las garrapatas del ganado.⁵⁷ Por sus diversas aplicaciones esta especie vegetal ha sido reconocida por diferentes gobiernos, organizaciones internacionales y organizaciones no gubernamentales para promover la siembra y el uso de esta planta oleaginosa, con 2 objetivos principales: el desarrollo económico y sostenible del medio ambiente y el desarrollo rural en cuanto se refiere a la obtención de nuevas alternativas de energía.^{2,17} Esta situación ha conllevado al incremento en el número de hectáreas sembradas (alrededor de 900 000) en todo el mundo, centrándose 85 % de estos cultivos en Asia. Se estima que para 2015 la cantidad de área cultivada con esta especie será de 13 millones de hectáreas según lo indica la WWF (*World Wide Fund for Nature*).²³ Así mismo, se han centrado numerosas investigaciones en mejorar los rendimientos de extracción para la producción de biodiesel mediante la evaluación de diferentes métodos entre no catalíticos y catalíticos (medio ácido, básico o enzimas tipo lipasas).^{17,57}

CONCLUSIONES

La producción de *J. curcas* representa un valor agregado importante en la economía de diversos países especialmente los que están en vía de desarrollo; teniendo en cuenta que su cultivo permite la producción de energía, la regeneración de suelos, y la obtención de productos comercializables en el área farmacéutica, alimenticia o agrícola, *J. curcas* se presenta como una planta promisoriosa y sobre la cual se deben propiciar investigaciones que permitan validar el conocimiento etnobotánico y consolidar el saber científico que sobre esta se tiene.

Al incentivar el cultivo de la planta se realiza un aporte a nivel bioenergético que puede potenciar la productividad laboral y en el área rural se potenciaría la diversificación de las actividades económicas a través de servicios de energía que permitan la preparación de alimentos, la calefacción y la energía necesaria para generar electricidad en la industria y el transporte. Teniendo en cuenta el rango de actividades que presentan algunas partes de la planta y sus metabolitos,⁶¹ es importante establecer estrategias para minimizar los efectos tóxicos y en todos los casos se hace necesario determinar la toxicidad con la finalidad de optimizar y aprovechar las propiedades biológicas, medicinales e industriales de *Jatropha curcas*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oliveira J, Leite P, Souza L, Mello V, Silva E, Rubim J, et al. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and application for biodiesel production. *Biomass Bioenergy*. 2009;33(3):449-53.
2. Openshaw K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass Bioenergy*. 2000;19(1):1-15.
3. Joon J, Damayani K, Ta W, Taufiq H. Biodiesel production from *Jatropha* oil by catalytic and non-catalytic approaches: An overview. *Bioresource Technol*. 2011;102(2):452-60.

4. King A, He W, Cuevas J, Freudenberger M, Ramiaramanana D, Graham I. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. J Experimental Botany. 2009;60:(10):2897-905.
5. Misra P, Toppo D, Gupta N, Chakrabarty D, Tuli R. Effect of antioxidants and associate changes in antioxidant enzymes in controlling browning and necrosis of proliferating shoots of elite *Jatropha curcas* L. Biomass Bioenergy. 2010;34(12):1861-9.
6. Yan C, Rakshit L, Devappa K, Xin J, Min J, Makkar H, et al. Toxicity of *Jatropha curcas* phorbol esters in mice. Food Chemical Toxicol. 2010;48(2):620-5.
7. Martinez J, Siddhuraju P, Francis G, Davila G, Becker K. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. Food Chemistry. 2006;96(1):80-9.
8. Heng W, Hung C, Ming C, Ho Y, Hsiang D. Supercritical carbon dioxide extraction of triglycerides from *Jatropha curcas* L. seeds. J Supercritical Fluid. 2009;51(2):174-80.
9. Haas W, Sterk H, Mittelbach M. Novel 12-Deoxy-16-hydroxyphorbol diesters Isolated from the seed oil of *Jatropha curcas*. J Nat Prod. 2002;65(10):1434-40.
10. Gubitza G, Mittelbach M, Trabi M, Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. Bioresource Technol. 1999;67(1):37-42.
11. Aderibigbe A, Johnson C, Makkar H, Becker K, Foidl N. Chemical composition and effect of heat on organic matter and nitrogen degradability and some antinutritional components of *Jatropha* meal. Animal Feed Science Technol. 1997;67(2-3):223-43
12. Aiyelaagbe O, Adesogan K, Ekundayo O, Gloer J. Antibacterial diterpenoids from *Jatropha podagrica* Hook. Phytochemistry. 2007;68(19):2420-5.
13. Thomas R, Sah NK, Sharma PB. Therapeutic biology of *Jatropha curcas*: a mini review. Curr Pharm Biotechnol. 2008;9(4):315-24.
14. Saetae D, Worapot S. Antifungal activities of ethanolic extract from *Jatropha curcas* seed cake. J Microbiol Biotechnol. 2010;20(2),319-24.
15. Saetae D, Worapot S. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. International. J Molecular Sciences. 2011;12(1):66-77.
16. Murillo J. La Euphorbiaceae de Colombia. Biota Colombiana. 2004;5(2):183-99.
17. Parawira W. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. Scientific Research Essays. 2010;5(1):1796-808.
18. Staubmann R, Schubert M, Hiermann A, Kartnig T. A complex of 5-hydroxypyrrrolidin-2-one and pyrimidine-2,4-dione isolated from *Jatropha curcas*. Phytochemistry. 1999;50(2):337-8.

19. Staubmann R, Ncube I, Gubitz G, Steine W, Read J. Esterase and lipase activity in *Jatropha curcas* L. seeds. J Biotechnol. 1999;75(2-3):117-26.
20. Villegas L, Fernández I, Maldonado H, Torres R, Zabaleta A, Vaisberg A, Hammond G. Evaluation of the wound-healing activity of selected traditional medicinal plants from Peru. J Ethnopharmacol. 1997;55(3):193-200.
21. Ravindranath N, Ravinder M, Mahende G, Ramu R, Ravi K. Deoxypreussomerins from *Jatropha curcas*: are they also plant metabolites? Phytochemistry. 2004;65(16):2387-90.
22. Kumar A, Sharma S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. Industrial Crops Products. 2008;28(1):1-10.
23. Salinas N. Estudio de la variabilidad genética de tres poblaciones de piñón (*Jatropha curcas* L.) en la provincia de Manabí mediante la utilización de marcadores moleculares issr's [Tesis]. Escuela Politécnico del Ejército; 2010.
24. Akintayo E. Characteristics and composition of *Parkia globbosa* and *Jatropha curcas* oils and cakes. Bioresource Technol. 2004;92(3):307-10.
25. Rakshit K, Harinder P, Klaus B. *Jatropha* diterpenes: a Review. J Am Oil Chem Soc. 2011;88(3):301-22.
26. Liu S, Sporer M, Wink J, Jourdan R, Henning Y, Ruppel A. Anthraquinones in *Rheum palmatum* and *Rumex dentatus* (Polygonaceae), and phorbol esters in *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) with molluscicidal activity against the schistosome vector snails *Oncomelania*, *Biomphalaria* and *Bulinus*. Trop Med Int Health. 1997;2(2):179-88.
27. Rug M, Ruppel A. Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. Trop Med Int Health. 2000;5(6):423-30.
28. Castro R, Rodríguez M, Álvarez G, Novo R, Castro R, Díaz S. Efecto del uso de azolla en los rendimientos de cultivos en condiciones de organopónicos. Cultivos Tropicales. 2006;27(1):5-9.
29. Kovendan K, Murugan K, Vincent S, Kamalakannan S. Larvicidal efficacy of *Jatropha curcas* and bacterial insecticide, *Bacillus thuringiensis*, against lymphatic filarial vector, *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). Parasitol Res. 2011;109(5):1251-7.
30. Rahuman A, Gopalakrishnan G, Venkatesan P, Geetha K. Larvicidal activity of some Euphorbiaceae plant extracts against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). Parasitol Res. 2008;102(5):867-73.
31. Georges K, Jayaprakasam B, Dalavoy S, Nair M. Pest-managing activities of plant extracts and anthraquinones from *Cassia nigricans* from Burkina Faso. Bioresour Technol. 2008;99(6):2037-45.
32. Abdel-Shafy S, Nasr SM, Abdel-Rahman HH, Habeeb SM. Effect of various levels of dietary *Jatropha curcas* seed meal on rabbits infested by the adult ticks of *Hyalomma marginatum* I. Animal performance, anti-tick feeding and haemogram. Trop Anim Health Prod. 2011;43(2):347-57.

33. Fagbenro-Beyioku A, Oyibo W, Anuforom B. Disinfectant/antiparasitic activities of *Jatropha curcas*. East Afr Med J. 1998;75(9):508-11.
34. Agamuthu P, Abioye O, Aziz A. Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. J Hazard Mater. 2010;179(1-3):891-4.
35. Jamil S, Abhilash P, Singh N, Sharma P. *Jatropha curcas*: a potential crop for phytoremediation of coal fly ash. J Hazard Mater. 2009;172(1):269-75.
36. WHO. Traditional Medicine: Growing Needs and Potential. WHO Policy Perspectives on Medicines. Geneva: World Health Organization;2002. p. 1-6.
37. Scheinman D. The ancient and modern worlds unite to fight HIV/AIDS in Tanga. Science in Africa. Tanzania: Merck;2002 [on-line magazine]. Available in: <http://www.sciencein africa.co.za/2002/september/tanga.htm>
38. Kala C, Farooquee N, Dhar U. Prioritization of medicinal plants on the basis of available knowledge, existing practices and use value status in Uttaranchal, India. J Biodiver Conserv. 2004;13(2):453-69.
39. Moshi M, Mbwambo Z, Nondo R, Masimba P, Kamuhabwa A, Kapingu M, et al. Evaluation of ethnomedical claims and Brine shrimp toxicity of some plants used in Tanzania as traditional medicines. Afri J Trad CAM. 2006;3(3):48-58.
40. Kisangau D, Hosea K, Joseph H, Lyaruu C. *In vitro* antimicrobial assay of plants used in traditional medicine in Bukoba rural district, Tanzania. Afr J Trad CAM. 2007;4(4):510-23.
41. Janovka D, Kubikova K, Kokoska L. Screening for antimicrobial activity of some medicinal plant species of traditional Chinese medicine. Czech J Food Sci. 2003;21(3):107-10.
42. Runyoro D, Matee M, Ngassapa O, Joseph C, Mbwambo Z. Screening of Tanzanian medicinal plants for anti-Candida activity. BMC Complement Altern Med. 2006;6:11.
43. Abdel W, Onsa T, Ali W, Badwi S, Adam S. Comparative toxicity of *Croton macrostachys*, *Jatropha curcas* and *Piper abyssinica* seeds in Nubian goats. Small Ruminant Research. 2003;48(1):61-7.
44. Upadhyya B, Parvenn, Dhaker A, Kumar A. Ethnomedicinal and ethnopharmacological studies of Eastern Rajasthan, India. J Ethnopharmacol. 2010;129(1):64-86.
45. Mujumdar A, Misar A. Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* roots in mice and rats. J Ethnopharmacol. 2004;90(1):11-5.
46. Osoyini O, Onajobi F. Coagulant and anticoagulant activities in *Jatropha curcas* latex. J Ethnopharmacol. 2003;89(1):101-5.

47. Matsuse I, Lim Y, Hattori M, Correa M, Gupta M. A search for anti-viral properties in Panamanian medicinal plants. The effects on HIV and its essential enzymes. *J Ethnopharmacol.* 1999;64(1):15-22.
48. Balunas M, Kinghorn A. Drug discovery from medicinal plants. *Life Sci.* 2005;78(5):431-41.
49. Márquez N, Calzado MA, Sánchez-Duffhues G, Pérez M, Minassi A, Pagani A, et al. Differential effects of phorbol-13-monoesters on human immunodeficiency virus reactivation. *Biochemical Pharmacol.* 2008;75(6):1370-80.
50. Lin J, Zhou X, Wang J, Jiang P, Tang K. Purification and characterization of curcin, a toxic lectin from the seed of *Jatropha curcas*. *Preparative Biochemistry Biotechnol.* 2010;40(2):107-18.
51. Rakshit K, Darukeshwara J, Rathina K, Narasimhamurthy K, Saibaba P, Bhagya S. Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. *Food Chemical Toxicol.* 2008;46(12):3621-5.
52. Hamarneh A, Heeres H, Broekhuis A, Picchioni F. Extraction of *Jatropha curcas* proteins and application in polyketone-based wood adhesives. *International J Adhesion Adhesive.* 2010;30(7):615-25.
53. Acda M. Toxicity, tunneling and feeding behavior of the termite, *Coptotermes vastator*, in sand treated with oil of the physic nut, *Jatropha curcas*. *J Insect Science.* 2009;9:1-8.
54. Berg A, Horsten S, Kettenes J, Kroes B, Beukelman C, Leeftang B, et al. Curcacycline A novel cyclic octapeptide isolated from the latex of *Jatropha curcas* L. *FEBS Letters.* 1995;358(3):215-8.
55. Joshi C, Mathur P, Khare S. Degradation of phorbol esters by *Pseudomonas aeruginosa* PseA during solid-state fermentation of deoiled *Jatropha curcas* seed cake. *Bioresour Technol.* 2011;102(7):4815-9.
56. Manurung M, Wever D, Wildschu J, Venderbosch R, Hidayat H, Dam J, et al. Valorisation of *Jatropha curcas* L. plant parts: Nut Shell conversion to fast pyrolysis oil. *Food Bioproducts Processing.* 2009;87(3):187-96.
57. Debnath M, Bisen P. *Jatropha curcas* L., A multipurpose stress resistant plant with a potential for ethnomedicine and renewable energy. *Current Pharmaceutical Biotechnol.* 2008;9(4):288-306.
58. Karaj S, Müller J. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. *Industrial Crops Products.* 2010;32(2):129-38.
59. Cordero J, Boshier D, Barrance A. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Bib Orton IICA/CATIE. 2003;2:621-4.

60. Lestari D, Mulder W, Sanders J. *Jatropha* seed protein functional properties for technical applications. *Biochemical Engineering J.* 2011;53(3):297-304.

61. Sabandar C. Review. Secondary Metabolite Compounds from *Jatropha* species. Carlasabandar's Blog. 2010 Available in:
<http://carlasabandar.wordpress.com/2010/06/29/secondary-metabolite-compounds-from-jatropha-species/>

Recibido: 18 de agosto de 2011.

Aprobado: 24 de enero de 2012.

Ludy C. Pabón. Grupo de investigación Biopnori-Farm (Biodiversidad y Productos Naturales de la Orinoquia). Grupo de Investigación Biomigen (Biología Molecular e Inmunogenética). Departamento de Ciencias Básicas. Universidad de La Salle. Carrera. 2 No. 10- 70 piso 5, Bloque A. Fax:57-(1)-2829959. Teléf.: 57-(1)-3535360 ext. 2500. Bogotá, Colombia. Correos electrónicos: lupabon@unisalle.edu.co; phernandez@unisalle.edu.co