

ESTADO DEL ARTE EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE JATROPHA NO TÓXICA

STATE OF ART ON SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR PRODUCTION AND PROCESSING OF NON-TOXIC JATROPHA

Felipe de Jesús Osuna Canizalez, Christopher J. Atkinson, Jorge Miguel Paulino Vázquez Alvarado, Edwin Javier Barrios Gómez, Marianguadalupe Hernández Arenas, Sandra Eloísa Rangel Estrada y Efraín Cruz Cruz



**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Lic. JOSÉ EDUARDO CALZADA ROVIROSA
Secretario

C.P. JORGE ARMANDO NARVÁEZ NARVÁEZ
Subsecretario de Agricultura

Mtro. HÉCTOR EDUARDO VELASCO MONROY
Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. RICARDO AGUILAR CASTLLO
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

Lic. MARCELO LÓPEZ SÁNCHEZ
Oficial Mayor

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI
Director General

DR. RAUL GERARDO OBANDO RODRÍGUEZ
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. JORGE FAJARDO GUEL
Coordinación de Planeación y Desarrollo

MTRO. EDUARDO FRANCISCO BERTERAME BARQUÍN
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACIFICO SUR

DR. RENÉ CAMACHO CASTRO
Director Regional

DR. JUAN FRANCISCO CASTELLANOS BOLAÑOS
Director de Investigación

DR. MIGUEL ÁNGEL CANO GARCÍA
Director de Planeación y Desarrollo

M.A. JAIME ALFONSO HERNÁNDEZ PIMENTEL
Director de Administración

DR. EFRAÍN CRUZ CRUZ
Director de Coordinación y Vinculación en Morelos



UNIVERSITY
of
GREENWICH | Natural
Resources
Institute



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



30 **inifap**
ANIVERSARIO
Líder en ciencia y tecnología para el campo mexicano

MEMORIA DE SIMPOSIO INTERNACIONAL

ESTADO DEL ARTE EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE JATROPHA NO TÓXICA

*STATE OF ART ON SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR PRODUCTION AND PROCESSING OF
NON-TOXIC JATROPHA*

COMPIADORES

Felipe de Jesús Osuna Canizalez

Christopher J. Atkinson

Jorge Miguel Paulino Vázquez Alvarado

Edwin Javier Barrios Gómez

Marianguadalupe Hernández Arenas

Sandra Eloísa Rangel Estrada

Efraín Cruz Cruz

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO SUR
CAMPO EXPERIMENTAL ZACATEPEC

Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
Progreso No. 5 Col. Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
CP 04010 México, D.F.
Tel. 01 8000882222

ESTADO DEL ARTE EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN Y
PROCESAMIENTO DE JATROPHA NO TÓXICA

*STATE OF ART ON SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR PRODUCTION AND PROCESSING
OF NON-TOXIC JATROPHA*

ISBN 978-607-37-0494-6

Primera Edición 2015

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

La cita correcta de esta publicación es:

Osuna-Canizalez, F.J., C.J. Atkinson, J.M.P. Vázquez-Alvarado, E.J. Barrios-Gómez., M. Hernández-Arenas, S.E. Rangel-Estrada y E. Cruz-Cruz. 2015. Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de jatropha no tóxica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Zacatepec. Publicación Especial No. 60. 100 p.

CONTENIDO

	Página
Ecología y etnobotánica de <i>Jatropha curcas</i> L. no tóxica Ecology and ethnobotany of non-toxic <i>Jatropha curcas</i> L. Odilón Manuel Sánchez-Sánchez, Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez, Diana Estela Sánchez-Herrera	1
Buscando los orígenes de la <i>Jatropha curcas</i> L. no tóxica Searching for the origin of non-toxic <i>Jatropha curcas</i> L. Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez, Odilón Sánchez-Sánchez, Modesto Castillo-Guerrero	12
Producción de semilla de <i>Jatropha curcas</i> L.: elementos clave <i>Jatropha curcas</i> seed production: key elements Leobigildo Córdova-Téllez, José Trinidad Zavala-Hernández, Edgardo Bautista-Ramírez, Ma. del Rosario Martínez-Sánchez y Nancy Yazmín Hernández-Nicolás	19
Marcadores moleculares: herramienta para el mejoramiento genético de <i>Jatropha curcas</i> L. Molecular markers: a tool for the genetic improvement of <i>Jatropha curcas</i> L. Víctor Pecina Quintero, Jose Luis Anaya Lopez, Noé Montes García, Carlos Herrera Corredor	29
Comportamiento agronómico, energético y emisiones de gases de piñón mexicano (<i>Jatropha curcas</i> L.) Agonomic, energetic and gas emission behavior of mexican pine nut (<i>Jatropha curcas</i> L.) José Luis Solís Bonilla, Víctor Pecina Quintero, Ana Laura Reyes Reyes, Biaani Beu Martínez Valencia, Alfredo Zamarripa Colmenero, Lexi Javivi López Ángel, Enrique Riegelhaupt, Guillermo López Guillen y Edwin Javier Barrios Gómez	39
Principales plagas y enfermedades del piñón (<i>Jatropha curcas</i> L.) <i>Jatropha's</i> (<i>Jatropha curcas</i> L.) main pests and diseases Guillermo López-Guillén, Jaime Gómez-Ruiz, Juan Francisco Barrera Gaytán, Misael Martínez Bolaños, Elizabeth de los Ángeles Herrera Parra, Marianguadalupe Hernández Arenas, Ana Laura Reyes Reyes, José Luis Solís Bonilla	47

Calidad fisicoquímica del aceite de <i>Jatropha curcas</i> para la producción de biodiesel	57
Physicochemical quality of <i>Jatropha curcas</i> oil for the production of biodiesel	
Ana Laura Reyes Reyes, José Luis Solís Bonilla, Guillermo López Guillén, Alfredo Zamarripa Colmenero, Arnoldo Wong Villarreal	
Sistema de apoyo a la toma de decisiones para producir <i>Jatropha curcas</i> L. no tóxica en México	65
Decision support system to produce non-toxic <i>Jatropha curcas</i> in Mexico	
Gabriel Díaz Padilla, Ignacio Sánchez Cohen, Guillermo Medina García, Jorge M. P. Vázquez Alvarado, Jesús Soria Ruiz	
Harina de <i>Jatropha</i> para la alimentación animal	74
<i>Jatropha</i> flour for animal feed	
Rafael Jiménez Ocampo, Rigoberto Rosales-Serna, Jorge Alberto Rodríguez González, Pablo Alfredo Domínguez Martínez	
Colectas, morfología y etnobotánica de <i>Jatropha curcas</i> L. no tóxica, en Veracruz, México	83
Collection, morphology and ethnobotany of non-toxic <i>Jatropha curcas</i>, in Veracruz, Mexico	
Eliseo García-Pérez, Iván Zavala del Ángel, Pérez Vázquez Arturo, Octavio Ruiz Rosado, Dolores González Hernández, Rob Verpoort	
Las experiencias mexicanas con plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> L.	92
Mexican experience with <i>Jatropha curcas</i> L. plantations	
Ofelia Andrea Valdés Rodríguez, Arturo Pérez Vázquez, Odilón Sánchez Sánchez	

ECOLOGÍA Y ETNOBOTÁNICA DE *Jatropha curcas* L. NO TÓXICA

ECOLOGY AND ETHNOBOTANY OF NON-TOXIC *Jatropha curcas* L.

Odilón Manuel Sánchez-Sánchez^{1*}, Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez², Diana Estela Sánchez-Herrera¹

¹Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana, Ex Hacienda Lucas Martí, Privada Araucadias S/N. Municipio de Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91019. Tel. 52 228 810 8263 (odsanchez@uv.mx; prosatirik2@gmail.com). ²Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto No. 26. Municipio de Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91000. Tel. 01 228 841 5100 (valdesandrea@hotmail.com). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

Por sus características, *Jatropha curcas* L. se ha considerado a nivel mundial como una de las principales fuentes de materia prima para la producción de biodiesel. Dada la importancia de esta especie, desde 2006 en el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana (CITRO) se han realizado una serie de investigaciones sobre el estudio integral de *J. curcas* no tóxica. Algunas de ellas tienen como objetivo mejorar la comprensión sobre su distribución y relación con los habitantes del país. En este sentido, el conocimiento existente hasta el momento, sugiere que la forma no tóxica se originó en el estado de Veracruz, específicamente en las regiones de la Alta y Baja Huasteca, Totonaca y Nautla.

En estas regiones, sólo existe *J. curcas* en su forma no tóxica, que es ampliamente conocida por sus habitantes, ya sean nativos o mestizos, quienes la utilizan como comestible, medicinal y cercos vivos. Su uso comestible se conoce desde tiempos prehispánicos y es reconocido principalmente por la cultura totonaca y huasteca. El consumo de las semillas está ligado a las costumbres que tienen que ver con la celebración de algunos eventos sociales y religiosos. A pesar de su utilidad, la planta recibe pocos cuidados de sus propietarios y el mantenimiento es mínimo. El hecho de ser comestible ha significado que haya una forma de recolección del fruto y un tiempo para hacerlo, así como una técnica adecuada para extraer las semillas. El tueste de la semilla es primordial para su consumo, ya sea directamente o como ingrediente de algún platillo regional. El uso comestible de *J. curcas* no tóxica significa también una oportunidad para ampliar sus muchas

ABSTRACT

Due to its characteristics, *Jatropha curcas* L. has been considered worldwide as one of the main sources of raw material for biodiesel production. Given the importance of this species since 2006 in the Tropical Research Center of the *Universidad Veracruzana* (CITRO, known that way for its Spanish acronym) several researchs has been carried out about the integral study of non-toxic *Jatropha curcas*. With the goal to improve our understanding of the distribution and relationship with the habitants of the country. In this sense, current knowledge suggests that the non-toxic form originated in the state of Veracruz, specifically in the regions of Alta and Baja Huasteca, Totonaca and Nautla.

In these regions, there is just non-toxic *Jatropha* which is widely known by its inhabitants, being natives or mestizo who eat it, to heal and in living fences. Its edible use has been known since prehistoric times and it is known mainly by the totonaca and huasteca cultures. The seed's consumption is linked to customs that have to do with the celebration of some religious and social events. Despite its utility, the plant receives little care from its owners and its maintenance is minimum. The fact it is edible has meant that there is a harvesting of the fruit and a certain time to do it, as well as an appropriate technique to extract the seeds. The roasting of the seed is fundamental for its consumption, either directly or as an ingredient for a regional dish. The edible use of non-toxic *J. curcas* also provides an

aplicaciones, en este caso, como un recurso importante en el complemento de la dieta humana y animal. El apoyo de la investigación científica para profundizar en el conocimiento, conservación y uso de esta importante especie en su forma no tóxica, es esencial.

Palabras clave: ecotipos, Huasteca, *Jatropha curcas* L., Totonaca.

INTRODUCCIÓN

Jatropha curcas es considerada en todos los países en los que se encuentra de manera natural y en los que ha sido introducida, como una especie tóxica (Adam, 1974; El Badwi *et al.*, 1995; Liberalino *et al.*, 1988) ya que se han encontrado en sus semillas compuestos conocidos como ésteres de forbol (forbol 12-miristato 13-acetato) (Makkar y Becker, 1997a; 1997b) que tienen un efecto purgante y provocan vómito, cuando se ingieren. Este hecho ha dificultado su uso como planta alimenticia, desaprovechándose el alto contenido de proteína en sus semillas (22-27 %); sin embargo, Cano y Hernández (1984) reportaron que en algunas localidades del estado de Veracruz existen variedades de *J. curcas* que son empleadas en la alimentación humana, lo cual se pudo constatar también en localidades del estado de Quintana Roo (Schmook y Sánchez, 2000). Estos hechos motivaron la realización de una prospección etnobotánica en distintas localidades de los estados de Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Veracruz, con la finalidad identificar los usos que se le han dado y que actualmente se dan a esta especie. Asimismo se llevó a cabo una revisión documental sobre la ecología de la especie, con énfasis en los factores agroecológicos que la favorecen para su crecimiento y desarrollo en nuestro país.

OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN ETNOBOTÁNICA

En cada una de las localidades visitadas, se realizaron entrevistas abiertas con los pobladores

oportunidad for wider application, in this case, as an important resource in the human and animal diet complement. The support of scientific research into the knowledge, conservation and use of this important species, in its non-toxic form, is essential.

Key words: Edible, Huasteca, *Jatropha curcas* L., Totonaca.

INTRODUCTION

Jatropha curcas is considered in all the countries where it is found as a native, and in the ones where it has been introduced, as a toxic species (Adam, 1974; El Badwi *et al.*, 1995; Liberalino *et al.*, 1998) since compounds known as phorbol esters have been found within their seeds (phorbol 12-myristate 13-acetate) (Makkar and Becker, 1997a; 1997b). These have a purgative effect and they cause vomiting when eaten. This fact has made difficult to use as an edible plant, despite the high protein content at its seeds (22-27 %); however, Cano and Hernandez (1984) reported that in some locations in the state of Veracruz, there are varieties of *J. curcas* that are used in human feed which is also true in localities of the state of Quintana Roo (Schmook and Sánchez, 2000). These facts motivated the execution of an ethnobotanical research in different places of the states of Yucatán, Campeche, Quintana Roo and Veracruz with the aim of identifying the current and past uses of this plant. Likewise a review carried out of the ecology of this species, with emphasis on the agro-ecological factors that favours its growth and development in our country.

ETHNOBOTANICAL DATA

In each of the visited localities, open interviews were carried with families to get information about its uses. Criteria to select the people to be interviewed was age, trying to get information from the old people, although young people was also considered to take a look on continuity of the

para obtener información sobre los usos que le dan a la especie. La elección de las personas a entrevistar siguió el criterio de edad, procurando obtener información de las personas mayores, aunque también se realizaron entrevistas en la población joven con la finalidad de evaluar la continuidad del conocimiento sobre los usos de *J. curcas*. Asimismo se recabó información que tiene que ver con los cuidados proporcionados a las plantas, forma y tiempos de cosecha, así como tratamientos proporcionados a las semillas para su uso y almacenamiento. En total se llevaron a cabo 172 entrevistas: Veracruz (72); Campeche (33); Quintana Roo (31) y Yucatán (36).

USOS REPORTADOS

De acuerdo con los resultados de la prospección etnobotánica realizada para el total de las localidades visitadas en los cuatro Estados se puede decir que *J. curcas* es una especie ampliamente conocida por los pobladores de las comunidades rurales, sean estos pertenecientes a alguna etnia o bien mestizos. En el Cuadro 1 se puede apreciar que los principales usos dados a la planta son el comestible, medicinal y como cerco vivo. En todas las localidades el nombre común más referido es el de piñón o piñoncillo. Los nombres autóctonos más citados son aixté (ashtë; axte), chuta (xuta) y chote (en lengua totonaca).

También puede observarse que los grupos Totonaco y Huasteco son los que mayores usos reportaron para la especie. Asimismo se puede apreciar, que en los demás Estados donde también fue reportado el uso comestible, los informantes se identificaron como inmigrantes de origen Totonaco procedentes de poblaciones de la zona norte del estado de Veracruz. Los informantes de la etnia Maya, indicaron que sus plantas las obtuvieron de inmigrantes veracruzanos de quienes aprendieron el uso comestible, pero que lo consumen muy ocasionalmente, ya que no es costumbre propia. Los mestizos, que por lo regular son ganaderos, la usan principalmente para delimitar sus potreros como cerco vivo, sin embargo también la reconocen como comestible, aunque de manera ocasional, algunos refieren que el ganado se come las hojas tiernas de la planta pero no acostumbran a dársela como forraje.

knowledge about uses of *J. curcas*. Likewise, information on crop culture was obtained, as well as the treatments given to seeds for growing and storage. A total of 172 interviews were carried out: Veracruz (72); Campeche (33); Quintana Roo (31) and Yucatán (36).

REPORTED USES

According to the results of the ethnobotanical research carried out in the visited localities in four states, it can be said that *J. curcas* is a widely known species by the inhabitants of rural communities, being of one ethnic group or mestizo. In table 1 it can be observed that the main uses of the plant are edible, medicinal and as a living fence. In all the localities the most common name is *piñon* and *piñoncillo*. The most cited indigenous names are: *aixté* (asthé; axte), *chuta* (xuta) and *chote* (in Totonaca language). It was also observed that Totonaco and Huasteco groups reported more uses of this species. Additionally, it can be seen that in the other states where it was also reported used in edible form, the informants were identified as immigrants of Totonaco origin from the northern towns of the state of Veracruz. The informants of Maya ethnic group, indicated that their plants were obtained from immigrants from Veracruz, learning from them their edible use, but is eaten only occasionally, as it is not their own custom. The mestizo, who are generally ranchers, use it mainly to delimit their lands as a living fence, however, they also recognize it as edible, although occasionally, some indicate that the livestock eat the young leaves but they do not give it to them as a fodder.

WAY OF HARVEST AND FRUIT'S BENEFIT

In general, the harvest of the fruits is carried out by hand and it is executed mainly by women. The harvest activity is throughout the whole year, but two times are recognized as important to do this activity, one in spring and the other in the autumn

Cuadro 1. Usos dados a *J. curcas* en los estados de Veracruz, Campeche, Quintana Roo y Yucatán.
Table 1. Given uses of *J. curcas* in the states of Veracruz, Campeche, Quintana Roo and Yucatan.

Estado	Grupo poblacional	Parte usada	Modo de empleo	Nombre común	Otros nombres comunes
Veracruz (51 localidades)	Totonaco (31) Huasteco (20)	Semilla Látex Planta	Tueste. Aplicación directa o en torunda. Por estaca o siembra de semilla.	Aixte (ashtë; axte) Chuta (xuta) Chote Piñón Piñoncillo	Chuahuyohuixtli Cuauyohuatli Scu-lu'ú
Veracruz (21 localidades)	Mestizo (21)	Planta Semilla	Por estaca o siembra de semilla. Tueste.	Piñón Piñoncillo	
Campeche (33 localidades)	Inmigrantes veracruzanos de origen totonaco (31) Mestizo (2)	Semilla Látex Planta	Tueste. Aplicación directa o en torunda. Por estaca o siembra de semilla.	Piñón Piñoncillo	
Quintana Roo (31 localidades)	Inmigrantes veracruzanos de origen totonaco (21) Maya (10)	Semilla Látex Planta	Tueste. Aplicación directa o en torunda. Por estaca o siembra de semilla.	Piñón Piñoncillo Sikil'te	
Yucatán (36 localidades)	Inmigrantes veracruzanos de origen totonaco (24) Maya (12)	Semilla Látex Hojas	Aplicación directa o en torunda. Tueste.	Sikil'te Xkakal-ché	Ni-in

FORMA DE COSECHA Y BENEFICIO DEL FRUTO.

Por lo común la cosecha de los frutos se realiza a mano y es efectuada principalmente por las mujeres. La actividad de cosecha se realiza a lo largo de todo el año, pero se reconocen dos épocas importantes para esta actividad, una en primavera y otra en otoño. El cambio de color del fruto de verde a amarillento es el indicador de cuándo se debe cosechar. Muy pocos reportaron la recogida de frutos del suelo. Una vez cosechados los frutos, las semillas son extraídas de manera manual apretándolo de los polos, después de extraídas se ponen a secar al sol en cartones o en láminas metálicas. Actualmente pocas personas almacena

The colour change of the fruit from green to yellow is the indicator of when to harvest. A few have reported harvest of fruits from the ground. Once the fruits are harvested, the seeds are extracted by hand gripping the fruit poles. After being extracted, the seeds are dried under the sun on cartons or on metallic sheets. Currently, few people store the seeds and when they do so, they take seeds inside paper or plastic bags which they put on a kitchen furniture or near the fireplace, in a manner that the smoke and the heat keep the seed free from pests and diseases and available for preparation on special dates.

las semillas y cuando lo hacen emplean bolsas de papel o plástico, las cuales mantienen sobre algún mueble de sus cocinas o bien sobre el tapanco que tienen sobre el fogón, de esta manera el humo y el calor mantiene a las semillas libres de plagas y disponibles para preparar platillos en fechas especiales.

DESCRIPCIÓN DE LOS USOS

Uso comestible

El uso comestible de los ecotipos no tóxicos se conoce desde la época prehispánica y por lo general está ligado a las costumbres que tienen que ver con la celebración de fiestas populares, algunas de carácter religioso y otras de carácter social. De ahí que de manera tradicional se emplea para la preparación de platillos típicos, como tamales, salsas, pipián (como sustituto de ajonjolí y semilla de calabaza) o acompañado de frijoles. Una práctica común antes de su aprovechamiento como comestible, consiste en el tueste de la semilla, después de lo cual se les elimina la cascara que las cubre y son comidas de manera directa como si fueran cacahuates, o bien lo que es más frecuente, descascaradas y molidas para ser usadas en la elaboración de los platillos antes mencionados. Por lo común, quienes conservan esta tradición son las personas ancianas. Muchos de los jóvenes no poseen conocimientos de los usos que se dan a esta planta, mientras que los ancianos refieren que el conocimiento que tienen sobre ella data desde sus bisabuelos y de generaciones más atrás. Como se mencionó anteriormente, la *J. curcas* que existe en la mayor parte del mundo, se considera una planta venenosa o tóxica, ya que al realizar el análisis químico proximal de sus semillas se reporta que éstas contienen algunos agentes biológicamente activos como son los inhibidores de tripsina, fitatos y saponinas, además de compuestos diterpenoides, conocidos como ésteres de forbol, que son los responsables de causar vómito y diarrea (Makkar y Becker, 1997a; 1997b). De los anteriores compuestos los primeros tres son volátiles y prácticamente desaparecen con el tueste de las semillas; sin embargo, los ésteres de forbol no, de ahí que muy posiblemente mediante el proceso de ensayo y error practicado por las culturas totonaca

DESCRIPTION OF THE USES

Edible use

The edible use of the non-toxic ecotypes is known since prehistoric times and generally is linked to traditions related with celebration of popular parties, some of them of religious nature and some of social nature. Subsequently there are now typical dishes like tamales, sauces, thick chili sauce (as sesame substitute or pumpkin seed) or with beans. A common practice before consumption, consists of seed roasting, after this the peel is removed and are eaten directly as if peanuts, or even more commonly, peeled or ground for use in the above dishes. Generally, the ones who maintain this tradition, are the elderly. A lot of the young people do not have the knowledge of the uses of this plant, while the elderly indicate that the knowledge they have of it dates from their great grand-parents and from previous generations. As said most of *J. curcas* that exist, in almost all the world, was considered a poisonous or toxic plant. From chemical analysis of its seeds, it is reported that they contain biologically active agents like the trypsin inhibitors, phytates and saponines, along with diterpenoid compounds, known as phorbol esters which are responsible of causing vomiting and diarrhea (Makkar and Becker, 1997a; 1997b). Of the aforementioned compounds, the first three are volatile and they practically disappear with the roasting of the seeds. However, the phorbol esters do not, this is why probably through a process of trial and error, practiced by Totonaca and Huasteca cultures, there was a selection that separated the plants whose phorbol ester contents was very low or practically nothing, as it happens with the majority of the strains coming from Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca and Nautla. This non-toxic form has only been recognized as a Mexican native (Makkar and Makkar, 2009). According to Schmook and Sánchez (2000) the toxic strains, able to cause

y huasteca, se dio una selección que fue apartando las plantas cuyo contenido de forbol éster fuera muy bajo o prácticamente nulo, como sucede con la mayoría de las procedencias de las regiones de la Huasteca Alta, Huasteca Baja, la Totonaca y Nautla. Esta forma no tóxica sólo se ha reconocido como originaria de México (Makkar y Makkar, 2009). De acuerdo con Schmook y Sánchez (2000) las procedencias tóxicas capaces de causar envenenamiento pueden contener cantidades de esteres de forbol de 2.17 mg/g, o más; mientras las procedencias no tóxicas, que no representan riesgos al ser consumidas después de tostarse, poseen cantidades muy limitadas de esta sustancia, en el orden de 0.11mg/g, o menos. Para Martínez *et al.* (2010), los contenidos de ésteres de forbol de las semillas consideradas tóxicas varían entre 0.6 - 4 mg/g y se encuentran ausentes o no son detectados en las semillas consideradas como no tóxicas.

Consumo de la planta por animales silvestres y/o domésticos

Sólo en las localidades de la zona norte del estado de Veracruz los frutos y semillas son consumidos por animales. Se reporta que los cotorros consumen los frutos en estadios tiernos, lo que dificulta muchas veces tener buenas cosechas. Por otra parte, las ardillas son las que consumen las semillas de los frutos maduros, teniéndolas también como competidoras para obtener buenas cosechas. Estos dos hechos hacen difícil muchas veces contar con semillas en cantidades importantes. En algunas localidades se reporta que las semillas y hojas tiernas son consumidas por gallinas y guajolotes y en menor medida por los cerdos.

Uso medicinal

También reconocido desde la época prehispánica, el uso medicinal que se da a la planta tiene distintos propósitos. Por lo común el exudado translúcido y de consistencia algo viscosa que emana de la mayor parte de la planta (tronco, ramas y peciolo de las hojas) cuando se hace un corte, es usado

poisoning, may contain quantities of 2.17 mg/g phorbol esters or more; while the non-toxic strains which which represent no risks in consumption after being toasted, have very limited quantities of this substance, around 0.11 mg/g, or less. Martínez *et al.* (2010) showed the phorbol ester contents of toxic seeds to vary from 0.6 to 4 mg/g and they were absent or not detectable in seeds considered non-toxic.

Consumption of the plant by domestic and wild animals

Just in the northern parts of the state of Veracruz, the fruits and seeds are consumed by animals. It is reported that parrots consume the fruits before mature which makes it difficult to have good harvests. On the other hand, squirrels consume the seeds of the mature fruits, acting as competitors in obtaining good harvests. These two facts, make it difficult to have seeds in significant quantities. In some parts it is reported that the tender leaves and the seeds are consumed by chickens and turkeys and to a lesser extent by pigs.

Medicinal use

Also recognized since prehistoric times, is the different medicinal use given to this plant. Generally the viscous and translucent sap coming from almost all the plant (trunk, branches and petiole of the leaves) when cut, is used to heal mouth conditions such as “bad breath”, “oral inflammation” and “canker sore” on the lips. The first two conditions are actually the same (oral candidiasis) suffered generally by breastfeeding babies. In this case, they take a young branch of the plant and they let the sap fall directly in the mouth of the child, the “juice”, or they soak a clean fabric with the sap and that way they clean the mouth. This process is done two or three times, and it is considered as an efficient method. For “heat rash” (common herpes), the sap latex is applied directly on the injury two or three time a day. Makkar and Becker (2009), point out that the sap of *J. curcas* contains curcine among other chemicals, which has anti – tumor activities;

para atender padecimientos bucales como el “mal de boca”, la “pudrición de boca” o “algodoncillo” y los “fuegos” en los labios. Los primeros tres padecimientos, que en realidad son uno (la candidiasis oral) se sufre comúnmente entre los bebés lactantes. En este caso toman una rama joven de la planta y dejan caer directamente en la boca del infante el “jugo”, o bien empapan una tela limpia con el “jugo” y de esta manera le limpian la boca, esta operación la repiten dos o tres veces, y se considera como un remedio eficaz. Para los “fogajes” (herpes simple), se aplica el latex directamente sobre la herida de dos a tres veces al día. Al respecto Makkar y Becker (2009), señalan que la savia de *J. curcas* contiene cursina, que entre otras aplicaciones tiene actividades antitumorales; no obstante, dado que la savia presenta un alto grado de toxicidad, su uso debe ser cuidadoso. Otro uso medicinal tiene que ver con el tratamiento de trastornos digestivos como diarrea y vómitos, en este caso se emplea la corteza del tronco, hervida en agua y se toma como agua de tiempo. También se usa como cicatrizante, empleando la decocción de las hojas y la corteza aplicada en baños corporales para ayudar a cicatrizar heridas en la piel. En todas las localidades visitadas nadie comercializa con estas partes de la planta, y se regala a quien la necesita.

Uso como cerco vivo

Este uso está más difundido entre los pobladores mestizos de la zona, quienes por lo general son ganaderos y requieren de cercar sus propiedades. Su preferencia tiene que ver con la relativa facilidad con que la planta se establece cuando se propaga de manera vegetativa.

CUIDADOS DE LA PLANTA POR SUS PROPIETARIOS

No obstante su gran utilidad, los poseedores de esta planta le brindan muy pocos cuidados y el manejo es mínimo, ya que la reportan como una planta muy resistente que se adapta fácilmente a

however, since the sap has a high toxicity, its use has to be very careful. Another medicinal use has to do with the treatment of digestive disorders such as diarrhea and vomiting, in this case the trunk’s bark is applied boiled in water and it is drunk like water. It is also used in wound healing, using the leaves and the bark in corporal showers to help to heal injuries in the skin. In all the visited localities, people do not sale these parts of the plant and it is given by free to anyone who need it.

Use as a living fence

This use is more diffused among the mestizo inhabitants of the zone, who generally are the ranchers and require demarcation of their properties. The preferential use of *Jatropha* has to do with the relative easy with which the plant is established using vegetative propagation.

CARES OF THE PLANT BY ITS OWNERS

Despite the apparent important uses of this plant, the owners give little attention it few cares and the management is minimal, as it is reported as being very resistant to stress adapts easily in any situation. Occasionally and due to the fact the plant has many branches, which they cut with a machete, damaging the bark and allowing susceptible trees to be infected by hemiparasitic (Loranthaceae and Convolvulaceae) and exposed to pest and diseases. However, they have not observed trees with pests or diseases and very few of them show hemiparasitism. Thus, it is not rare to observe in most of the cases the damaged trees (cut stalks and broken branches) are able to conserve their capacity to produce fruits.

COMMERCIAL VALUE OF THE SEED

From the commercial point of view, in the rural areas, the seeds have low or no value, however more recently some suggest that currently the seed can reach values up to \$100 Mexican pesos per kilogram.

cualquier situación. Eventualmente y debido a que es muy “ramosa” cortan sus ramas con machete, dañando la corteza y dejando al árbol susceptible de ser parasitado por alguna hemiparásita (Loranthaceae y/o Convolvulaceae) y expuesto a padecer ataque por plagas y/o enfermedades. Sin embargo no se han observado árboles con plaga o enfermedad alguna y muy pocos muestran infestación por hemiparásitas. Así, no es raro observar que en la mayoría de los casos los árboles se encuentran maltratados (tallos macheteados y ramas quebradas), aunque aun así conservan su capacidad para producir frutos.

VALOR COMERCIAL DE LA SEMILLA

Desde el punto de vista comercial en el medio rural las semillas tienen escaso o nulo valor, sin embargo y de manera reciente algunos informantes saben que actualmente la semilla de esta planta puede alcanzar valores de hasta \$ 100.00 pesos el kilogramo.

ECOLOGÍA DE LA ESPECIE

En su centro de origen la especie se desarrolla en sitios donde las temperaturas medias anuales superan los 20 °C y llegan hasta los 28 °C. Ecológicamente se encuentra adaptada tanto al trópico seco (precipitaciones de 250-600 mm) como al trópico húmedo (precipitaciones de 1500 - 2500 mm); su rango altitudinal va desde los 0 a los 1500 m. La distribución mundial de la especie muestra que su introducción ha sido más exitosa en las regiones más secas de los trópicos, con lluvias anuales de 300-1000 mm (buenos ejemplos son Cabo Verde y Malí) y en altitudes bajas (0-600 m), en zonas donde las temperaturas medias anuales se encuentran muy por encima de los 20 °C. Sin embargo, puede crecer a mayor altitud, donde es capaz de soportar, aunque por poco tiempo, bajas temperaturas (18 °C) y escarchas ligeras, como ha sucedido en el Cha das Caldeiras, Fogo e Islas de Cabo Verde (aproximadamente 1700 m de altitud) (Kiefer, 1986). Tiene preferencia por los suelos de textura franco arenosa a franco arcillosa, ya que es en éstos donde desarrolla mejor su estructura de raíces, logrando mayor penetración y

ECOLOGY OF THE SPECIES

In its center origin, the species has developed in areas where the year average temperatures are around 20 °C and go up to 28 °C. It is ecologically adapted to the dry tropics (precipitation of 250-600 mm) and the damp tropics (precipitations of 1500-2500 mm); with an altitudinal range from 0 to 1500 m. The global distribution of the species shows that its introduction has been more successful in the driest regions of the tropics, with an annual rainfall of 300-1000 mm (e.g. Cape Verde and Mali) and in low altitudes (0-600 m), in regions where the annual average temperatures are above the 20 °C. However, it may grow at higher altitudes, where it is able to bear for a limited time, low temperatures (18 °C) and light frosts, as happens in Cha das Caldeiras, Fogo and Cape Verde Islands (approximately 1700 m of altitude) (Kiefer, 1986). It has a preference for sandy soils where it develops a root structure with greater penetration and exploration (Valdés *et al.*, 2011a). However, the plant can survive and develop on rocky, sandy or even clayey soils, depending on the site's conditions. It responds well to soil with a pH of 5.5 to 8.0.

ENVIRONMENTAL FACTORS THAT HAVE AN INFLUENCE IN THE GROWTH OF THE PLANT

Considering the Mexican tropics and sub-tropics conditions, in the table 2, the factors, ranks and characteristics of the conditions are listed, under which *J. curcas* can have a better productive response.

CONCLUSIONS

The non-toxic seed of *Jatropha*, provides a potential oil source for human or industrial consumption. The resulting cake, after the oil is extracted, is also an excellent source of protein for humans and livestock (Schmook and Sánchez, 2000; Sánchez, 2009). Makkar *et al.* (1998a; 1998b) report values up to 63.8 % of protein with base on dry matter (fat-free meal) of the

penetración y exploración (Valdés *et al.*, 2011a). No obstante, la planta puede sobrevivir y tener cierto desarrollo en suelos pedregosos, arenosos o incluso arcillosos, dependiendo de las condiciones del sitio. Responde bien a suelos con pH = 5.5 a 8.0.

FACTORES AGROECOLÓGICOS QUE INFLUYEN EN UN MEJOR DESARROLLO DE LA PLANTA

Considerando las condiciones de los trópicos y subtrópicos mexicanos, en el Cuadro 2, se enlistan los factores, rangos y características de las condiciones bajo las cuales *J. curcas* puede tener una mejor respuesta productiva.

CONCLUSIONES

Las semillas no tóxicas del piñón constituyen una fuente potencial de aceite para el consumo humano o industrial. La torta resultante, después de extraído el aceite, es también una excelente fuente de proteína para humanos y para el Ganado (Schmook y Sánchez, 2000; Sánchez 2009). Makkar *et al.* (1998a; 1998b) reportan valores de hasta 63.8 % de proteína con base en materia seca seca (harina desgrasada) de la semilla escarificada de un ecotipo no tóxico de *J. curcas*, procedente de Papantla, Veracruz. La digestibilidad de la proteína aumenta mediante la cocción de la torta, proceso que se emplea comúnmente en las zonas donde se reporta el consumo humano de las semillas de piñón (Schmook y Sánchez, 2000). Asimismo, la existencia de germoplasma no tóxico de *J. curcas*, significa tener un valioso recurso para complementar la demanda alimenticia del país, especialmente en las comunidades de más bajos recursos. Las bondades que presenta en cuanto a su rusticidad, así como el adaptarse a suelos muy pobres y con poca precipitación (Valdés *et al.*, 2013), son características importantes para poder llevar a cabo este propósito. Por otro lado y dada su importancia, la forma no tóxica de *J. curcas* debe ser protegida mediante regulación, para evitar que germoplasma tóxico, procedente de

scarified seed of a non-toxic ecotype of *J. curcas*, from Papantla, Veracruz. The digestibility of the protein increases through the cake roasting, a process which is commonly used in regions where the human consumption of *Jatropha* seeds is reported (Schmook and Sánchez, 2000). Likewise, the existence of non-toxic germplasm of *J. curcas*, provides a valuable resource to complement the food demand of the country, especially in poor communities. The qualities the plant shows regarding its rusticity, as well as its adaptation to poor soils and with low precipitation (Valdés *et al.*, 2013) are important characteristics. On the other hand and given its importance, the non-toxic form of *J. curcas* must be protected by action, to avoid the ingress of non-toxic germplasm from other areas. Such introduction may also cause the loss of knowledge inherited from ancestral cultures, like Totonaca and Huasteca.

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, S. E. I. (1974). Toxic effects of *Jatropha curcas* in mice. *J. Toxic.* 2: 67-76.
- Cano, A.L.M. y A.C. Hernández; 1984. "El piñoncillo, *Jatropha curcas* L. recurso biótico silvestre del trópico". Cuadernos de divulgación No. 14. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos bióticos. Xalapa, Veracruz, México. 16 p.
- El Badwi, S. M. A., Adam, S. E. I., and Hapke, H. J. (1995). Comparative toxicity of *Ricinus communis* y *Jatropha curcas* in brown hissex chicks. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr* 102(2): 75- 77.
- Liberalino, A. A., Bambilra, E. A., Moraes-Santos, T., and Viera, C. E. 1988. *Jatropha curcas* L. seeds chemical analysis and toxicity. *Arq. Biol. Technol.* 31: 539-550.
- Makkar, H. P. S. and Becker, K. (1997 a). *Jatropha curcas* toxicity: Identification of toxic principles in: Garland, T., Barr A.C. (Eds) toxic plants and other natural toxicants. Proceedings 5th International. Symposium on Poisonous Plants. San Angelo, Texas. pp. 554-558.

Cuadro 2. Principales factores a tener en cuenta para el mejor desarrollo de la planta de *J. curcas*.

Table 2. Main factors to consider for growing better *J. curcas*.

Factor	Rango/condición	Característica
Temperatura promedio anual	20-28 °C	Cuando es menor, la planta entra en dormancia; si es mayor existe reducción de fotosíntesis.
Precipitación	300-1000 mm	Si la precipitación es menor, la planta disminuye su desarrollo, y cuando ésta es alta se puede presentar aborto de flores (situaciones aisladas).
Humedad Relativa	50-90 %	Si es mayor, se corre el riesgo de enfermedades por hongos.
Altura sobre el nivel medio del mar	0-1000 m	En alturas más elevadas presenta aborto de flores y poco amarre de frutos, además de daños por heladas entre otros.
Viento	20-30 Km/h	La planta es muy flexible, pero con vientos más fuertes los frutos caen.
Suelo	Tolera suelos de bajo contenido de nutrientes. Textura: media a liviana. Drenaje: bien drenados. pH entre 5.5-8.0. Buena profundidad de preferencia > 45 cm.	Los suelos pesados dificultan la aireación de las raíces (contenido de arcilla > 40%). No tolera inundaciones por periodos mayores a una semana.
Topografía del terreno	Preferentemente plana a ondulada	Aunque presenta alta adaptabilidad a distintas condiciones.

se introduzca en las áreas actuales de distribución, ocasionando entre otras cosas la pérdida del conocimiento heredado de culturas ancestrales, como la totonaca y huasteca.

Makkar, H.P.S. and Becker, K. 1997 b. Potential of *Jatropha* seed meal as a protein supplement to livestock feed and constraints to its utilization. Proceedings of *Jatropha*: International Symposium on biofuel and industrial products from *Jatropha curcas* and other tropical oil seed plants. Managua, Nicaragua. pp. 23-27.

Makkar, H.P.S, Aderibigbe, A.O., and Becker, K. 1998 a. Comparative evaluation of a non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. Food Chem. 62:207-215.

Makkar, H.P.S., Becker, K., and Schmook, B. 1998b). Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. Plant Foods Hum. Nutr. 52(1): 31-36.

Makkar, H. P. S. and Becker, B. 2009. *Jatropha curcas* an exciting crop for generation of biofuel and value-added products. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 11(8):773–787.

Makkar, H. P. S. and Becker, B. 2009. *Jatropha curcas* an Ortiz, G, and Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic

- Martínez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G, Davila-Ortiz, G, and Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* 96(1):80–89.
- Sánchez-Sánchez, O. 2009. El piñón o piñoncillo *Jatropha curcas* L. Una planta muy importante que todos debemos cuidar. En: *La Xuta se come. Kin Chutakan wakan (Gómez-Pompa, et al.).* DIPROCAFE-Universidad Veracruzana. pp. 21-24.
- Schmook, B., and Sánchez, S. O. 2000. Uso y potencial de *Jatropha curcas* L. en la península de Yucatán, México. *Foresta Veracruzana* 2(2):7-11.
- Valdés R., O. A., O. Sánchez S., A. Pérez V. and R. Ruiz B. 2011a. Soil texture effects on the development of *Jatropha* seedlings-Mexican variety piñón manso'. *Biomass Bioen.* 35(8):3529-3536.
- Valdés-Rodriguez, O.A., Sanchez-Sanchez, O., Perez-Vazquez, A., and Caplan, J. 2013. The mexican non-toxic *Jatropha curcas* L., food resource or biofuel. *Ethnobot. Res. Applic.* 1:1-7.

BUSCANDO LOS ORÍGENES DE LA *Jatropha curcas* L. NO TÓXICA

SEARCHING FOR THE ORIGIN OF NON-TOXIC *Jatropha curcas* L.

Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez^{1*}, Odilón Sánchez-Sánchez², Modesto Castillo-Guerrero²

¹Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto No. 26. Municipio de Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91000. Tel. 01 2288415100 (valdesandrea@hotmail.com). ²Centro de Investigaciones Tropicales, UV, Privada Araucadias S/N. Municipio de Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91019. Tel. 01 2288108263 (odsanchez@uv.mx). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

Las semillas no tóxicas de la especie *Jatropha curcas* L. pueden ser un valioso recurso oleaginoso y proteínico, representando una excelente oportunidad de producción para los habitantes de zonas marginales donde la planta podría cultivarse. No obstante su gran importancia y amplio estudio, su ocurrencia y orígenes aún no se han establecido, de ahí que este trabajo tiene como objetivo dar a conocer la estrategia de colaboración interinstitucional que actualmente se lleva a cabo para determinar los posibles orígenes de este germoplasma. Para el efecto se cuenta con semillas tóxicas y no tóxicas de 131 procedencias de *J. curcas* que fueron recolectadas en el sur de México y se encuentran actualmente bajo análisis por tres centros de investigación mexicanos y uno belga. Los estudios comprenden evaluaciones geográficas, etnobotánicas y genéticas. Los resultados preliminares apuntan a que el germoplasma no tóxico podría ser producto de la domesticación llevada a cabo por habitantes de la costa este de México, conocidos como Totonacas, por lo que es muy posible que la mayor riqueza genética se localice en esta zona.

Palabras clave: *Jatropha mexicana*, germoplasma, toxicidad.

INTRODUCCIÓN

El germoplasma mexicano de la especie *Jatropha curcas* L. es reconocido por su mayor diversidad genética, ya que cuando se compara con el de

ABSTRACT

Non-toxic seeds from the species *Jatropha curcas* L. can be a valuable oil and protein resource, and represent an excellent production opportunity for the residents of marginal areas where the plant could be grown. However, broad study of its importance, cause and origin has not been established, which is why the goal of this work is to report the interinstitutional collaboration strategy that is currently taking place in order to determine the possible origin of this germplasm. For this purpose, we have toxic and non-toxic seeds from 131 *J. curcas* provenances that were collected in the South of Mexico and are currently being analyzed by three Mexican research centers and one Belgian center. The studies contain geographic, ethnobotanical and genetic assessments. Preliminary results show that the non-toxic germplasm might be a product of domestication from the residents of the East Coast of Mexico, known as Totonacs, Therefore, it is quite possible that the greatest genetic variety is located in this area.

Key words: Mexican *Jatropha*, germplasm, toxicity.

INTRODUCTION

The Mexican germplasm of the species *Jatropha curcas* L. is known for its large genetic diversity, when compared to other Asian, African and even American countries (Maes *et al.*, 2009). It possesses greater variability in relation to its physical and chemical characteristics, with seeds that have different toxicity levels, among which

países asiáticos, africanos e incluso americanos, de donde la especie es originaria (Maes *et al.*, 2009), éste posee una mayor variabilidad en relación a sus características físicas y químicas, con semillas que poseen diferentes niveles de toxicidad, entre los que destaca el bajo o nulo contenido de ésteres de forbol (Ovando-Medina *et al.*, 2011). Para esta especie, los ésteres de forbol se consideran los componentes más tóxicos ya que no se destruyen con altas temperaturas, mientras que otros antinutrientes que también se encuentran en las semillas suelen desaparecer al tostarlas o cocerlas por arriba de los 100 °C (Martínez-Herrera *et al.*, 2006). Este hecho representa un factor muy importante cuando se consideran fines alimenticios, sobre todo porque se ha encontrado que las semillas mexicanas de *J. curcas* tienen un alto porcentaje de proteína y su aceite es rico en ácido oleico (Makkar *et al.*, 1997), lo que las convierte en oleaginosas de gran valor para complementar dietas humanas y de animales domésticos. A pesar de ello, en México esta característica aún no es explotada, y no existen planes nacionales para incentivar su producción fuera del enfoque de los biocombustibles.

Una de las razones por las que el germoplasma no tóxico ha sido subvalorado se encuentra en el hecho de que su origen es desconocido. Las investigaciones preliminares apuntan a que la no toxicidad de las semillas podría ser producto de la domesticación llevada a cabo por la cultura totonaca (Valdés *et al.*, 2013). Esta afirmación se basa en el hecho de que las procedencias no tóxicas están fuertemente asociadas con la región conocida como El Totonacapan y hasta este momento solo los totonacas o mestizos descendientes de esta cultura son reconocidos por elaborar guisos con semillas de *J. curcas* de forma tradicional (Aguilera, 2004). Ante tal situación, los autores del presente trabajo realizan actualmente estudios para determinar los orígenes del germoplasma no tóxico de la *Jatropha curcas* mexicana; en el presente documento se detallan las estrategias y colaboraciones establecidas para llevar a cabo el proyecto, así como los primeros resultados.

the low or non- existent phorbol ester content stands out (Ovando- Medina *et al.*, 2011). For this species, phorbol esters are considered the most toxic constituents since they are not destroyed by high temperatures, while other antinutrients also found in the seeds usually disappear when roasted or cooked at temperatures above 100 °C (Martínez-Herrera *et al.*, 2006). This fact is very important for consumption purposes, especially because there have been findings of Mexican *J. curcas* seeds that have high protein percentage and whose oil is rich in oleic acid (Makkar *et al.*, 1997), which makes them high value oil products for complementing the human diet and domestic animal feed. Despite all of this, in Mexico, this feature has not been exploited yet, and there are no national plans to incentivise its production outside of the biofuel approach. One of the reasons why the potential of non-toxic germplasm has been underestimated, is the fact that its origin is unknown. Preliminary research shows that non-toxicity of seeds might be a result of the domestication from Totonaca culture (Valdés *et al.*, 2013). This assertion is based on the fact that non-toxic provenances are closely related to the region known as *El Totonacapan* and so far only Totonacs, or mestizos descendant of this culture, are known to traditionally prepare meals with *J. curcas* seeds (Aguilera, 2004). Faced with this situation, the authors of this work are currently carrying out studies to determine the origin of the non-toxic germplasm of Mexican *Jatropha curcas*; the strategies and collaborations established in order to accomplish this project are detailed in this document, as well as the first results.

MATERIALS AND METHODS

Research group assemblage

The execution of this project required the gathering of an interdisciplinary group of researchers, with experts in the field of botany (Dr. Odilón Sánchez Sánchez from the Center for

MATERIALES Y MÉTODOS

Integración del grupo de investigación

La realización de este proyecto implicó conformar un grupo interdisciplinario de investigadores, que comprende expertos en las áreas de botánica (Dr. Odilón Sánchez Sánchez del Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) de la Universidad Veracruzana, Dr. Arturo Pérez Vázquez y Dr. Eliseo García del Colegio de Postgraduados (Colpos)), ecología (Dra. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez del Colegio de Veracruz), y ecología evolutiva (Dr. Katrien Vandepitte, Dr. Olivier Honnay y Dr. Bart Muys, de la Universidad de Leuven en Bélgica).

Con el fin de mantener un historial de todas las actividades realizadas y los documentos intercambiados durante esta investigación y dado que los colaboradores se localizan en instituciones y países diferentes, se estableció un Proyecto en la plataforma de la organización Researchgate (www.researchgate.net), que contaba con un sistema tipo blog donde se podían identificar las diferentes entradas mediante una imagen asociada; posteriormente se enviaban correos de alerta a todos los miembros del proyecto.

Búsqueda del material genético

El material genético que se estudia en esta investigación comprende recolectas de semillas tóxicas y no tóxicas realizadas por tres investigadores en los estados de Campeche, Guerrero, Colima, Chiapas, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Tabasco, Yucatán y Veracruz (Dr. Sánchez, 2007-2008); Veracruz (Dres. Pérez y García, 2010-2012). Este último estado cuenta con la mayor colección por ser el punto de origen de la cultura totonaca y por ser donde se encuentran las principales instituciones participantes. De cada sitio de colecta se obtuvieron datos acerca del origen étnico de los propietarios así como el uso dado tanto a las semillas como a otras partes de la planta de *J. curcas*. Con esta información se planteó identificar caracteres etnobotánicos asociados a las culturas y ubicar las posibles rutas de dispersión del germoplasma.

Tropical Research (CITRO) of the University of Veracruz, Dr. Arturo Pérez Vázquez and Dr. Eliseo García from the Colegio de Postgraduados [*Postgraduate School*] (Colpos)), ecology (Dr. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez from the Colegio de Veracruz [*School of Veracruz*]), and evolutionary ecology (Dr. Katrien Vandepitte, Dr. Olivier Honnay and Dr. Bart Muys, from the University of Leuven in Belgium.)

In order to keep a record of all the performed activities and exchanged documents during this research and considering that collaborators are from different institutions and countries, a Project was set up in the organization's platform, Researchgate (www.researchgate.net), which had a blog type system where the various entries could be identified through an associated image; later, it was used to send email alerts to all project members.

Genetic material search

The genetic material studied in this research contains collections of toxic and non-toxic seeds from three researchers in the states of Campeche, Guerrero, Colima, Chiapas, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Tabasco, Yucatán and Veracruz (Dr. Sánchez, 2007-2008); Veracruz (Dr. Pérez and Dr. García, 2010-2012). The latter state has the largest collection, as it is the point of origin for Totonac culture and the place where the main participating institutions are located. From each collection site, data on ethnic origin were obtained from the owners, as well as the use for both the seeds and the other parts of the *J. curcas* plant. With this information, identifying ethnobotanical characteristics associated with cultures was considered, as well as locating possible germplasm dispersion routes.

Data on the collected germplasm were registered in spreadsheets with information on geographic coordinates of each site, the use of the materials according to the owners and the propagation methods used. The seeds were stored at 5 °C in

Los datos sobre el germoplasma recolectado se documentaron en hojas de cálculo con información sobre las coordenadas geográficas de cada sitio, los usos de los materiales por sus propietarios y los métodos de propagación utilizados. Las semillas fueron almacenadas a 5 °C en dos centros de investigación (Colpos y Citro).

Estudios genéticos

Los estudios genéticos se realizarán en la Universidad de Leuven, Bélgica, por lo que el germoplasma se envió a sus instalaciones previa revisión de viabilidad de las semillas, mediante rayos X. Después de comprobar que los cotiledones se encontraban en un estado visualmente aceptable (Figura 1), las semillas se seleccionaron para su envío. Veinte semillas de 131 procedencias fueron enviadas al departamento de Ecología Evolutiva de la Universidad de Leuven en Bélgica, donde se realizarán los estudios del ADN mediante la técnica conocida como genotyping-by-sequencing (GBS), la cual permite analizar una gran cantidad de polimorfismos nucleótidos y así identificar variaciones genéticas, tales como los contenidos de ésteres de forbol, mismas que pueden ser muy variables en organismos como las plantas (Elshire *et al.*, 2011). La extracción del ADN se realizará a partir de las hojas cotiledonares por considerarse éstas más viables para su rápida extracción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experiencias de la colaboración

Los avances del proyecto se reportaron por ambas partes a través del sistema de Proyectos de Researchgate hasta que fue cancelado a finales del 2014 por la misma organización; por lo anterior, las conversaciones y archivos intercambiados fueron mudados al sistema de Google Groups. De esta fecha en adelante todas las actividades realizadas se han reportado en esta plataforma. Cabe mencionar que Google Groups no posee la infraestructura que un proyecto de las actividades realizadas se han reportado en esta plataforma.

two research centers (Colpos and Citro).

Genetic studies

Genetic studies will be carried out in the University of Leuven, Belgium; thence, the germplasm was shipped over to their facilities after a previous viability review of the seeds through X rays. After verifying that cotyledons were in a visually acceptable state (Figure 1), seeds were selected for shipping. Twenty seeds from 131 provenances were shipped to the Ecology Evolution Division of the Department of Biology in the University of Leuven in Belgium, where DNA studies will be performed through the technique known as genotyping-by-sequencing (GBS), which allows for the analysis of a large amount of nucleotide polymorphisms and thus the identification of genetic variation and the genes for the synthesis of phorbol ester which can be quite variable in organisms such as plants (Elshire *et al.*, 2011). DNA will be extracted from cotyledonary leaves, as they are considered the most viable due to their quick extraction.

RESULTS AND DISCUSSION

Collaboration experience

Progress on the project was reported by both parties through the Project system of Researchgate until cancelled towards the end of 2014 by the same organization. As a result, exchanged conversations and files were moved to the Google Groups system. As of this date, all activities performed have been reported in this platform. It is important to note that Google Groups does not have the infrastructure that a research project of this nature requires for organizing progress, which is why we continue to look for a better suited work platform.

Genetic material search

Literature reviews on *J. curcas* specimens located in Mexico made by the working group, indicated that toxic genotypes are widely located in almost the entire Mexican territory, while non-toxic genotypes showed a distribution limited to



Figura 1. Selección de semillas de *Jatropha curcas* mediante rayos X antes de ser enviadas a la Universidad de Leuven.

Figure 1. *Jatropha curcas* seed selection using X rays prior to shipment to the University of Leuven.

Cabe mencionar que Google Groups no posee la infraestructura que un proyecto de investigación de este tipo requiere para la organización de los avances, por lo que la búsqueda de una mejor plataforma de trabajo sigue en proceso.

Búsqueda del material genético

Revisiones bibliográficas realizadas por el grupo de trabajo, sobre ejemplares de *J. curcas* localizados en México, indicaron que los genotipos tóxicos se localizan ampliamente en casi todo el territorio mexicano, mientras que los no tóxicos tienen una distribución restringida a sólo ciertas regiones de los estados de Veracruz, Puebla, Morelos, Michoacán, Guerrero, Quintana Roo, Yucatán y Sinaloa. Se sabe que tanto en Guerrero como en Sinaloa, los ejemplares provienen de recolectas de Morelos y Veracruz (Valdés *et al.*, 2013). Por otra parte, durante la investigación de campo realizada no se encontraron plantas de *J. curcas* no tóxicas en estado silvestre. Los ejemplares no tóxicos encontrados pertenecían a huertos familiares de habitantes de origen totonaca en el estado de Veracruz o a veracruzanos, cuando se hallaron en Chiapas y la península de Yucatán. Adicionalmente, las recolectas realizadas en el estado de Veracruz mostraron que el mayor porcentaje de los genotipos no tóxicos se encontraron en la region

certain regions of the states of Veracruz, Puebla, Morelos, Michoacán, Guerrero, Quintana Roo, Yucatán and Sinaloa. It is known that in both Guerrero and Sinaloa, specimens come from collections in Morelos and Veracruz (Valdés *et al.*, 2013). On the other hand, during field research there were no findings of non-toxic *J. curcas* plants in the wild. The found non-toxic specimens belonged to family gardens from Totonac-native residents of the state of Veracruz or people from Veracruz, when they were found in Chiapas and the Yucatán Peninsula. Additionally, collections from the state of Veracruz showed that the largest percentage of non-toxic genotypes were found in the region known as “*Totonaca*” (Valdés *et al.*, 2013), which confirmed the strong connection between non-toxic seeds and Totonaca culture, native to the state of Veracruz, and part of Puebla.

Germplasm analysis

Given that the collected germplasm remained in storage for over four or five years before being shipped to the University of Leuven, seed germination was difficult to achieve. Therefore, only 5% germination was achieved among 20 proven provenances. GBS system requires at least 1500 nanograms per sample, which may not

conocida como “Totonaca” (Valdés *et al.*, 2013), lo que corroboró la fuerte conexión de las semillas no tóxicas con la cultura Totonaca, originaria del estado de Veracruz y parte de Puebla.

Análisis del germoplasma

Dado que gran parte del germoplasma recolectado permaneció almacenado durante más de cuatro o cinco años antes de ser enviado a la Universidad de Leuven, se presentaran problemas para lograr la germinación de las semillas, de tal manera que se logró solamente 5 % de germinación entre 20 procedencias probadas. El sistema GBS requiere al menos 1500 nano gramos por muestra, situación que tal vez no se cumpla con los cotiledones del embrión, por lo que actualmente se contempla aplicar la técnica de repeticiones de secuencia simple (SSR, por sus siglas en inglés). Esta prueba puede funcionar con 50 nano gramos, lo que permite extraer el material genético directamente de los embriones (conversación personal con la Dra. Vandepitte). Actualmente el equipo de la Universidad de Leuven se encuentra determinando los protocolos de extracción a seguir ante la situación actual.

CONCLUSIONES

Las investigaciones sobre el origen del germoplasma no tóxico de *Jatropha* apuntan a que éste podría haber sido descubierto o desarrollado por la cultura Totonaca, quien lo difundió por el sur del país durante sus rutas de dispersión, de esta forma se explica por qué actualmente existen ejemplares tóxicos y no tóxicos en México.

Agradecimientos

Se agradece a la Línea Prioritaria de Investigación (LPI3) del Colegio de Postgraduados por los apoyos para la integración del banco de germoplasma.

Se agradece a la Universidad de Leuven por su apoyo para iniciar los estudios de ADN de las procedencias recolectadas.

be accomplished with the cotyledons of the embryo. As a result, the use of the Simple Sequence Repeat (SSR) technique is currently being considered. This analysis can work with 50 nanograms, which allows for the extraction of genetic material directly from the embryos (personal conversation with Dr. Vandepitte). At present, the team from the University of Leuven is determining the extraction protocols to be followed.

CONCLUSIONS

Research on the origin of the non-toxic *Jatropha* germplasm indicates that it could have been discovered or developed by Totonaca culture, which spread it throughout the South of the country along its dispersion routes, this explains why toxic and non-toxic specimens are currently found in Mexico.

Acknowledgments

We wish to thank the Línea Prioritaria de Investigación [*Priority Research Line*] (LPI3) of the Colegio de Postgraduados, for the support on the integration of the germplasm bank. We also wish to thank the University of Leuven for helping DNA studies on the collected provenances begin.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera M, R., 2004. Recetario Totonaco de la costa de Veracruz. 2ª. ed. F. Iturraga, J; Marcelli, A; Guevara, eds., Mexico, D.F.: CONACULTA.
- Elshire, Robert J., Glaubitz, J.C., Sun, Qi, Poland, J. A., Kawamoto, Ken, Buckler, E.S., and Mitchell, S.E. 2011. A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. *PLoS ONE*. 6(5):1–10.
- Maes, W.H. et al., 2009. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass Bioen*. 33(10):1481–1485.

- Makkar, H. P. S., Becker, K., Sporer, F., and Wink, M. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *J. Agric Food Chem.* 45:3152–3157.
- Martínez-Herrera, J, Siddhuraju, P., Francis, G., Davila-Ortiz, G., and Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* 96(1):80–89.
- Ovando-Medina, I., Sánchez, G. A., Adriano, A. A., Espinosa, G. F., Nuñez, F. J., and Salvador, F.M., 2011. Genetic diversity in *Jatropha curcas* populations in the state of Chiapas, México. *Diversity* 3(4):641–659.
- Valdés Rodríguez, O.A., Pérez Vázquez, A. y García Pérez, E. 2013. Condiciones agroecológicas de procedencias nativas de *Jatropha curcas* L. In: Perez, V. E. y Garcia, P.A. (eds.) *Energía Alternativa y Biocombustibles*. Colegio de Postgraduados, Mexico. pp. 143–152.
- Valdés, R. O. A., Sánchez, S. O., Pérez, V. A., and Caplan, J. 2013. The Mexican non-toxic *Jatropha*, food resource or biofuel? *Ethnobotany Res. Applic.* 11:1–7 (Available at: <http://lib-ojs3.lib.sfu.ca:8114/index.php/era/article/viewFile/797/486>).

PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE *Jatropha curcas* L.: ELEMENTOS CLAVE

Jatropha curcas SEED PRODUCTION: KEY ELEMENTS

Leobigildo Córdova-Téllez^{1*}, José Trinidad Zavala-Hernández¹, Edgardo Bautista-Ramírez¹, Ma. del Rosario Martínez-Sánchez¹ y Nancy Yazmín Hernández-Nicolás¹.

¹Colegio de Postgraduados. Programa de Semillas. Carr. México-Texcoco, km. 36.5. Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230. Teléfono (595) 9520200 Ext. 1511. (lcordova@colpos.mx; trinozavala@gmail.com; erbautista@colpos.mx; charys_9006@hotmail.com; hernandez.nancy@colpos.mx). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

ABSTRACT

El incremento en la superficie cultivada con *Jatropha curcas* por el uso de su grano en la elaboración de biocombustibles ha propiciado un aumento en la demanda de semilla botánica. No obstante, a la fecha no existen variedades registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICS y la semilla producida no se realiza bajo las normas de certificación, con poca confiabilidad en los elementos clave de calidad: genética, física, fisiológica y sanitaria. Los avances en investigación han permitido evaluar parte de la diversidad e identificar genotipos elite, que podrán ser registrados como Variedades de Uso Común e incorporarlos a los programas de mejoramiento. Estudios en calidad fisiológica y química señalan que la máxima viabilidad, germinación, vigor y contenido de aceite se alcanzan en la etapa de madurez fisiológica (máximo peso seco) y que el color amarillo del fruto representa un indicador visual confiable de dicha madurez. La semilla de *Jatropha* tolera desecación hasta de 5 % sin afectar su viabilidad, que la clasifica en el tipo ortodoxas. Los valores de viabilidad, germinación y contenido de aceite tienden a mantenerse hasta por doce meses de almacenamiento. No obstante, se requiere mayor investigación en el manejo postcosecha, al igual que en todo lo relacionado con la calidad sanitaria de la semilla de esta especie.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, madurez fisiológica, calidad de semilla, almacenamiento.

The increase in the cultivated area of *Jatropha curcas* for the use of its grain in the biofuel elaboration has raised the demand for production of its seeds. However, at present, there are no registered varieties in the SNICS [*National Seed Inspection and Certification Service, known by its acronym in Spanish] National Catalogue of Plant Varieties; and the seed produced is not of certification standards, with little reliability in key quality elements: genetical, physical, physiological and phytosanitary status. The research progress has evaluated part of the species diversity and the identification of elite genotypes that could be registered as common use varieties and to be incorporated into improvement programs. Physiological and chemical studies show that the highest viability, germination, vigour and oil content are reached at physiological mature stage (highest dry weight) and that the yellow colour of the fruit represents a reliable visual indicator of maturity. *Jatropha* seed tolerates drying down to 5 % moisture content without affecting its viability, which classifies it in the orthodox type. The viability value, germination and oil content, can be maintained during twelve months of storage. However, detailed post-harvest research is required, as well as matters relating to the seed phytosanitary of this species.

Key words: *Jatropha curcas*, physiological maturity, seed quality, storage.

INTRODUCCIÓN

Jatropha curcas L. es una especie perenne y

monoica de la familia Euphorbiaceae, con posible centro de origen en México y otros países de América Central (Heller, 1996). La importancia actual del cultivo radica en la producción de biocombustibles a partir del aceite de la semilla. En general, las semillas no son comestibles, debido a la presencia de ésteres de forbol que les confiere un efecto purgante (Makkar *et al.*, 1997). No obstante, en México se ha reportado un ecotipo comestible, sin dichos compuestos, lo que permite aprovechar además del aceite, la pasta residual en la elaboración de productos alimenticios para el consumo humano y animal (Martínez-Herrera *et al.*, 2006).

En el año 2008 la superficie mundial cultivada fue de 900,000 ha principalmente en Asia, con un incremento estimado de 12.8 millones de hectáreas para el año 2015 (FAO, 2010). En México en los estados de Michoacán, Chiapas, Sinaloa, Oaxaca, Campeche, Yucatán, Sonora, Veracruz, Tabasco y Guerrero se han desarrollado proyectos productivos desde el año 2006 (Zamarripa *et al.*, 2008).

Debido al creciente interés del cultivo, la demanda de semilla botánica se ha incrementado, la cual debe reunir la más alta calidad Genética, Física, Fisiológica y Sanitaria. De tal forma que se requiere contar con información técnica-científica que permita obtener los más altos niveles de calidad durante la producción de semilla, así como el mantenimiento de la misma durante el almacenamiento, temas que serán abordados en el presente escrito.

CALIDAD GENÉTICA

La calidad genética se refiere a las características distintivas que describen a una variedad (como porte de planta, color y tamaño de fruto, entre otros) y que en su momento deberán ser descritos para el registro de la variedad ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), lo que permitirá su multiplicación bajo un esquema de semilla certificada que garantice niveles de calidad a los productores. Durante la

INTRODUCTION

Jatropha curcas L. is a perennial and monoecious species from Euphorbiaceae family, with a possible origin center in Mexico and in other Central American countries (Heller, 1996). The current importance of the plant lies within the biofuel production from the oil's seeds. In general, seeds are not edible, due to the presence of phorbol esters that give them a purgative effect (Makkar *et al.*, 1997). However, an edible ecotype has been reported, without such compounds, allowing the use of the oil and the residual cake in food products manufacturing for human and animal consumption (Martínez-Herrera *et al.*, 2006).

In 2008, the global cultivated area was 900,000 hectares in Asia, with an estimated increase to 12.8 million hectares in 2015 (FAO, 2010). In Mexico, in the states of Michoacán, Chiapas, Sinaloa, Oaxaca, Campeche, Yucatán, Sonora, Veracruz, Tabasco and Guerrero production projects have been developed since 2006 (Zamarripa *et al.*, 2008).

Due to the growing interest in the crop, the seed demand has increased, and this has to have the highest genetic, physical, physiological and phytosanitary quality; in such a way that is required to have technical and scientific information that allows to obtain the highest quality levels during the seed's production, and postharvest storage will be discussed hereby.

GENETIC QUALITY

The genetic quality is referred to the distinctive features that describes one variety (as plant appearance, colour fruit, size, among others) and this will be included in plant variety record on the "SNICS", which will allow its multiplication in a certified seed scheme that guarantees quality levels to the producers. During seed multiplication, these genetic features must be maintained, which requires specified practices

multiplicación de semilla, se deben mantener esos caracteres genéticos, lo que demanda prácticas específicas para evitar el entre-cruzamiento con otras variedades.

Para cultivos agrícolas, el SNICS dispone de normas de certificación para producir semilla certificada; un ejemplo es el “aislamiento” sobre todo para especies de polinización abierta, como *Jatropha*, que requieren aislamiento del cultivo de otra variedad, ya sea en espacio o en tiempo (fechas distintas de siembra). En cuanto a espacio la distancia mínima es de 300 m, que se reduce con el establecimiento de hileras de bordo. Esto ejemplifica que la producción de semilla requiere de prácticas distintas a la producción de grano y que es necesario cumplir con normas de calidad, lo que se puede consultar en snics.sagarpa.gob.mx.

A la fecha, no existe ninguna variedad de *Jatropha* registrada en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICS; no obstante dicho ente ya cuenta con los Descriptores Varietales de *Jatropha*, lo que permite la descripción varietal para el registro de variedades por los diversos grupos de investigación que han realizado colecta, selección y evaluación de genotipos, y que han identificado genotipos elite, que podrían ser registrados como Variedad de Uso Común (aquella que no es producto del mejoramiento genético convencional), lo que permitirá la producción de semilla certificada, sin limitar su empleo en la generación de nuevas variedades.

México cuenta con una amplia variación genética y es el único país que reporta la existencia de un ecotipo no tóxico, comestible, de *Jatropha curcas* debido a la ausencia de ésteres de forbol. En la obtención de biocombustibles dicho ecotipo facilita la utilización de la pasta residual, que después del desgrasado concentra más de 50 % de proteína de buena calidad, con utilidad en la elaboración de productos para el consumo humano y animal. El Cuadro 1 ilustra parte de la

to avoid the intercrossing with other varieties.

For agricultural crops, the SNICS has standards to produce the certified seed; an example would be the “isolation” especially for open-pollination species, such as *Jatropha* that requires isolation from other varieties, either in space or time (different cropping times). Regarding separation, the minimum distance is 300 m and can be reduced with the establishment of row borders. This seed production requires different practices from the grain production and it is necessary to accomplish to use the quality standards, which can be consulted at snics.sagarpa.gob.mx.

At the present, there are no recorded *Jatropha* varieties in the National Seed Inspection and Certification Service of SNICS; however, SNICS already has the variety descriptors of *Jatropha*, which allows the varietal description for the registration of varieties by the diverse research groups that have made the collection, selection and genotype evaluation, and that have identified elite genotypes that could be registered as a common use variety (without undergoing conventional genetic improvement), that will allow the certified seed production, without limiting its use in new varieties generation.

Mexico has a wide range of genetic variation and is the only country that reports the existence of a non-toxic ecotype, edible *Jatropha curcas* due to its lack of phorbol esters. The non-toxic ecotype facilitates the use of the residual cake after oils extraction, contains more than 50 % of high quality protein, for use in the production of human and animal feed. The table 1 illustrates part of the existing variation in protein, oil and phorbol esters contents in accession of the region of Totonacapan which favors the selection of outstanding genotypes.

PHYSICAL QUALITY

It is the physical purity of a seeds plot and it refers to the weight (%) of the seed that belongs to the

variación existente en cuanto a contenido de proteína, aceite y ésteres de forbol en accesiones de la región del Totonacapan, lo que favorece la selección de genotipos sobresalientes.

variety. The total seeds are separated into pure seeds, other seeds and inert materials; the general procedure can be read at SNICS website.

Cuadro 1. Variación en contenido de proteína, aceite y ésteres de forbol en accesiones de *Jatropha curcas* no tóxica provenientes de la región del Totonacapan.

Table 1. Variation in protein, oil and phorbol esters contents in non-toxic *Jatropha curcas* accessions from the Totonacapan region.

Accesión	Humedad de Harina (%)	Proteína (%)	Aceite (%)	Esteres de Forbol
Nectepec 2	3.95	25.07	65.89	ND
Tetelilla 1	4.25	25.40	62.24	ND
Martínez 2	3.90	27.00	57.02	0.05
Sastychuchut 1	4.30	21.27	69.14	ND

CALIDAD FÍSICA

La calidad física es la medida de la pureza física de un lote de semillas y representa el peso (%) de la semilla que corresponde a la variedad. Para su evaluación se separan los componentes en Semilla Pura, Otras Semillas y Materia Inerte; el procedimiento general para cuantificar esta calidad se puede consultar en la página web del SNICS. El porcentaje de semilla pura será alto si los lotes de producción se mantienen sin la presencia de plantas de otras variedades, mientras que el de otras semillas estará en función del control o eliminación de malezas u otros cultivos, lo que evitará mezclas con la semilla de la variedad de interés. La materia inerte (semillas quebradas, polvo, restos de planta y fruto) está asociada a la forma de cosecha y trilla, es decir si se realizan de manera mecánica, manual o combinación. A la fecha, la cosecha de frutos de *Jatropha* se realiza de forma manual, lo que permite obtener semilla de alta calidad física. Si se llegara a realizar de manera mecánica, la materia inerte puede eliminarse con máquinas limpiadoras en el proceso

The pure seed percentage will be high if the production plots are maintained free of other types of plants; presence of other seed's or seeds of different species, can be prevented by elimination of weeds or other crops, all of which will avoid mixtures with the selected seed. The inert material (broken seeds, dust, plant's residues and fruit) is associated to the harvesting and treshing methods, in other words, if it is done by machine, by hand or a combination of both. At present, *Jatropha* fruits are harvested manually, which provides high-quality seed. If it is harvested mechanically, the inert material can be eliminated with cleaning machines in the process of seed conditioning. The *Jatropha* seed that has been commercialized in Mexico, has not been certified and it does not accomplish the SNICS quality standards, therefore, it is necessary to gather efforts so that in the short term *Jatropha* certified seed is available in the market, which is a quality insurance for the producer.

de Acondicionamiento de Semillas. La semilla que se ha comercializado de *Jatropha* en México no ha sido certificada y no cumple con normas de calidad, por tanto es necesario concentrar esfuerzos para que en el futuro inmediato se produzca semilla certificada, que representa un seguro de calidad para el productor.

CALIDAD FISIOLÓGICA

Un aspecto de gran importancia en la producción de semillas es la calidad fisiológica, que en un contexto amplio contempla atributos de viabilidad, germinación y vigor. Estos atributos incrementan durante el desarrollo de la semilla y alcanzan un máximo antes de, al momento de o posterior a la madurez fisiológica. La madurez fisiológica es la etapa en que la semilla alcanza la máxima acumulación de materia seca; no obstante, la cuantificación de esta variable es poco práctica y destructiva, por lo que se requiere identificar otros indicadores de dicho estado. El máximo peso seco de semillas o madurez fisiológica para un genotipo no tóxico proveniente de Pueblillo, Veracruz, establecido en Anenecuilco, Municipio de Ayala, Morelos, se alcanzó a los 75 días después de anthesis (dda), con un contenido de humedad en la semilla de 40 % (Figura 1A).

Para el mismo genotipo los máximos valores de viabilidad y germinación (Figura 1B) se alcanzaron en madurez fisiológica (75 dda), así como el máximo vigor cuantificado con el índice de velocidad de emergencia y peso seco de plúmula (datos no mostrados). Es importante señalar que en el comercio de semillas solo se reporta el porcentaje mínimo de germinación, pero los otros atributos son de gran importancia para los productores que utilizarán dicha semilla.

Existe variación en cuanto a los dda para alcanzar la madurez fisiológica y atributos de calidad fisiológica. Silva *et al.* (2011) reportaron máxima germinación (72 %) 65 dda, que coincide con madurez fisiológica y frutos de color marrón, Kaushik (2003) reportó máxima germinación (89%) 57 dda y frutos de color amarillo, Santoso *et al.* (2012) reportaron la máxima germinación en frutos de color amarillo. No obstante, resulta

PHYSIOLOGICAL QUALITY

A very important aspect in high-quality seed's production is the physiological quality which includes viability attributes, germination and vigour. Such attributes change during the seed's growth and they reach a maximum before or after the physiological maturity. Physiological maturity is the stage where the seed reaches the highest accumulation of dry matter; however, the quantification of this variable is unpractical and destructive, that is why is required to identify other indicators of such state. The highest seed's dry weight or physiological maturity for a non-toxic genotype from Pueblillo, Veracruz, grown in Anenecuilco, Ayala, Morelos, was achieved 75 days after the anthesis, with a moisture content of the seed at 40 % (Figure 1A).

For the same genotype, the highest germination and viability values (Figure 1B) were achieved at physiological maturity (75 days after the anthesis), as well as the quantified vigor with the rate of plantlet emergency speed and dry weight of plumule (not shown data). It is important to point out that in the seed trade, only the minimum percentage of germination is reported, but this attribute is very important for the farmer who will use this seed.

There is variation regarding the days after the anthesis to reach physiological maturity and maximal quality attributes. Silva *et al.*, (2011) reported the highest germination (72 %) 65 days after the anthesis, which matches with physiological maturity of brown fruits, whereas Kaushik (2003) reported the highest germination (89 %) 57 days after the anthesis and yellow fruits; Santoso *et al.* (2012) reported the highest germination in the yellow fruits. However, it is clear that a good indicator of physiological maturity, and the highest physiological quality of dry weight, is the yellow color of the fruit, which is illustrated for the genotype from Pueblillo, Veracruz (Figure 2).

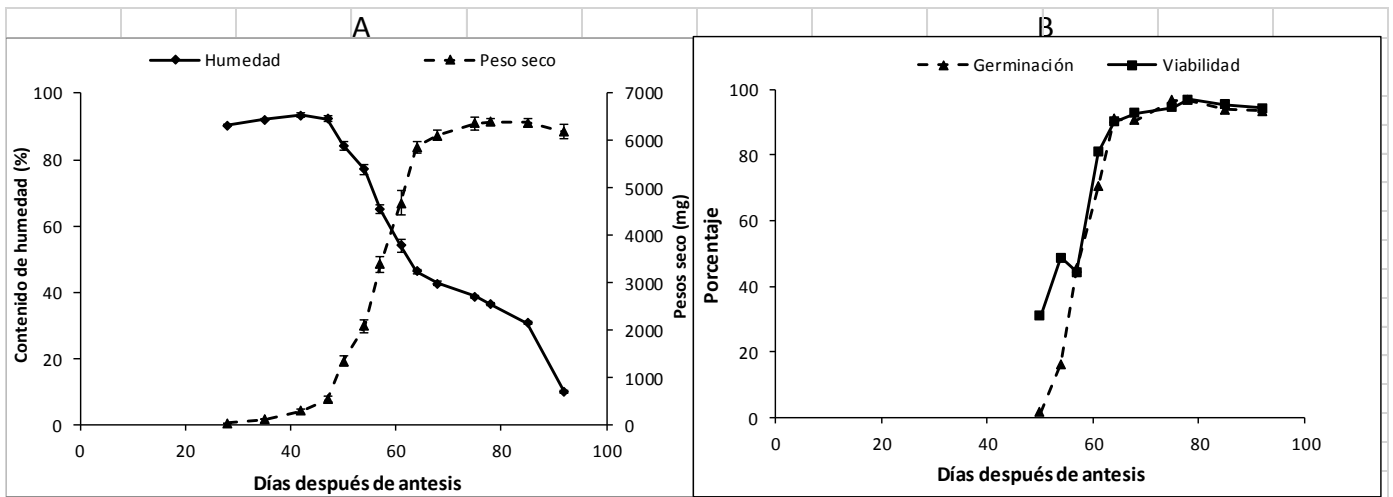


Figura 1. Cambios en el contenido de humedad y peso seco (A), y viabilidad y germinación (B) durante el desarrollo y crecimiento de semilla de *J. curcas*.

Figure 1. Changes in moisture content and dry weight (A), viability and germination (B) during the *Jatropha* seed growth and development.

contundente que un buen indicador de la madurez fisiológica y máxima calidad fisiológica, aparte de la acumulación de peso seco, es el color amarillo del fruto, lo que se ilustra para el genotipo de Pueblillo, Veracruz (Figura 2).

La acumulación de aceite también incrementa con el desarrollo de la semilla; en el ejemplo que se viene citando del genotipo de Pueblillo, Veracruz, estadísticamente el contenido de aceite alcanzó su máximo en madurez fisiológica (75 dda), contrario a la acumulación de proteínas que mostró un descenso después de 50 dda, y el contenido de cenizas que no mostró cambios significativos (Figura 3). Por tanto, se recomienda cosechar frutos en color amarillo, que representa la etapa de madurez fisiológica y que coincide con los valores máximos de atributos fisiológicos (viabilidad, germinación y vigor), así como la máxima acumulación de aceite.

CALIDAD SANITARIA

La calidad sanitaria de la semilla se refiere a la presencia de hongos, bacterias, virus, nematodos e insectos que causen daño o que transmitidos por la semilla podrían causar daños y reducciones en la

The oil accumulation also increases with seed growth; for example seeds from Pueblillo, Veracruz, showed the oil content reached its maximum at physiological maturity (75 days after the anthesis), conversely to the protein accumulation which decreased 50 days after anthesis, and the ash content did not show significant changes (Figure 3). Therefore, it is recommended to harvest fruits when in yellow colour, that represents the stage of physiological maturity which coincides with the highest values of physiological attributes (viability, germination and vigour), as well as, the highest oil accumulation.

SANITARY QUALITY

The sanitary quality of the seed refers to the presence of fungi, bacteria, viruses, and insect pests that can damage or reduce the quality of the seed itself and of the plant obtained from it. The seed transfers the selected genes to the following generation, it serves as a vehicle to take to the country consumable goods as fertilizers, chemical treatments, nitrogen-fixing bacteria, among others. Additionally it can disseminate pests and diseases that affect negatively the growth and productivity of a variety.







dda	Fruto	Color visual	Tabla Munsell	Semilla
54		Verde	5GY6/10	
75		Amarillo	5Y8/10	
92		Café	7.5YR4/2	

Figura 2. Cambio en color de fruto y semilla de *J. curcas*, durante su desarrollo. dda = días después de antesis.

Figure 2. *J. Curcas* fruit and seed colour change during its growth.

calidad y productividad del cultivo. La semilla además de transferir los genes seleccionados a las siguientes generaciones, sirve de vehículo para llevar al campo insumos como fertilizantes, tratamientos químicos, bacterias fijadoras de nitrógeno, entre otros. Adicionalmente sirve de vehículo para la diseminación de plagas y enfermedades que afectan de manera negativa el desarrollo y producción de la variedad. Al respecto no se han realizado trabajos en semilla de *Jatropha*, por lo que existe una amplia área de oportunidad para los fitopatólogos.

ALMACENAMIENTO

Una vez que se logra obtener la máxima calidad fisiológica de semilla (viabilidad, germinación y vigor) se enfrenta el reto de mantener esos atributos al menos hasta el siguiente ciclo agrícola,

There are no information regardin research in these matters with *Jatropha* seed, so that there is a wide opportunity area for plant pathologists.

STORAGE

Once has been obtained the highest physiological quality of the seed (viability, germination and vigour) the challenge is to keep these attributes, at least, until the next agricultural cycle, before the seed starts an unavoidable deterioration process that will be reflected by a reduction of these attributes. However, the deterioration rate is in function of the species, seed type (orthodox or recalcitrant), chemical composition, seed moisture content and other environmental factors (relative humidity and temperature) during storage.

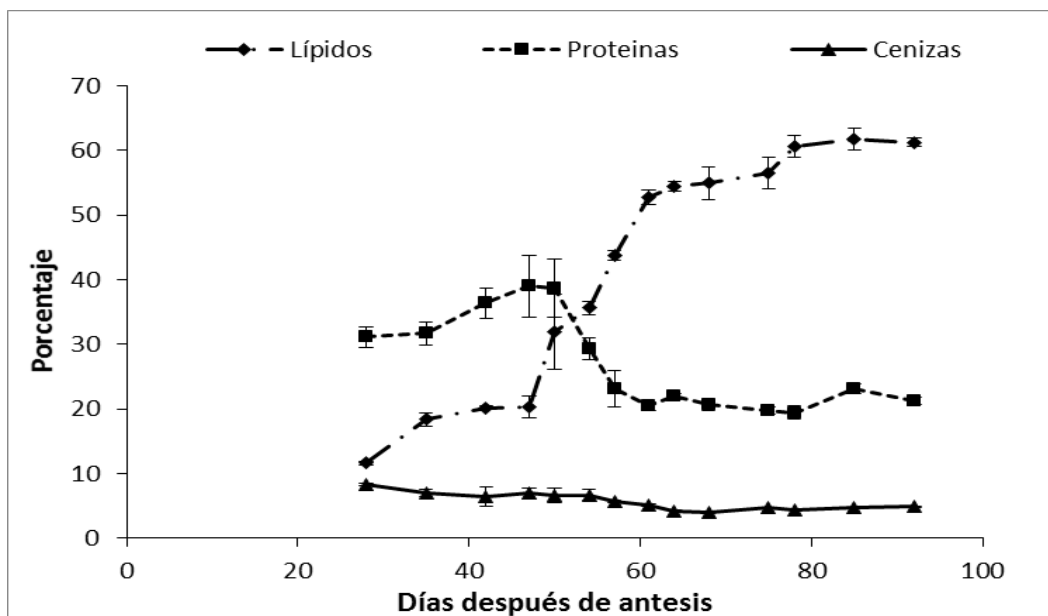


Figura 3. Cambios en la acumulación de lípidos, proteínas y cenizas durante el desarrollo de la semilla de *J. curcas*.

Figure 3. Changes in lipids, proteins and ash accumulation during *J. curcas* seed growth.

pues la semilla inicia un proceso de deterioro inevitable e irreversible, que se verá reflejado por reducciones en esos atributos. No obstante, la tasa de deterioro estará en función de la especie, tipo de semilla (ortodoxa o recalcitrante), composición química, contenido de humedad de la semilla y factores ambientales (humedad relativa y temperatura) del almacén.

Mediante el procedimiento de Hong y Ellis (1996), con algunas modificaciones, se realizó un experimento para cuantificar la tolerancia a la desecación de la semilla de *Jatropha*. Los resultados indicaron que la reducción de humedad hasta 5 % no causó una reducción significativa en la viabilidad y la germinación después de seis meses de almacenamiento, con respecto al valor obtenido en ese mismo tratamiento previo al almacenamiento (Figura 4).

La tolerancia de desecación hasta 5 % indica que la semilla de *Jatropha* es del tipo ortodoxa, lo que

Using the method of Through Hong and Ellis (1996), with some modifications, an experiment was carried out to quantify tolerance of *Jatropha* seed to drying. The results showed that moisture content reduction down to 5 % did not cause any significant reduction in viability and germination after six months of storage, recorded previous to storage (Figure 4).

The tolerance to drying down to 5 % indicates that *Jatropha* seed is from the orthodox type, which facilitates its storage. However, stored seed with 14 % moisture content showed a significant reduction in viability and germination, consequently, it is recommended to reduce moisture content below 8 % before the storage (Figure 4.)

In another experiment the % germination showed an increase after 3 months of storage, disregarding temperature and air humidity conditions, probably because seed dormancy (Figure 5A). The total lipid content varied with time and storage condition,

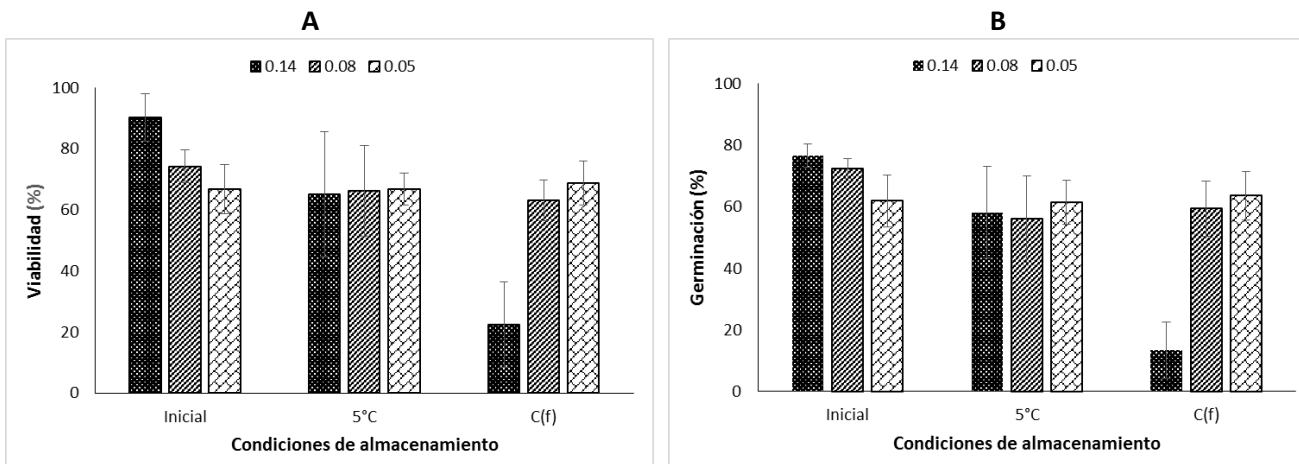


Figura 4. Viabilidad (A) y germinación (%) (B) de semillas de *Jatropha* con tres niveles de humedad y almacenadas 6 meses a 5 °C y ambiente de Ecatlán, Puebla (clima C(f)).

Figure 4. Viability (A) and germination (%) (B) of *Jatropha* seeds with three seed moisture content and stored for 6 months in a 5 °C environment in Ecatlán, Puebla (climate C(f)).

facilita su almacenamiento. No obstante, semilla almacenada con 14 % de humedad mostró una reducción significativa en viabilidad y germinación, por lo que es recomendable reducir el contenido de humedad debajo de 8 % previo al almacenamiento (Figura 4).

En otro experimento la germinación mostró un incremento después de 3 meses en almacenamiento, indistintamente de las condiciones de temperatura y humedad, posiblemente debido a la presencia de latencia (Figura 5A). El contenido de lípidos totales mostró variaciones con el tiempo y condición del almacenamiento, aunque en general tiende a mantenerse durante los 12 meses (Figura 5B). Cabe señalar que los resultados publicados al respecto, muestran inconsistencia en cuanto a la longevidad de la semilla, por lo que se requiere mayor experimentación en el tema.

CONCLUSIONES

No existen variedades registradas de *Jatropha curcas* y no se produce semilla bajo las normas de certificación. La máxima viabilidad, germinación, vigor y contenido de aceite se alcanzan en la etapa de madurez fisiológica (máximo peso seco), que puede identificarse visualmente por el color

although in general, it was similar over 12 months (Figure 5B). It is important to point out that the published results, show inconsistency regarding the longevity of the seed, consequently further detailed experimentation is required.

CONCLUSIONS

There are no registered varieties of *Jatropha curcas* and no seed is produced with SNICS certification standards. The highest viability, germination, vigour and oil content are achieved at the physiological maturity stage (highest dry weight), that may be identified visually by the yellow colour of the fruit. The *Jatropha* produces seed of orthodox type and the viability, germination and oil content are relatively constant 12 months of storage. It is necessary to continue the research into the quality attributes and during the storage of the seed of this species.

BIBLIOGRAFÍA

FAO/IPGRI. 2010. *Jatropha*: A smallholder bioenergy crop, the potential for pro-poor development. Integrated Crop Management, vol 8. Rome. doi: <http://www.fao.org/docrep/012/i1219e/i1219e.pdf>

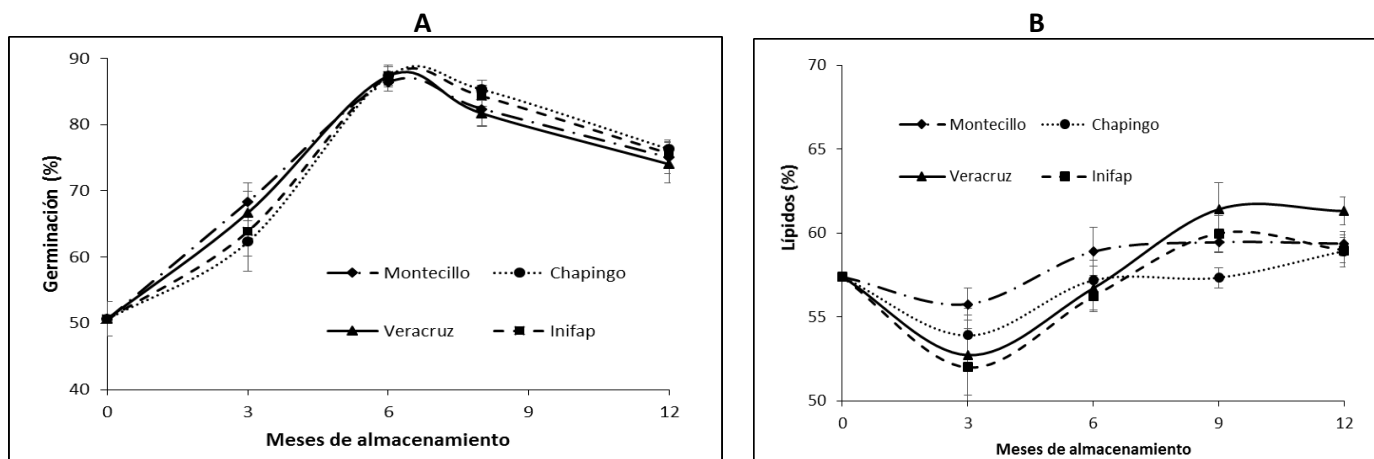


Figura 5. Cambios en la germinación (%) (A) y contenido de lípidos (B) en semilla de *Jatropha curcas* L. almacenada por 12 meses a -18 °C, 5 °C, ambientes de Montecillo, Edo. de México y Veracruz, Veracruz.

Figure 5. Changes in germination (%) (A) and lipid content of *Jatropha* seeds (B) stored for 12 months at -18 °C, 5°C, environments of Montecillo, Edo. de México y Veracruz, Veracruz.

amarillo del fruto. La *Jatropha* produce semilla del tipo ortodoxas y la viabilidad, germinación y contenido de aceite tienden a mantenerse hasta por doce meses de almacenamiento. Es necesario continuar investigaciones en todos los atributos de calidad y durante el almacenamiento de la semilla de esta especie.

Heller, J. 1996. *J. Physic nut (Jatropha curcas L.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.* IBPGR, Roma, Italia. 66 p.

Kaushik, N. 2003. Effect of capsule maturity on germination and seedling vigour in *Jatropha curcas*. *Seed Sc. Techn.* 31:449-454.

Makkar, H. P. S., Becker, K., Sporer, F. and Wink, M. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* 45:3152–3157.

Martínez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila-Ortiz, G., and Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* 96(1):80-89

Santoso, B. B., Budianto, A. and Aryana, I. M. 2012. Seed viability of *Jatropha curcas* in different fruit maturity stages after storage. *Nusantara Biosc.* 4:113-117.

Silva, L. J., Dias, D. C. F. S., Dias, L. A. S., and Hilst, P. C. 2011. Physiological quality of *Jatropha curcas* L. seeds harvested at different development stages. *Seed Sc. Techn.* 39:572-580.

Zamarripa, C. A., Martínez, H. J., De La Piedra, C. R. y Olivera, D. L. S. A. 2008. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L., en el trópico de México. Folleto Técnico. NIFAP. CE Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 30 p.

MARCADORES MOLECULARES: HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE *Jatropha curcas* L.

MOLECULAR MARKERS: A TOOL FOR THE GENETIC IMPROVEMENT OF *Jatropha curcas* L.

Víctor Pecina Quintero^{1*}, Jose Luis Anaya Lopez¹, Noé Montes García², Carlos Herrera Corredor¹.

¹INIFAP-Campo Experimental Bajío, Carr. Celaya-San Miguel de Allende km 6.5. Municipio de Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110. Tel. 01 8000 88 22 22 Ext. 85255, 85221 y 85213, respectivamente; (pecina.victor@inifap.gob.mx; anaya.jose@inifap.gob.mx; herrera.carlos@inifap.gob.mx, respectivamente). ²INIFAP-Campo Experimental Río Bravo, Carretera Matamoros-Reynosa Km. 61. Municipio de Río Bravo, Tamaulipas, México. C.P. 88900. Tel. 01 8000 88 22 22 Ext. 83213 (montes.noe@inifap.gob.mx). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

ABSTRACT

Durante los últimos años se ha dedicado especial atención a *Jatropha curcas* L. por su capacidad para producir semillas con un alto contenido de aceite (30-45 %) y crecer en un amplio rango de climas y suelos. Aunque en la mayoría de los casos se ha reportado poca variabilidad genética en *J. curcas*, estudios recientes en México y Centroamérica indican que existe una alta variabilidad genética que se refleja en la amplia variación en el rendimiento, tamaño, peso, forma y contenido de aceite en la semilla, número de racimos, número de frutos por racimo, periodo de floración, relación del número de flores femeninas y masculinas por planta, flores hermafroditas, etc. Debido a que varios de estos caracteres tienen un alto grado de interacción con el medio ambiente, es imperativo analizar la variabilidad presente en el germoplasma, separarlos por su naturaleza genética o fenotípica (epigenética) y evaluar características de interés agronómico como el crecimiento y morfología de las semillas, rendimiento, resistencia condiciones ambientales extremas, y aquellas relacionadas con la composición química de la semilla mediante técnicas robustas como la metabolómica y la proteómica. Las herramientas biotecnológicas usadas para el mejoramiento genético de *J. curcas* tienen diferentes grados de avance. Se ha reportado la secuenciación de su genoma, el transcriptome de semillas ricas en aceite, la

During the last few years, the *Jatropha curcas* has been an object of special study because its capacity to produce seeds with a high oil content of 30 to 45 %, and its capacity to grow in a wide range of climates and soils. Although the majority of the cases have reported little genetic variability in *J. curcas*, recent studies carried out in Mexico and Central America, indicate that there is high genetic variability that is reflected through differences in weight, size, shape and oil content of the seed, number of bunches per plant, number of fruits per bunch, flowering period, relationship between the number of males and females flowers per plant, hermaphrodites flowers, etc. Due to the fact that a lot of these features have a high degree of interaction with the environment, it is important to analyze the current germplasm variability, to separate the phenotypic from genetic character and to evaluate the important agronomic features such as the growth and seed's morphology, performance, resistance, external environmental conditions and those related to the chemical composition of the seed through a functional understanding of metabolomics and proteomics. The bio-technological tools applied for the genetic improvement of *Jatropha curcas* are at different stages of progress. It has been reported, a genome sequencing, a transcriptome

tolerancia al estrés abiótico, el desarrollo de métodos de propagación *in vitro*, su transformación genética mediante biobalística y el uso de *Agrobacterium*, así como métodos moleculares para identificar genotipos tóxicos y no tóxicos, así como el mapeo de estos genes. Es un hecho que el éxito de un programa de mejoramiento genético depende en gran medida del conocimiento de la variabilidad genética disponible y de la estimación de los parámetros genéticos de los principales caracteres de interés en la especie. Por lo tanto, la selección de los genotipos de *J. curcas* debe realizarse con base en su caracterización y una profunda comprensión de la fisiología de la planta para aplicaciones prácticas.

Palabras clave: secuenciación, genoma, mapeo genómico, diversidad genética, marcadores moleculares.

DIVERSIDAD GENÉTICA DE *J. Curcas*

Uno de los estudios más amplios de la diversidad genética de *J. curcas* realizado en México, incluyó 88 accesiones procedentes de ocho estados de la República Mexicana: Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Yucatán, Veracruz, y un testigo de Chiapas. Las accesiones fueron seleccionadas a partir de 400 accesiones del banco de germoplasma establecido en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Rosario Izapa, Chiapas, y aunque no se determinó su toxicidad, existen antecedentes del uso de *J. curcas* con fines alimenticios en el estado de Morelos, Puebla y Veracruz. La selección del germoplasma se basó en la distribución geográfica y las variaciones de los caracteres cualitativos y cuantitativos.

Se utilizaron cuatro combinaciones de oligonucleótidos selectivos AFLP (Cuadro 1). El número de productos amplificados por ensayo varió de 115 a 139. En total se amplificaron 511 productos, de los cuales 340 (66 %) fueron polimórficos. El análisis de frecuencias y distribución de los fragmentos polimórficos

of seeds rich in oil, identification of genes involved in the tolerance to abiotic stress, the development of *in vitro* propagation methods, its genetic transformation through biobalistic and the use of *Agrobacterium*, as well as molecular methods to identify toxic and non-toxic genotypes and the mapping of these genes. It is a fact that the success of a program for genetic improvement depends highly on the knowledge of the available genetic variability and on the estimate of the genetic patterns of the main interesting features of the species. Therefore, *J. curcas* genotype selection must be made on the basis of its characterization and a broad understanding of the physiology of the plant for practical applications.

Key words: sequencing, genome, genomic mapping, genetic diversity, molecular markers.

GENETIC DIVERSITY OF *J. Curcas*

One of the largest studies of *Jatropha* genetic diversity carried out in Mexico, included 88 accessions from eight states of the Mexican Republic: Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Yucatán, Veracruz and one control from Chiapas. The accessions were selected from 400 accessions from the germplasm bank established in INIFAP (National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research, by its acronym in Spanish) in Rosario Izapa, Chiapas, and although toxicity was not determined, there are records of *J. curcas* use for food in the states of Morelos, Puebla and Veracruz. The germplasm selection was based on the geographic distribution and the qualitative and quantitative variatipon features. Four AFPL selective oligonucleotide in combinations were used (Table 1). The number of amplified products varied from 115 to 139. A total of 511 were amplified, from which 340 (66 %) were polymorphic. The frequency analysis and polymorphic fragment distribution, allowed detect 49 specific or rare fragments in the accession number 22 from Martínez de la

permitió detectar 49 de fragmentos específicos o raros en la accesión 22 de Martínez de la Torre Veracruz (Cuadro 2). Así mismo el análisis de las relaciones genéticas y el índice de diversidad de los datos moleculares, corroboran la existencia de gran diversidad (60 %) en el germoplasma de *J. curcas* en México (Cuadro 1). En el dendrograma que muestra las relaciones genéticas entre accesiones se observó la formación de cuatro grupos principales de genotipos. Sin embargo, aunque existe una tendencia de agrupación por origen geográfico, la dispersión de algunas accesiones con origen similar a través del dendrograma sugiere la existencia de una amplia base genética en el germoplasma analizado (Pecina *et al.*, 2014).

TOXICIDAD DE LA SEMILLA DE *J. Curcas*

Los esfuerzos actuales para hacer económicamente atractivo el cultivo de *J. curcas* se ven obstaculizados por la falta de cultivares con alto potencial de rendimiento y la presencia de compuestos tóxicos en la semilla de la mayoría de las variedades desarrolladas. La torta y la harina de la semilla de *J. curcas*, que se obtiene como subproducto de la extracción del aceite vegetal, es rica en proteínas, se puede utilizar como subproducto de la extracción del aceite vegetal, es rica en proteínas, se puede utilizar como

Torre Veracruz (Table 2). Thus, the genetic relationship analysis and the diversity rate of molecular data, corroborate the existence of a high diversity (60 %) in *J. curcas* germplasm in Mexico (Table 1). In the dendrogram that shows the genetic relationships among accessions, there are four main groups of genotypes. However, although there is a tendency of group by geographic origin, the spread of some accessions with similar origin through the dendrogram suggests the existence of a wide genetic basis in the analysed germplasm (Pecina *et al.*, 2014).

TOXICITY OF *J. Curcas* SEEDS

The current efforts to make economically attractive the cropping of *J. curcas* are blocked by the lack of cultivars with a high yield potential and the presence of toxic compounds in the seed of the majority of the developed varieties. The cake and the *J. curcas* seed meal obtained as sub-product from the extraction of vegetable oil, is rich in proteins, it can be used as an organic fertilizer, or for animal feed. However, its use as animal fed is complicated due to the presence of toxins in the seed that includes phorbol esters and the curcine, a type 1 protein that inactivates ribosomes. There are “non-toxic” or “edible” *J. curcas* genotypes, mainly in Mexico its probably

Cuadro 1. Atributos de los marcadores AFLP y diversidad genética de *Jatropha curcas* tóxicas y no tóxicas

Table 1. AFLP tags' attributes and genetic diversity of toxic and non-toxic *Jatropha curcas*.

Combinación de iniciadores	PIC ^a	EMR ^b	MIC ^c	RP ^d	DI ^e
E-ACA + M-GTA	0.209	99	20.67	29.67	0.62
E-ACA + M-GGT	0.153	104	15.87	20.98	0.48
E-AGA + M-GGT	0.124	60	7.43	9.86	0.67
E-ACG + M-CAG	0.176	77	13.54	18.59	0.63
Promedio	0.165	85	14.37	19.77	0.60

^aContenido de Información Polimórfica por Iniciador. ^bProporción Múltiple Efectiva.

^cÍndice de Marcador. ^dPoder de Resolución. ^eÍndice de Diversidad.

Cuadro 2. Combinación AFLP y accesiones con fragmentos específicos o únicos.**Table 2.** AFLP combination and accessions with specific, or unique fragments.

Combinación de iniciadores	Accesión	Fragmentos únicos	Accesión	Fragmentos raros
E-ACA + M-GTA	22 de Martínez de la Torre, Ver.	9	32 Pinotepa Nacional, Oax.	1
	7 de Yecuatla, Ver.	1	38 Apatzingán, Mich.	1
	8 de Jamapa, Ver.	1	61 de Copala, Gro.	1
	18 de Medellín de Bravo, Ver.		65 de Mochitlán, Gro.	1
E-ACA + M-GGT	22 de Martínez de la Torre, Ver.	16	71 de Acapulco, Gro.	1
	2 de Acayucan, Ver.	1		
E-AGA + M-GGT	22 de Martínez de la Torre, Ver.	12	38 Apatzingán, Mich.	1
	6 de Espinal, Ver.	1	64 de Mecatepec, Gro.	1
	31 de Santa María Tonameca, Oax.	1		
E-ACG + M-CAG	22 de Martínez de la Torre, Ver.	12	33 de Jicayán, Oax.	1
	32 Pinotepa Nacional, Oax.	2	45 de La Ruana, Mich.	1
	11 de Papantla, Ver.	1		

fertilizante orgánico, o en la alimentación animal. Sin embargo, su uso en la alimentación animal se complica debido a la presencia de toxinas en la semilla que incluyen ésteres de forbol y a la curcina, una proteína tipo I que inactiva a los ribosomas. Existen genotipos de *J. curcas* “no tóxicos” o “comestibles”, principalmente en México donde se encuentra el probable sitio de origen (Pecina-Quintero *et al.*, 2014).

Los genotipos no tóxicos mexicanos no contienen ésteres de forbol. Sin embargo, su contenido de curcina ha sido poco estudiado. He *et al.* (2011) analizaron el contenido de forbol y curcina en semillas de *J. curcas* procedentes de México y Madagascar. Las semillas no tóxicas carecieron de ésteres de forbol, mientras que la curcina estuvo presente tanto en los genotipos tóxicos como en los no tóxicos. Los ésteres de forbol se concentraron más en el tegumento de la semilla, mientras que la curcina se encontró tanto en el endospermo como en el tegumento. Es probable que la toxicidad de la semilla de *J. curcas* se deba a un rasgo monogénico, que puede estar bajo control materno. El análisis AFLP realizado en este mismo estudio indicó que la diversidad genética de *J. curcas* en la colección de Madagascar es

origin site (Pecina-Quintero *et al.*, 2014). The Mexican non-toxic genotypes do not contain phorbol esters. However, their curcin contents has not been well studied. He *et al.* (2011) analyzed the phorbol and curcin contents in *J. curcas* seeds from Mexico and Madagascar. The non-toxic seeds lacked phorbol esters, while curcin was found both in the toxic and non-toxic genotypes. The phorbol esters were more concentrated in the seed integument. It is likely that *J. curcas* seed toxicity, is due to a monogenic feature that may be under maternal control. The AFLP made in this same study indicated that the genetic diversity of *J. curcas* in the Madagascar’s collection was limited compared with the Mexican accessions (He *et al.*, 2011).

NON-TOXIC AND TOXIC GENOTYPES DISTINCTION

The cake is obtained as a sub-product from the extraction of oil from *J. curcas* seed and it has a high protein content, therefore it can be used as livestock feed, as long as it is a non-toxic genotype. In 2011 Mastan *et al.*, reported a multiple PCR test that can be used as a quality control standard to define suitability of the cake

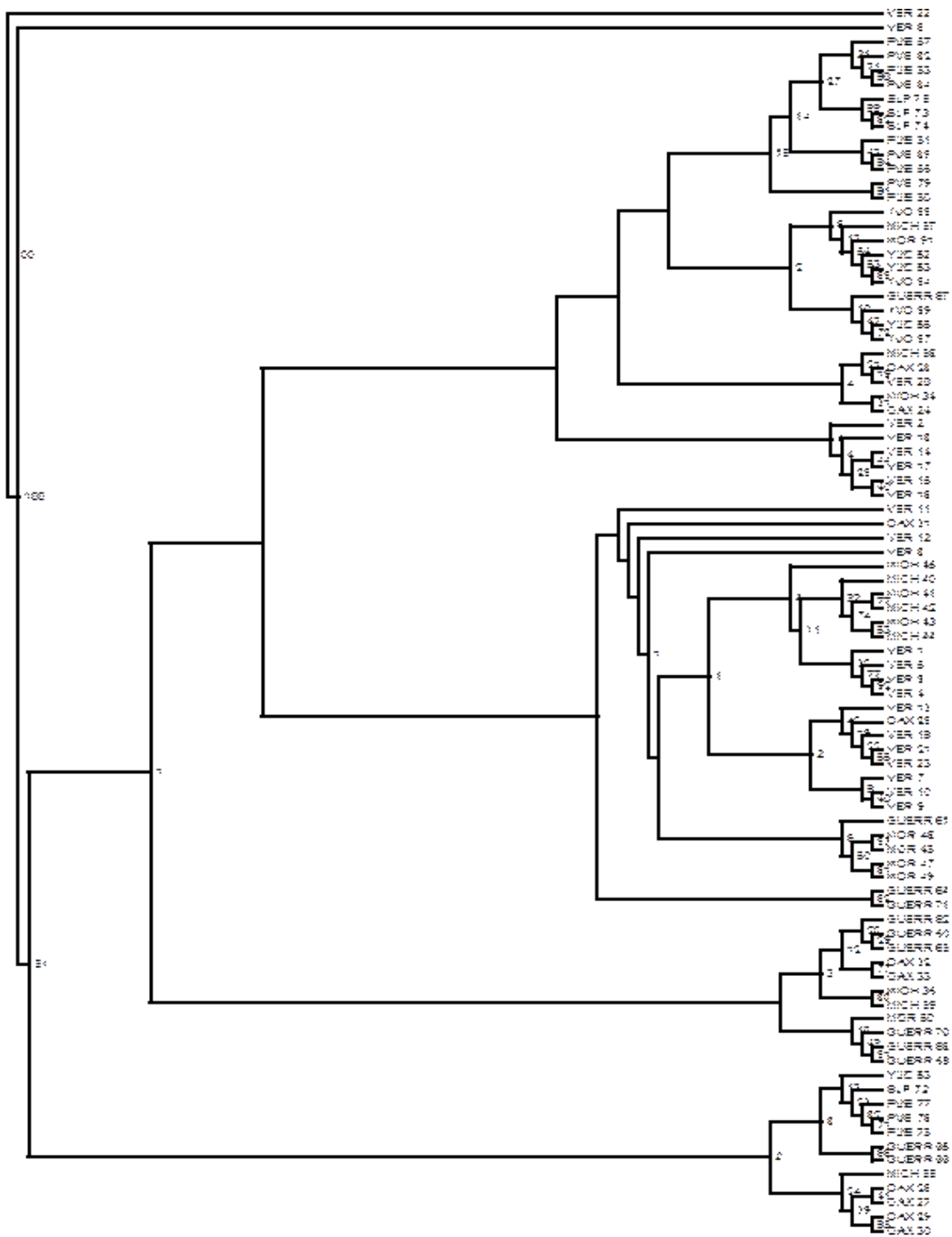


Figura 1. Dendrograma basado en 511 datos AFLP que muestra la estructura genética de 87 accesiones de *Jatropha curcas* L. de ocho estados de la República Mexicana.

Figure 1. Dendrogram based on 511 AFLP data that shows the genetic structure of 87 *Jatropha curcas* accessions. from eight states of the Mexican Republic.

limitada en comparación con las accesiones Mexicanas (He *et al.*, 2011).

DIFERENCIACIÓN DE GENOTIPOS TÓXICOS Y NO TÓXICOS

La torta que se obtiene como subproducto de la extracción del aceite de la semilla de *J. curcas* tiene un alto contenido de proteína, por lo que puede utilizarse en la alimentación de ganado, siempre y cuando se trate de genotipos no tóxicos. En 2011 Mastan *et al.*, reportaron una prueba de PCR múltiple, que puede usarse como un criterio de control de calidad para utilizar la torta en la alimentación animal, y que permite diferenciar los genotipos de *J. curcas* tóxicos de los no tóxicos utilizando los iniciadores de tipo SCAR NT-JC/SCARI/OPQ15-F, y NT-JC/SCARI/OPQ15-R. La prueba es capaz de diferenciar a estos genotipos incluso en una población mixta que incluya a otras especies, ya que utiliza un par de iniciadores diseñados a partir de la región conservada nrDNA ITS (JCITS-1-F y JCITS-2-R), con lo que se descartan los falsos negativos que se producen con frecuencia al utilizar estos iniciadores de tipo SCAR.

MAPEO DEL GEN CODIFICANTE DEL ÉSTER DE FORBOL

Como un paso importante hacia el desarrollo de mejores variedades de *J. curcas*, se construyó un mapa de ligamiento de cuatro poblaciones de mapeo F2. El mapa de ligamiento en consenso contiene 502 marcadores codominantes, distribuidos en 11 grupos de ligamiento, con una densidad de marcador media de 1.8 cM por locus único. El análisis de la herencia de la biosíntesis del éster de forbol indicó que este es un rasgo dominante monogénico de control materno, lo que indicó que la biosíntesis de los ésteres de forbol se produce sólo dentro de los tejidos maternos. El rasgo segregó 3:1 dentro de semillas recolectadas de plantas F2, y el análisis de QTL reveló que un locus en el grupo de ligamiento 8 era responsable de la biosíntesis del éster de forbol. En este mismo estudio se realizó un mapeo

in animal feed and allows to differentiate toxic from no-toxic *Jatropha curcas* genotypes using SCAR-JC/SCARI/OPQ15-F, and NT.JC/SCARI/OPQ15-R primers. The test is able to distinguish these genotypes even in mixed populations that includes other species, since it uses a pair of primers designed from the preserved region nrDNA ITS (JCITS-1-F and JCITS-2-R), therefore fake negatives are dismissed when these kind of SCAR type are used.

PHORBOL ESTERS CODING GENE MAPPING

As an important step towards the development of better varieties of *J. curcas*, a four F2 population linkages map was built. The linkage map in consensus has 502 co-dominating markers distributed in 11 linkage groups, with an average density marker of 1.8 cM by unique locus. The phorbol esters biosynthesis heredity analysis indicated that phorbol esters biosynthesis is produced just within the maternal tissues. The character segregated 3:1 within the collected seeds of F2 plants, and the QTL analysis revealed that a locus in the linkage group 8 was responsible for the phorbol esters biosynthesis. In this same study, comparative mapping was carried out between the *J. curcas* and *Ricinus communis* genome to develop additional markers and the mutation located in 2.3 cM. The linkage map offers a frame to examine the agronomic characteristics of *J. curcas* and the development of improved varieties by assisted selection using molecular markers (SAMM). It is expected that locus identification, responsible of the phorbol esters biosynthesis, will facilitate the generation of new non-toxic varieties more rapidly (Andrew *et al.*, 2013).

GENE SILENCING OF CURCIN GENE

One of the strategies to generate non-toxic varieties and to study the function of the genes is the gene silencing. Patade *et al.* (2014) designed RNAi of the curcin precursor gene and transformed *J. curcas* with the RNAi designed, to

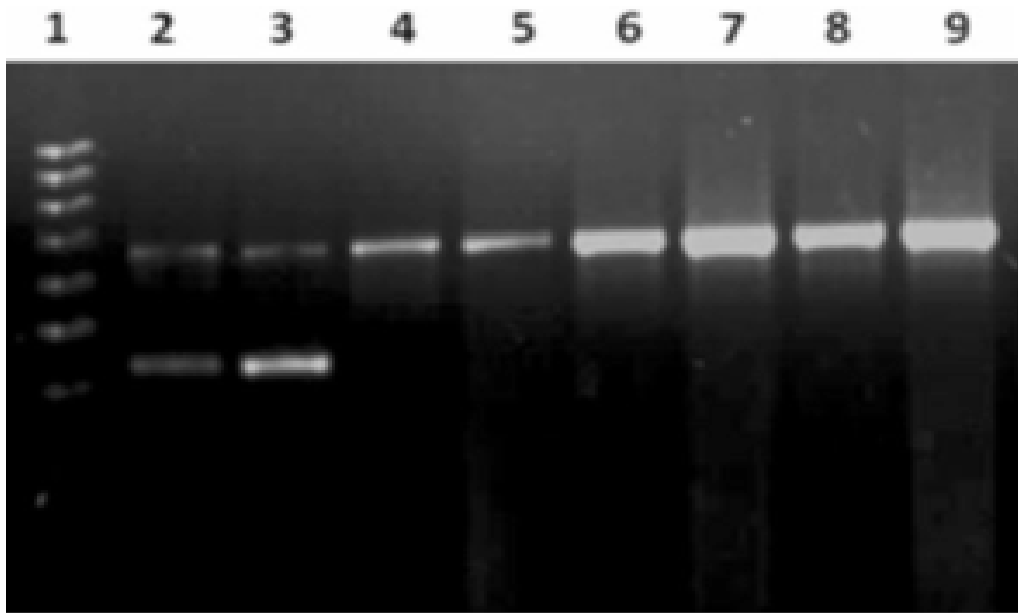


Figura 2. Prueba de PCR usando los iniciadores NT-JC/SCARI/OPQ15-F, NT-JCSCARI OPQ15-R, JCITS-1-F, y JCITS-2-R; línea 1 marcador 100 bp; líneas 2 y 3 amplificación de genotipos no-tóxicos; líneas 4–9 amplificación de genotipos tóxicos de *J. curcas*.

Figure 2. PCR test using the NT-JC/SCARI/OPQ15-F, NT-JC/SCARI/OPQ15-R, JCITS-1-F, and JCITS-2-R originators; line 1, 100 bp marker; lines 2 and 3 non-toxic genotype amplification; lines 4-9 toxic genotype amplification of *J. curcas*.

comparativo entre el genoma de *J. curcas* y *Ricinus communis* para desarrollar marcadores adicionales, la mutación se ubicó 2.3 cM. El mapa de ligamiento ofrece un marco para examinar las características agronómicas de *J. curcas*, y el desarrollo de variedades mejoradas por selección asistida por marcadores moleculares (SAMM). Se espera que la identificación del locus responsable de la biosíntesis de ésteres de forbol permitirá generar nuevas variedades no tóxicas de forma más rápida (Andrew *et al.*, 2013).

SILENCIAMIENTO GÉNICO DEL GEN DE CURCINA

Una de las estrategias para generar variedades no tóxicas y estudiar la función de los genes es el silenciamiento génico. Patade *et al.* (2014) diseñaron RNAi del gen precursor de curcina y transformaron con él a *J. curcas* para reducir la transcripción de esta proteína. La curcina es una proteína tipo I, presente en *J. curcas*, que inactiva al ribosoma y es codificada por el gen precursor

reduce the transcription of this protein. Curcin is a type I protein, present in *J. curcas*, that inactivates the ribosomes and is codified by the curcin precursor gene. The strategy consisted of cloning part of the curcin gene orientated forward and reverse, separated by an intron sequence and subsequent transformation with the strain GV3101 of *Agrobacterium tumefaciens*. With this strategy, 10 of the 30 tested seedlings were transformed, and the transcription abundance also reduced in more than 98 % to an undetectable level. However, it has not as yet been reported what the effect of the gene silencing was on the reduction in the curcin content in the transformed plants.

GENOME SEQUENCING

The *J. curcas* complete genome sequencing and the development of linkage maps, are important elements of genetic and molecular improvement. It is expected that genome sequencing can

transcripción de esta proteína. La curcina es una proteína tipo I, presente en *J. curcas*, que inactiva al ribosoma y es codificada por el gen precursor de curcina. La estrategia consistió en clonar parte del gen de curcina en orientación sentido y antisentido, separadas por una secuencia de intrón y su posterior transformación con la cepa cepa GV3101 de *Agrobacterium tumefaciens*. Con esta estrategia se lograron transformar 10 de las 30 plántulas ensayadas, y se logró reducir la abundancia de la transcripción en más de un 98 % y hasta un nivel indetectable. Sin embargo, aún no se ha reportado el efecto del silenciamiento génico del transcrito sobre la reducción en el contenido de curcina en la semilla de las plantas transformadas.

SECUENCIACIÓN DEL GENOMA

La secuenciación del genoma completo de *J. curcas* y el desarrollo de mapas de ligamiento son componentes importantes del mejoramiento molecular y genético, se espera que la secuencia genómica pueda acelerar la investigación básica y aplicada en *J. curcas*. Sato *et al.* (2011) publicaron la secuencia del genoma de *J. curcas* en la cual utilizaron una combinación del método de Sanger convencional y métodos de secuenciación de nueva generación multiplex. La longitud total de las secuencias no redundantes obtenidas fue de 285 858 490 pb, consistió de 120 586 contigs y 29 831 singletes. Estas secuencias representan 95 % de las regiones que contienen genes, con un promedio en el contenido de G y C de 34.3 %. Se dedujo un total de 40 929 estructuras completas y parciales de genes que codifican proteínas. Al realizar una comparación con genes de otras especies de plantas se observó que 1529 (4 %) de los genes que codifican proteínas putativas fueron específicos a la familia Euphorbiaceae. También se observó un alto grado de microsintenia con el genoma de ricino y, en menor medida, con los de soya y *Arabidopsis thaliana*. En paralelo con la secuenciación del genoma, el ADNc derivado de tejidos de hojas y callo se sometió a pirosecuenciación, y se obtuvo un total de 21 225 datos de gene únicos.

accelerate the basic research applied in *J. curcas*. Sato *et al.* (2011) published the genome sequencing of *J. curcas* in which they used a combination method of conventional Sanger and a new multiplex generation sequencing method. The total length of the obtained non-redundant sequences was 285,858,490 pb, consisting on 120, 568 contigs and 29,831 singlets. These sequences represented 95 % of the regions that contain genes with an average in the contents G and C of 34.3 %. A total of 40,929 complete and partial gene structures were deduced. By doing a comparison with the genes of other species of plants, it was observed that 1,529 (4 %) of the genes that codify putative proteins were specific to the Euphorbiaceae family. Also observed was a high microsynteny degree with the castor oil genome and, to a lesser extent, with soybean and *Arabidopsis thaliana*. Along with the genome sequencing, the ADNc derived from tissue leaf was put in pyrosequencing, and a total of 21,225 unique gene data was obtained. The *J. curcas* genome assembled by Wu *et al.* (2015) has a total length of 320.5 Mbps and it contained a putative protein gene codifier. Plus, a linkage map was established that contains 1,208 markers and when assembled 81.7 % of the genome. With this map, 11 pseudo chromosomes were identified. After the gene familiar group, 15,268 families were identified, from which 13,887 showed affinity to the castor oil genome. The genome analysis highlighted the contraction and expansion of a large number of specific family genes during the evolution of this species, including the inactivator proteins of the ribosomes and enzymes of oil biosynthesis. The genome sequencing and the linkage maps are a valuable resource for the evolutionary and comparative genomic analysis of *J. curcas*.

MAPPING OF TOLERANCE TO ABIOTIC FACTORS

The tolerance to salinity and to soil dryness by crops, has been an important objective in the development of modern agriculture and it depends on the understanding the functions of

El genoma de *J. curcas* ensamblado por Wu *et al.* (2015) tiene una longitud total de 320.5 Mbps y contiene 27 172 genes codificadores de proteínas putativas. Se estableció además, un mapa de ligamiento que contiene 1208 marcadores y se ha ensamblado el 81.7 % del genoma, con este mapa se ha logrado construir 11 pseudo cromosomas. Después de la agrupación de la familia de genes, se identificaron 15 268 familias, de las cuales 13 887 existía en el genoma de ricino. El análisis del genoma destacó la expansión y contracción de un gran número de familias de genes específicos durante la evolución de esta especie, incluyendo las proteínas inactivadoras de ribosomas y enzimas de la ruta de biosíntesis de aceite. La secuencia genómica y los mapas de ligamiento son un recurso valioso para el análisis de la genómica evolutiva y comparativa de *J. curcas*.

MAPEO DE LA TOLERANCIA A FACTORES ABIÓTICOS

La tolerancia a la salinidad y a la sequía por los cultivos ha sido un objetivo importante en el desarrollo de la agricultura moderna y depende de la comprensión de las funciones de los genes expresados durante el proceso de adaptación al estrés. Los marcadores de secuencia expresada o EST (expressed sequence tag) son una solución eficaz y rentable para el descubrimiento de genes. Eswaran *et al.* (2012) analizaron 1240 EST generados a partir de bibliotecas de ADNc raíz de *J. curcas*. La mayoría de los factores de transcripción detectados tenían similitud de secuencia con genes conocidos por estar involucrados en la tolerancia al estrés abiótico y biótico. El patrón de expresión de nueve genes seleccionados reveló que estos genes se expresan diferencialmente en diversos tejidos durante la adaptación al estrés. Este tipo de datos podrían servir a los programas de mejoramiento de plantas para mejorar la adaptación de *J. curcas* a tierras marginales. Por otra parte Wang *et al.* (2015) reportan un nuevo gen del factor de transcripción de tipo AP2/ERF, llamado JcERF2, el cual fue

expresado durante el proceso de adaptación al estrés. El tag de secuencia expresada o EST, es una solución eficiente y rentable para el descubrimiento de genes. Eswaran *et al.* (2012) analizaron 1 240 EST generados de bibliotecas de ADNc de raíces de *J. curcas*. La mayoría de los factores de transcripción detectados tenían similitud de secuencia con genes conocidos involucrados en la tolerancia al estrés biótico y abiótico. Este tipo de datos podrían servir a los programas de mejoramiento de plantas para mejorar la adaptación de *J. curcas* a tierras marginales. Por otro lado Wang *et al.* (2015) reportan un nuevo gen del factor de transcripción de tipo AP2/ERF, llamado JcERF2, que fue aislado de hojas de *J. curcas*. El análisis de la secuencia mostró que el gen JcERF2 contiene un marco de lectura de 759pb que codifica un polipéptido de 252 aminoácidos. El JcERF2 proteína contiene una unión AND (dominio AP2/ERF) con 58 aminoácidos. La proteína JcERF2 es altamente homóloga con otros ERFs. JcERF2 fue localizado en el núcleo mediante análisis de fusión de proteínas, proteína fluorescente JcERF2-verde (GFP). El análisis cuantitativo de la reacción en cadena de la polimerasa (QPCR) mostró que JcERF2c fue inducido por sequía, sal, ácido abiótico y etileno. La sobreexposición de JcERF2 en plantas transgénicas de tabaco aumentó la expresión de genes relacionados con el estrés biótico y abiótico, el aumento de la prolina libre y los carbohidratos solubles conferido a la tolerancia a la sequía y sal en comparación con el tipo salvaje. El gen JcERF2 es un nuevo factor de transcripción AP2/ERF involucrado en la respuesta de la planta a factores ambientales que puede ser utilizado como un candidato potencial para el mejoramiento genético de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

Eswaran, N., Parameswaran, S., Anantharaman, B., Raja Krishna Kumar, G., Sathram, B., and Sudhakar Johnson, T. (2012). Generation of an expressed sequence tag (EST) library from salt stressed roots of *Jatropha curcas* for identification of abiotic stress responsive genes. *Plant Biol.* 14(3):428-437.

aislado de hojas de *J.* un marco de lectura abierto de 759 pb que codifica un polipéptido de 252 aminoácidos. La proteína JcERF2 predicha contiene una unión a ADN dominio conservado *curcas*. El análisis de la secuencia mostró que el gen JcERF2 contiene (el dominio AP2/ERF) con 58 aminoácidos. La proteína JcERF2 es altamente homóloga con otros ERFs. JcERF2 se localizó en el núcleo mediante análisis con una proteína de fusión proteína fluorescente JcERF2-verde (GFP). El análisis cuantitativo de reacción en cadena de la polimerasa (qPCR) mostró que JcERF2 fue inducida por sequía, sal, ácido abscísico, y etileno. La sobreexpresión de JcERF2 en plantas de tabaco transgénicas aumentó la expresión de genes relacionados con el estrés biótico y abiótico, el aumento de la acumulación de prolina libre y carbohidratos solubles, le confiere tolerancia a la sequía y sal en comparación con el tipo silvestre. El gen JcERF2 es un nuevo factor de transcripción AP2/ERF involucrado en respuesta de la planta a factores ambientales que pueden ser utilizado como un gen candidato potencial para la ingeniería genética de los cultivos.

He, W., King, A. J., Khan, M. A., Cuevas, J. A., Ramiarmanana, D., and Graham, I. A. 2011. Analysis of seed phorbol-ester and curcumin content together with genetic diversity in multiple provenances of *Jatropha curcas* L. from Madagascar and Mexico. *Plant Physiol. Bioch.* 49(10):1183-1190.

King, A. J., Montes, L. R., Clarke, J. G., Affleck, J., Li, Y., Witsenboer, H., and Graham, I. A. 2013. Linkage mapping in the oilseed crop *Jatropha curcas* L. reveals a locus controlling the biosynthesis of phorbol esters which cause seed toxicity. *Plant Biotech. J.* 11(8):986-996

Mastan, S. G., Sudheer, P. D., Rahman, H., Reddy, M. P., and Chikara, J. (2012). Development of SCAR marker specific to non-toxic *Jatropha curcas* L. and designing a novel multiplexing PCR along with nrDNA ITS primers to circumvent the false negative detection. *Mol. Biotech.* 50(1):57-61.

Patade, V. Y., Khatri, D., Kumar, K., Grover, A., Kumari, M., Gupta, S. M., & Nasim, M. (2014). RNAi Mediated curcumin precursor gene silencing in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). *Mol. Biol. Rep.* 41(7):4305-4312

Pecina, Q. V., Anaya, L. J. L., Zamarripa, C. A., Núñez, C. C. A., Montes, G. N., Solís, B. J. L., and Jiménez, B. M.F. 2014. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in México and probable centre of origin. *Biomass Bioen.* 60:147-155.

Sato, S., Hirakawa, H., Isobe, S., Fukai, E., Watanabe, A., *et al.* 2011. Sequence analysis of the genome of an oil-bearing tree, *Jatropha curcas* L. *DNA Res.* 18(1):65-76.

Wang, X., Han, H., Yan, J., Chen, F., & Wei, W. (2015) A New AP2/ERF Transcription Factor from the Oil Plant *Jatropha curcas* Confers Salt and Drought Tolerance to Transgenic Tobacco. *Appl. Bioch. Biotech.* 176(2):582-597.

Wu, P., Zhou, C., Cheng, S., Wu, Z., Lu, W., *et al.* 2015. Integrated genome sequence and linkage map of physic nut (*Jatropha curcas* L.), a biodiesel plant. *Plant J.* 81(5):810-821

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO, ENERGÉTICO Y EMISIONES

DE GASES DE PIÑÓN MEXICANO (*Jatropha curcas* L.)

AGRONOMIC, ENERGETIC AND GAS EMISSION BEHAVIOR OF MEXICAN PINE NUT (*Jatropha curcas* L.)

José Luis Solís Bonilla^{1*}, Víctor Pecina Quintero², Ana Laura Reyes Reyes¹, Biaani Beu Martínez Valencia¹, Alfredo Zamarripa Colmenero³, Lexi Javivi López Ángel⁴, Enrique Riegelhaupt⁵, Guillermo López Guillen¹ y Edwin Javier Barrios Gómez⁶.

¹INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán. C.P. 30870. Tuxtla Chico, Chiapas, México. reyes.ana@inifap.gob.mx, martinez.biaani@inifap.gob.mx, lopez.guillermo@inifap.gob.mx, ²INIFAP-Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, C.P. 38110 Celaya, Guanajuato, México. pecina.victor@inifap.gob.mx. ³RD2 Visión, Camino a Calance S/N C.P. 30870, Tuxtla Chico, Chiapas. zamarripaco.alfre@yahoo.com.mx. ⁴Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, Carretera Panamericana Km. 995, C.P. 30400 Cintalapa, Chiapas lexijavivi_07@hotmail.com. ⁵REMBIO, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta 58190 Morelia, Michoacán. riegelya@yahoo.com. ⁶INIFAP-Campo Experimental Zacatepec Km. 0.5 Carretera Zacatepec-Galeana. C.P. 62780. Zacatepec, Morelos, México. barrios.edwin@inifap.gob.mx. *Autor para correspondencia.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue conocer el comportamiento agronómico, energético y de emisiones de gases de accesiones de *Jatropha curcas* del Banco Nacional de Germoplasma del INIFAP. La colección está compuesta de 422 accesiones colectadas en diferentes ambientes y está ubicada en el Campo Experimental Rosario Izapa en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas. Para la evaluación agronómica se trabajó en 92 accesiones y se registró el número de inflorescencias, número de flores masculinas y femeninas, número de frutos, peso de semilla y toxicidad. Para el análisis del balance energético y de emisiones de gases se basó en las directrices establecidas por la Directiva Europea de Energías Renovables. Se consideraron tres años del cultivo de acuerdo al paquete tecnológico generado por el INIFAP. El número de inflorescencias varió de 1 a 230 por planta en un ciclo. El máximo valor de flores masculinas fue de 17 833 flores por planta en un ciclo. El valor máximo de flores femeninas fue de 1 064 flores por planta en un ciclo. Se detectaron árboles con flores completamente

ABSTRACT

The goal of this study is to determine the agronomic, energetic and gas emission behavior of *Jatropha curcas* accessions in the INIFAP National Germplasm Bank. The collection is made up of 422 accessions collected from different environments and is located at the Experimental Field Rosario Izapa in Tuxtla Chico, Chiapas. For the agronomic evaluation 92 accessions were worked. Records were taken of the number of inflorescences, male and female flowers, fruits, the weight of the seed, and its toxicity. For the analysis of energy and gas emission balance, we followed the guidelines established by the European Renewable Energy Directive. Three cultivation years were considered, according to the technological package created by INIFAP. The number of inflorescences varied from 1 to 230 per plant in one cycle. The maximum number of male flowers was 17 833 flowers per plant per cycle. The maximum number of female flowers was 1 064 flowers per plant per cycle. Trees with only female flowers were detected. The consumed and produced energy in relation to

femeninas. La relación entre energía consumida y producida en los tres años del cultivo fue de 1:5.1. El balance de emisiones pasa de 11 % en el año 1, a 73 % en el año 2 con respecto a la referencia del diésel fósil que equivale a 83.8 kg CO₂eq GJ. La diversidad genética que existe en *J. curcas* representa una base importante para obtener cultivares de alto rendimiento con alta eficiencia energética y de emisiones de gases para la producción de biocombustibles en México.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, análisis del ciclo de vida, biocombustibles.

INTRODUCCIÓN

México ocupa el noveno lugar como país contaminante del planeta, con una emisión alrededor de 2 % del total mundial de gases con efecto invernadero; se estima que para los próximos años será el doble, si no se toman medidas para la reducción de emisión de gases contaminantes (Cervantes, 2006). Aunado a los problemas ambientales, el agotamiento de las reservas probadas de petróleo del país, justifican la necesidad de explorar nuevas fuentes de energía renovables como el etanol y el biodiesel a partir de especies agropecuarias y forestales. Ante esta situación, México está impulsando el uso de energías renovables más eficientes y limpias como los biocombustibles para disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del ambiente. Para ello, el Gobierno de México decretó en Febrero del año 2008, la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos que considera, entre otros propósitos, la diversificación energética mediante fuentes renovables de energía como los biocombustibles y el impulso a la Investigación e Innovación Tecnológica así como a la agroindustria para la producción de biodiesel y etanol (Zamarripa *et al.*, 2009).

En este contexto, el INIFAP estableció un Programa Nacional de Investigación en Bioenergía para generar conocimientos y desarrollar tecnología sobre biocombustibles con énfasis en la obtención de bioetanol y biodiesel. Una de las alternativas para la producción de biodiesel en México es *Jatropha curcas* L. conocida

three cultivation year was 1:5.1. The balance of emissions went from 11 %, in the first year, to 73 %, in the second year, according to the fossil diesel reference which is equivalent to 83.8 kg CO₂eq GJ. Genetic diversity in *J. curcas* represents an important basis for obtaining high performance cultivars with high energetic and gas emission efficiency for biofuel production in Mexico.

Key words: *Jatropha curcas*, life cycle analysis, biofuels.

INTRODUCTION

Mexico is the ninth most contaminating country on the planet, with emissions of around 2 % of total global greenhouse gases. It is estimated that in the next few years this will double, if measures are not taken to reduce greenhouse gas emissions (Cervantes, 2006). In addition to these environmental problems, the exhaustion of the country's proven oil reserves justifies the need to explore new sources of renewable energy such as ethanol and biodiesel made from forest and agricultural species. Facing this situation, Mexico is developing the use of cleaner and more efficient renewable energies, such as biofuels, to decrease the effect of climate change and contribute to the preservation of the environment. For this purpose, in February, 2008 the government of Mexico introduced the Bioenergy Promotion and Development Law which considers, among other purposes, energetic diversification through renewable energies such as biofuels, and fostering Research and Innovative Technology, as well as the agro-industry for biodiesel and ethanol production (Zamarripa *et al.*, 2009).

In this context, INIFAP established a National Bioenergy Research Program to generate knowledge and develop technology on biofuels, placing emphasis on obtaining bioethanol and biodiesel. One of the alternatives to producing biodiesel in Mexico is *Jatropha curcas* L. commonly known as Mexican pine nut in Chiapas and other Southeastern states. Under this program and considering the broad diversity observed in Southeast Mexico, research was conducted, jointly with the National Autonomous

comúnmente en Chiapas y otros estados del sureste como piñón mexicano. En el marco de este programa y considerando la amplia diversidad observada en el sureste mexicano, se desarrolló investigación, en conjunto con la Universidad Nacional Autónoma de México - Unidad Morelia, para evaluar la factibilidad técnica del piñón mexicano como productor de materia prima para la producción de biodiesel en México.

El piñón es nativo de México y países de Centroamérica, con un gran potencial como biocombustible por su alto rendimiento de aceite. El aceite puede ser usado como materia prima para la producción de biodiesel o bioturbosina para el transporte terrestre y aéreo, respectivamente. También tiene ventajas ecológicas, por su capacidad regenerativa de los suelos y por su eficiencia en la reducción de la erosión hídrica y eólica. La gran ventaja de *J. curcas* en relación con otras especies como soya, girasol o cártamo es el hecho de que no se usa masivamente para la alimentación humana. Todo lo anterior, ha posicionado al piñón en varios países del mundo como la mejor alternativa para la producción de biodiesel (Zamarripa y Solís, 2013).

La investigación sobre cultivos energéticos en México obedece a la necesidad de diversificar la matriz energética y reducir la emisión de gases de efecto invernadero mediante el uso de biocombustibles líquidos. Sin embargo, para que se constituyan como una fuente de energía renovable, los cultivos energéticos deben de ser eficientes desde el punto de vista agronómico y tener un balance de energía y de emisiones de gases que indique que la relación de energía utilizada y la energía generada durante el proceso de obtención del biocombustible sea positiva; de la misma forma, que la relación de gases emitidos durante el proceso sea menor a la referencia de combustible fósil. El objetivo del presente estudio fue determinar el comportamiento agronómico, energético y de emisiones de gases, de 92 accesiones de piñón mexicano del Banco Nacional de Germoplasma del INIFAP, como fuente de materia prima para la obtención de biocombustibles en México.

University of Mexico (UNAM) in Morelia, to evaluate the technical feasibility of the Mexican pine nut as source of raw material for biodiesel production in Mexico.

Pine nut is native to Mexico and Central American countries; it has great potential as a biofuel due to its high oil content. Its oil can be used as raw material for biodiesel or bioturbosine production for aerial and ground transportation, respectively. It also has ecological advantages due to its soil regeneration capacity and its efficiency in reducing water and wind erosion. The great advantage of *J. curcas* when compared with other species like soybean, sunflower or safflower, is the fact that it is not used on a massive scale for human consumption. All of the above mentioned, has positioned the pine nut as the best alternative to produce biodiesel in many countries around the world (Zamarripa and Solís, 2013).

Research on energy crops in Mexico complies with the need to diversify the energy matrix and reduce greenhouse gas emissions through the use of liquid biofuels. However, in order to establish themselves as a renewable energy source, energy crops have to be effective from an agronomic perspective and have an energy and gas emission balance that shows that used and generated energy relation during the biofuel obtaining process is positive. Likewise, the relation of emitted gases during the process has to be less than the fossil fuel reference. The goal of this study was to determine the agronomic, energetic and gas emission behavior of 92 Mexican pine nut accessions at the INIFAP National Germplasm Bank, as a potential raw material source to obtain biofuels in Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Starting in 2007, a national collect of Mexican pine nut (*Jatropha curcas* L.) genotypes was carried out in the states of Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Morelos, Guerrero, Michoacán, San

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del año 2007, se realizó la colecta nacional de genotipos de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Morelos, Guerrero, Michoacán, San Luis Potosí, Puebla y Yucatán, bajo diferentes condiciones de suelo, clima y altitud, registrando los datos pasaporte correspondientes. En los sitios de colecta, la precipitación varió de 400 a 4 200 mm anuales, la temperatura fluctuó entre 18 y 28 °C, y la altitud varió de 0 a 1 950 m. Se estableció el banco nacional de germoplasma con 422 accesiones, con seis plantas de cada accesión. El banco de germoplasma está ubicado en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, a una altitud de 400 m, bajo condiciones de selva tropical húmeda con 26 °C de temperatura media anual y precipitación media anual de 4 194 mm.

Para la evaluación agronómica se trabajó en 92 accesiones, en las que se registró el número de inflorescencias, número de flores masculinas y femeninas, número de frutos, peso de semilla y su toxicidad. La metodología utilizada para el cálculo del balance energético y de emisiones de gases se basó en las directrices establecidas por la Directiva Europea de Energías Renovables (DEER, 2009). El modelo permite contabilizar el gasto energético y las emisiones de GEI de todos los insumos, tomando en cuenta tres etapas: agrícola, industrial y transporte, analizando los valores de forma individual (Farrel *et al.*, 2006).

En la determinación del balance energético se consideraron tres años del cultivo conforme a la planilla de inventario de insumos en la etapa agrícola, industrial y de transporte, de acuerdo al paquete tecnológico generado por el INIFAP para el cultivo intensivo de piñón mexicano en monocultivo de temporal, en condiciones de trópico húmedo, el cual sugiere distancia de siembra de 1.5 x 1.5 m, lo que equivale a una densidad de población de 4 444 plantas ha⁻¹. Para el análisis de balance de emisiones de gases se consideró el primer y segundo año del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización agronómica mostró diferencias

Luis Potosí, Puebla and Yucatán, under different soil, weather and altitude conditions, registering all the corresponding passport data. At the collection sites, precipitation varied from 400 to 4 200 mm per year, temperature fluctuated between 18 and 28 °C, and altitude varied from 0 to 1 950 m. The National Germplasm Bank was provided with 422 accessions, with six plants from each accession. The germplasm bank is located in Tuxtla Chico, Chiapas, at an altitude of 400 m, under humid tropical rainforest conditions with 26 °C average annual temperature and average annual precipitation of 4 194 mm.

The agronomic evaluation was worked on 92 accessions, in which the number of inflorescences, male and female flowers, fruits, the weight of the seed, and toxicity were recorded. The methodology used for calculating the energy and gas emission balance was based on the guidelines established by the European Renewable Energy Directive (DEER, 2009). The model allows us to record energy expenditure and GHG emissions of all consumables, taking into account three phases: agricultural, industrial and transportation, analysing values individually (Farrel *et al.*, 2006).

In determining energy balance, three cultivation years were considered according to the inventory form of consumables in the agricultural, industrial and transportation phase, in accordance with the technological package created by INIFAP for intensive agriculture of Mexican pine nut in dryland monoculture in the humid tropical conditions, which suggests sowing distance of 1.5 x 1.5 m, which is equivalent to a population density of 4 444 plants ha⁻¹. For the analysis of gas emission balance the first and second year of cultivation were considered.

RESULTS AND DISCUSSION

Agronomic characterisation showed significant differences among accessions in the number of inflorescences and fruits, fruit weight, as well as

significativas entre las accesiones en el número de inflorescencias y frutos, peso de fruto, así como peso, longitud y grosor de la semilla (Cuadro 1).

Cabe señalar que existe una alta correlación positiva entre plantas femeninas y rendimiento de semilla en campo (datos no mostrados). Se encontró una gran variación en las diferentes variables registradas, lo que indica que existe amplia diversidad genética en las accesiones del banco de germoplasma del INIFAP, como fue mostrado por Zamarripa *et al.* (2010) y por Pecina *et al.* (2010; 2011; 2014) a través de estudios morfológicos y genéticos, usando marcadores moleculares en *Jatropha curcas* L.

Para el análisis del balance energético (Cuadro 2), en el primer año se consideró un rendimiento de fruto fresco de 2.5 t, equivalente a 0.5 t de grano seco; como producto de las podas se obtuvo 1.110 t de materia seca (MS) ha⁻¹. Para el segundo año se consideró el rendimiento de 5.125 t de fruta fresca, equivalentes a 1.125 t de grano seco, y como producto de las podas, 2.750 t MS ha⁻¹. En el tercer año se consideró un rendimiento de 2.2 t ha⁻¹ de grano seco y 3 t MS ha⁻¹ como resultado de las podas. Para la producción energética se

weight, length and thickness of the seed (Table 1).

It is worth noting that there is a high positive correlation between female plants and seed performance in the field (data not shown). Great variation was found in the different registered variables, which indicates that there is broad genetic diversity in the accessions from the INIFAP germplasm bank, as it was shown by Zamarripa *et al.* (2010) and by Pecina *et al.* (2010; 2011; 2014) through morphological and genetic studies using molecular markers in *J. curcas* L.

In the energy balance analysis (Table 2), it was estimated a fresh fruit yield of 2.5 t in the first year, which is equivalent to 0.5 t of dry grain; as a result of pruning, 1.110 t of dry matter (DM) ha⁻¹ was obtained. In the second year, a yield of 5.125 t of fresh fruit was estimated, equivalent to 1.125 t of dry grain, and 2.750 t DM ha⁻¹ as a result of pruning. In the third year, an estimated production of 2.2 t ha⁻¹ of dry grain was taken into account, as well as 3 t DM ha⁻¹ as a result of pruning. For energy production, the yield of grain per hectare was taken into account. Also it was estimated a 50 % oil content and 85 % efficiency

Cuadro 1. Variación de características de flor, fruto y semilla de accesiones de *Jatropha curcas* L. establecidas en el banco de germoplasma del INIFAP.

Table 1. Variation in flower, fruit and seed characteristics from *Jatropha curcas* L. accessions established in the INIFAP germplasm bank.

Características	Variación
Número de inflorescencias	1 - 230
Número de flores masculinas	6 – 17 883
Número de flores femeninas	1 - 1064
Número de frutos	1 - 1018
Peso de semilla (g)	0.3 - 1.3
Largo de semilla(cm)	1.1 - 2.1
Ancho de semilla (cm)	0.7 - 1
Ésteres de forbol (mg/g)	0.60 - 3.56

Cuadro 2. Resumen del Balance energético del cultivo de piñón mexicano (MJ ha⁻¹).**Table 2.** Summary of the energy balance of the Mexican pine nut crop (MJ ha⁻¹).

Etapas	Año 1	Año 2	Año 3	Total
Fase Agrícola	10205	9107	11371	21503
Transporte	3929	3450	3638	11017
Industrial	661	1526	1842	4029
Consumo Total	14795	14083	16851	36549
Producción energética	28168	70237	90575	188980
Relación energética	1 : 1.9	1:4.9	1:5.4	1 : 5.1

consideró el rendimiento de grano por hectárea; además, se tomó en cuenta 50 % del contenido de aceite y un 85 % de eficiencia en la extracción de prensado (producción de grano x 0.50 x 0.85). El poder calorífico del aceite de piñón empleado fue de 39.5 MJ kg⁻¹. Se obtuvo que para la fase agrícola, durante los tres años del cultivo, considerando la producción energética de la leña, se tiene un consumo de 21 503 MJ ha⁻¹; para la fase de transporte, el gasto energético fue de 11 017 MJ ha⁻¹. En la fase industrial, considerando una etapa del proceso, el gasto energía fue de 4 029 MJ ha⁻¹, tomando en cuenta los tres años de producción. La producción energética en tres años fue de 188 980 MJ ha⁻¹ y el gasto de energía alcanzo 36 549 MJ ha⁻¹. La relación entre energía consumida y producida fue de 1:5.1.

En el Balance de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (Cuadro 3), se aprecia que la mayor emisión de GEI correspondió a las actividades de la etapa agrícola con 1 276 kg CO₂eq ha⁻¹ emitidos. El valor de las emisiones en la producción de biodiesel en el primer año es de 74.8 kg CO₂eq GJ, se produce un 11 % menos GEI con respecto a la referencia establecida por la Unión Europea del diesel fósil que equivale a 83.8 kg CO₂eq GJ. Es decir que en el primer año de establecimiento está mitigando un 11 % de gases contaminantes. En el segundo año del cultivo, las emisiones de gases contaminantes son menores en la etapa agrícola con 711.6 kg CO₂eq ha⁻¹ respecto al año del establecimiento del cultivo. El balance de emisiones fue de 22.7 kg CO₂eq GJ lo que resulta altamente positivo desde el punto de vista de disminución de gases ya que representa 73 % de mitigación en relación a la referencia fósil, la cual se considera de 83.8 kg CO₂eq GJ.

in expeller pressing (grain production x 0.50 x 0.85). The pine nut oil heating value used was 39.5 MJ kg⁻¹ wood-fired energy generation, there was a consumption of 21 503 MJ ha⁻¹; for the transportation phase, energy expenditure was of 11 017 MJ ha⁻¹. In the industrial phase, considering one phase of the process, energy expenditure was of 4 029 MJ ha⁻¹, taking three years of production into account. Energy production over three years was of 188 980 MJ ha⁻¹ and energy expenditure reached 36 549 MJ ha⁻¹. The consumed and produced energy relation was of 1:5.1.

In the greenhouse gas (GHG) emission balance (Table 3), it is clear that the greater emissions corresponded to activities from the agricultural phase, emitting 1 276 kg CO₂eqa⁻¹. The value of the emissions in biodiesel production in the first year was 74.8 kg CO₂eqGJ, 11 % less GHG was produced in relation to the European Union - established fossil diesel reference, equivalent to 83.8 kg CO₂eq GJ. In other words, in the first year of its implementation, it reduced GHG emissions by 11 %. In the second year, gas emissions were less in the agricultural phase with 711.6 kg CO₂eq ha⁻¹ in comparison to the establishing year of the crop. The emission balance was of 22.7 kg CO₂eq GJ, which is highly positive from a gas reduction perspective since it represents a 73 % reduction compared to the fossil reference, which is 83.8 kg CO₂eq GJ.

CONCLUSIONS

The results have shown the wide variation in agronomic behavior of the *J. curcas* genotypes

CONCLUSIONES

La evaluación realizada en este estudio permitió demostrar que existe amplia variación en el comportamiento agronómico de los genotipos establecidos en el banco nacional de germoplasma de *J. curcas* del INIFAP. La variación en los componentes del rendimiento evaluados indica que es necesario realizar mejoramiento genético de la especie para seleccionar genotipos de alto rendimiento agroindustrial, que le den rentabilidad a la obtención de biocombustibles en México. La presencia de plantas completamente pistiladas y de alto rendimiento, representan una nueva alternativa en la selección de variedades.

El análisis energético considerando tres años del cultivo, demuestra que el balance de energía en la producción de piñón mexicano es positivo y puede ser considerada una fuente de energía sustentable desde el punto de vista energético. El balance de emisiones pasa de 11 % en el año 1, a 73 % en el año 2; es probable que este último valor se incremente en años subsiguientes, aunque esto dependerá del nivel de fertilización y en el uso de alternativas como los biofertilizantes que permitan optimizar su aplicación, así como de los rendimientos de grano que se obtengan por unidad de superficie.

from the INIFAP National Germplasm Bank. The variation in yield components stress the need of a genetic improvement program to select high agroindustrial yielding genotypes in order to attain profits from biofuel production. Plants fully pistillate and with high grain yield are a promising alternative for the selection of new *Jatropha* varieties.

The energy balance over the three years study, showed a positive energetic balance of *J. curcas*, and it can be a sustainable source of energy. GHG emissions balance went up from 11 % the first year to 73 % in the second year; this increase possibly could be higher in the next years, provided an improved agronomic management is applied.

BIBLIOGRAFÍA

- DEER (Directiva Europea de Energías Renovables). 2009. Comunicación de la Comisión sobre la aplicación práctica de los biocombustibles de la UE y el esquema de biolíquidos, sostenibilidad y en el recuento de las normas para los biocombustibles (2009/28/CE).
- Cervantes, S., M. A. 2006. Proyecto MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio). Presentación electrónica. Reunión INIFAP- SEMARNAT sobre producción de biodiesel en México.
- Farrell, A. E., Plevin, R. J., Turner, B. T., Jones, A. D., O'Hare, M., and Kammen, D. M. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311:506-508.
- Ugolini, J. 2000. Biodiesel. Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel. Santa Fé, Argentina. 25 p
- Pecina, Q. V., Anaya, L. J. L., Zamarripa, C. A., Montes, G. N., Núñez, C. C.A., Solís, B. J. L. y Aguilar, R. M. R. 2010. Caracterización molecular de accesiones de *Jatropha curcas* L. de Chiapas México utilizando marcadores AFLP. En memoria REDBIO, México.
- Pecina, Q. V., Anaya, L. J. L., Zamarripa, C. A., Montes, G. N., Solís, B. J. L. y Aguilar, R. M. R. 2011. Análisis del germoplasma de piñón mexicano (*Jatropha curcas*

- L.) usando marcadores AFLP. Memoria VI Reunión Nacional de Investigación - INIFAP. p. 251
- Pecina, Q. V., Anaya, L. J. L., Zamarripa C. A., Montes, G. N., Núñez, C. C. A., Solís B. J. L., Aguilar, R. M. R., Gil L. H. R. y Mejía, B. D. J. 2011 Molecular characterisation of *Jatropha curcas* L. genetic resources from Chiapas, México through AFLP markers. *Biomass Bioen.* 35:1897-1905.
- Pecina, Q. V., Anaya, L. J. L., Zamarripa, C. A., Núñez, C. C. A., Montes, G. N., Solís, B. J. L., and Jiménez, B. M. F. 2014. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in México and probable centre of origin. *Biomass Bioen.* 60:147-155.
- Zamarripa, C. A., Ruíz, C. P. A., Solís, B. J. L. y Díaz, P. G. 2008. ¡El piñón: una alternativa para la producción de Biodiesel en el Trópico! Desplegable para productores. INIFAP. CE Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México.
- Zamarripa-Colmenero, A.; Ruíz-Cruz, P. A.; Solís- Bonilla, J.L.; Martínez-Herrera, J.; Olivera-De los Santos, A, y Martínez-Valencia, B.B. 2009. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico No. 12. INIFAP. CE Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México, 46 p.
- Zamarripa, C. A., Solís, B. J. L., López, Á. L. J., Riegelhaupt, E., Goytia, J. M. A., Ruiz, C. P. A. y Martínez, V. B. 2010. Comportamiento agroindustrial y energético del piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.). Trabajo en extenso, Memorias de la VII Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía, México
- Zamarripa, C. A., Pecina, Q. V., Avendaño, A. C. H., Solís, B. J. L. y Martínez, V. B. B. 2010. Genetic diversity of mexican germplasm collection of *Jatropha curcas* L. *In: Proceedings 18th. European Biomass Conference and Exhibition 2010. Lyon, France.* pp 542-543.
- Zamarripa, C. A., Solís, B. J. L., González, Á. A., Teniente, O. R., Martínez, V. B. B. y Hernández, M. M. 2011. Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Chiapas. INIFAP. CIRPAS. CE Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas. México. Folleto Técnico No. 26. 82 p.
- Zamarripa, C. A. 2012. Informe Final del proyecto “Mejoramiento de insumos agropecuarios para la producción de biocombustibles”. INIFAP.
- Zamarripa, C. A. y Solís, B. J. L. 2013. *Jatropha curcas* L. Alternativa bioenergética en México. INIFAP. CIRPAS. CE Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas. Libro científico No. 1. 159 p.

Cuadro 3. Balance de emisiones de *J. curcas* L. bajo cultivo intensivo.
Table 3. Emission balance of *J. curcas* L. under intensive agriculture.

Periodo	Etapas	Emisiones (kg CO ₂ eq ha ⁻¹)	Emisiones BD (kg CO ₂ eq GJ)	Mitigación (%)
Año 1	Agrícola	1275.9		
	Transporte	141	74.8	11
	Industrial	19.3		
	Total emisiones	1436.2		
Año 2	Agrícola	711.6		
	Transporte	142	22.7	73
	Industrial	45		
	Total emisiones	898.6		

PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.)

JATROPHA'S (*Jatropha curcas* L.) MAIN PESTS AND DISEASES

Guillermo López-Guillén^{1*}, Jaime Gómez-Ruiz², Juan Francisco Barrera Gaytán², Misael Martínez Bolaños¹, Elizabeth de los Ángeles Herrera Parra³, Marianguadalupe Hernández Arenas⁴, Ana Laura Reyes Reyes¹, José Luis Solís Bonilla¹

¹INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula a Cacahoatan Km. 18. Municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, México. C.P. 30780 Tel. 01 8000 88 22 22 Ext. 86417, 86414, 86421 y 86418 (lopez.guillermo@inifap.gob.mx, martinez.misael@inifap.gob.mx, reyes.ana@inifap.gob.mx; solis.joseluis@inifap.gob.mx); ²Grupo Académico Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas, El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Antigua Aeropuerto km. 2.5. Municipio de Tapachula, Chiapas, México. C.P. 30700. Tel. (962) 6289800 ext. 5100 y 5101 (jgomez@ecosur.mx; jbarrera@ecosur.mx). ³INIFAP-Campo Experimental Mocochoá. Carretera Mérida-Motul, Municipio de Mocochoa, Yucatán, México. C.P. 97454. Tel: 01 8000 88 22 22 Ext. 88234 (herrera.elizabeth@inifap.gob.mx). ⁴INIFAP-Campo Experimental Zacatepec. Carretera Zacatepec-Galeana Km. 0.5. Municipio de Zacatepec, Morelos, México. C.P. 62780. Tel. 01 8000 88 22 22 Ext. 86611 (hernandez.marian@inifap.gob.mx). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

El interés por los cultivos bioenergéticos, tal como el piñón *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) para producir biodiesel, se ha incrementado en los últimos años. En este documento se presenta una revisión de literatura sobre las principales plagas y enfermedades asociadas a *J. curcas* en el mundo. También, se mencionan los daños y pérdidas ocasionados por algunas plagas y enfermedades en plantaciones comerciales de piñón.

Palabras clave: Piñón, plagas, enfermedades.

INTRODUCCIÓN

El género *Jatropha* cuenta con 175 especies, 45 de las cuales se encuentran en México, con un 77 % de especies endémicas (Martínez *et al.*, 2002; Rodríguez-Acosta *et al.*, 2009). Entre las especies del género destaca el piñón, *Jatropha curcas* L., la cual es una planta multipropósitos, que recientemente ha adquirido importancia como cultivo bioenergético a nivel mundial debido a que a partir de sus semillas ricas en aceite se puede elaborar biodiesel (Foild *et al.*, 1996; Heller, 1996; Martínez-Herrera, 2008; Zamarripa *et al.*, 2009; Friedman *et al.*, 2010).

J. curcas es una planta originaria de México y Centroamérica, que se dispersó a otras partes del

ABSTRACT

The interest for the bioenergetics crops, such as *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) to produce biodiesel, has increased in the last years. It is presented in this document as a literature review of the main pests and diseases associated with *J. curcas* in the world. Damage and losses are also mentioned, which are caused by some pests and diseases in commercial jatropha plantations.

Key words: Jatropha, pests, diseases.

INTRODUCTION

The genre *Jatropha* has 175 species, 45 of which are found in Mexico, 77 % are endemic species (Martínez *et al.*, 2002; Rodríguez-Acosta *et al.*, 2009). Among the species of the genre the *Jatropha curcas* L., stands out and it is a multi-purposes plant that has recently acquired importance as a bioenergetic crop at a global level, since its seeds, which are rich in oil, are used to obtain biodiesel (Foild *et al.*, 1996; Heller, 1996; Martínez-Herrera, 2008; Zamarripa *et al.*, 2009; Friedman *et al.*, 2010).

J. curcas is a plant from Mexico and Central America now scattered to other parts of the world

mundo (Zamarripa *et al.*, 2009; Pecina-Quintero *et al.*, 2011), lo cual es importante conocer dado que influye sobre la diversidad y abundancia de organismos asociadas a ésta. De acuerdo con Van Driesche *et al.* (2007) en el centro de origen de una planta, se espera mayor diversidad de especies asociadas. Por lo tanto, en México y Centroamérica podría esperarse mayor biodiversidad asociada al piñón que en otras regiones del mundo.

Desde que *J. curcas* se comenzó cultivar con fines comerciales y experimentales, se han observado problemas fitosanitarios, a pesar de la supuesta resistencia y/o tolerancia a plagas y enfermedades de la planta (Grimm y Maes, 1997a,b,c; Jongschaap *et al.*, 2007; Kumar y Sharma, 2008; Nielsen, 2010; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2013). Los reportes sobre plagas y enfermedades que afectan *J. curcas*, se han incrementado en los últimos años, debido al creciente interés que existe por la explotación comercial de este nuevo cultivo. En el presente trabajo, se presenta una revisión de literatura sobre las principales plagas y enfermedades que afectan la producción de *J. curcas*.

PLAGAS Y ENFERMEDADES ASOCIADAS A *J. Curcas*

Los daños y tipo de plaga varían de acuerdo con el lugar, aunque algunas de ellas pueden estar presentes en distintas regiones. En Asia las plagas más devastadoras son *Agonosoma trilineatum* (F.), *Scutellera nobilis* Fabr. *Chrysocoris purpureus* (Westw.) (Hemiptera: Scutelleridae), *Pempelia morosalis* (= *Salebria morosalis*) (Saalm Uller), *Stomphasistis* (*Acrocercops*) *thraustica* (*Stomphastis plectica* Meyrick) (Lepidoptera: Buccula tricaeae), *Achaea janata* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae), *Oxycetonia versicolor* Fab. (Coleoptera: Scarabaeidae; Cetoniinae), *Paracoccus marginatus* Williams & Granara de Willink (Hemiptera: Pseudococcidae), *Retithrips syriacus* (Mayet) (Thysanoptera: Thripidae), *Rhipiphorothrips cruentatus* Hood (Thysanoptera: Heliiothripidae) y *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) (Shanker y Dhyani, 2006; Patel *et*

(Zamarripa *et al.*, 2009; Pecina-Quintero *et al.*, 2011), which is important to know because it influences in the diversity and abundance of organisms related to it. According to Van Driesche *et al.* (2007) at the center of the plant's origin, greater diversity of associated species is expected. Therefore, in Mexico and Central America we may expect a greater biodiversity associated with jatropha compared to other regions of the world.

Since *J. curcas* started to be cultivated for commercial and experimental purposes, phytosanitary problems have been observed, in spite of the alleged resistance and tolerance to pests and diseases of the plant (Grimm and Maes, 1997a,b,c; Jongschaap *et al.*, 2007; Kumar y Sharma, 2008; Nielsen, 2010; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2013). The reports about pests and diseases affecting *J. curcas*, have increased over the last years, due to the growing interest in the commercial exploitation of this new crop. Here we present a literary review of the main pests and diseases that affect the production of *J. curcas*.

PESTS AND DISEASES ASSOCIATED TO *J. curcas*

The damage and type of pests may vary according to location, although some of them can be present in different regions. In Asia, the most devastating plagues are *Agonosoma trilineatum* (F.), *Scutellera nobilis* Fabr. *Chrysocoris purpureus* (Westw.) (Hemiptera: Scutelleridae), *Pempelia morosalis* (= *Salebria morosalis*) (Saalm Uller), *Stomphasistis* (*Acrocercops*) *thraustica* (*Stomphastis plectica* Meyrick) (Lepidoptera: Buccula tricaeae), *Achaea janata* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae), *Oxycetonia versicolor* Fab. (Coleoptera: Scarabaeidae; Cetoniinae), *Paracoccus marginatus* Williams & Granara de Willink (Hemiptera: Pseudococcidae), *Retithrips syriacus* (Mayet) (Thysanoptera: Thripidae), *Rhipiphorothrips cruentatus* Hood (Thysanoptera: Heliiothripidae) y *Polyphagotarsonemus latus*

al , 2009; Shankara y Sannaveppanavar, 2009). En África, se cita como más importante a *Aphthona dilutipes* (Jacoby) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Nielsen, 2009, 2010). Mientras que en Centro y Sudamérica las plagas de importancia económica son *Pachycoris torridus* (Scopoli), *P. klugii* (Hemiptera: Scutelleridae) y *Leptoglossus zonatus* Dallas (Hemiptera: Coreidae) (Grimm y Maes, 1997a,b,c; Sánchez-Soto *et al.* 2004; Grimm y Somarriba, 1999). En México, se han hecho pocos estudios para conocer cuáles son las plagas de *J. curcas*, pues esta planta recientemente comenzó a adquirir importancia como cultivo bioenergético. Algunos reportes mencionan a artrópodos que afectan a *J. curcas*, tales como *Psapharochrus* sp, *Lagocheirus undatus undatus* (Voet), *Chrysobothris distincta* Gory (Coleoptera: Cerambycidae), *Tetranychus mexicanus* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), *Empoasca* sp. (Hemiptera: Cicadellidae); *spiraecola* Patch (Hemiptera: Aphididae), ácaros de la familia Tetranychidae, identificados como *Tetranychus mexicanus* (McGregor), Nymphalidae, por ejemplo, *Chlosyne janais* (Drury) (Lepidoptera: Nymphalidae), *Trigona fuscipennis* Friese, *T. nigerrima* Cresson (Hymenoptera: Apidae), *Pachycoris klugii*, *P. torridus*, *Leptoglossus zonatus*, *Sphenarium purpurascens* (Charpentier) (Orthoptera: Pyrgomorphidae), *Ectomyelois muriscis* (Dyar) (Pyralidae: Lepidoptera) (López-Guillén *et al.*, 2012; López-Guillén *et al.* 2013a; Quiroga-Madrigal *et al.* 2010; Tepole-García *et al.*, 2012). En el Cuadro 1, se muestran las principales plagas del piñón, su distribución geográfica y la parte de la planta que dañan.

En cuanto a la presencia de enfermedades en *J. curcas*, varían de un lugar a otro, y también una misma enfermedad puede estar presente en distintas regiones. Entre las enfermedades más importantes que se han reportado, están el virus del ápice racimoso; el virus del mosaico de la *Jatropha*; el virus del mosaico del pepino;

Heliiothripidae) y *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) (Shanker y Dhyani, 2006; Patel *et al.*, 2009; Shankara y Sannaveppanavar, 2009). In Africa, the most important one mentioned is *Aphthona dilutipes* (Jacoby) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Nielsen, 2009, 2010). Whereas in Central and South America, the plagues of economic importance are: *Pachycoris torridus* (Scopoli), *P. klugii* (Hemiptera: Scutelleridae) y *Leptoglossus zonatus* Dallas (Hemiptera: Coreidae) (Grimm y Maes, 1997a,b,c; Sánchez-Soto *et al.*, 2004; Grimm and Somarriba, 1999). In Mexico, few studies have been carried out in determining what are the *J. curcas*'s pests, because this plant has recently acquired importance as a bio-energetic crop. Some reports mention arthropods that affect the *J. curcas*, such as *Psapharochrus* sp, *Lagocheirus undatus undatus* (Voet), *Chrysobothris distincta* Gory (Coleoptera: Cerambycidae), *Tetranychus mexicanus* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), *Empoasca* sp. (Hemiptera: Cicadellidae); *s piraecola* Patch (Hemiptera: Aphididae), mites from the family Tetranychidae, identified as *Tetranychus mexicanus* (McGregor), Nymphalidae, por ejemplo, *Chlosyne janais* (Drury) (Lepidoptera: Nymphalidae), *Trigona fuscipennis* Friese, *T. nigerrima* Cresson (Hymenoptera: Apidae), *Pachycoris klugii*, *P. torridus*, *Leptoglossus zonatus*, *Sphenarium purpurascens* (Charpentier) (Orthoptera: Pyrgomorphidae), *Ectomyelois muriscis* (Dyar) (Pyralidae: Lepidoptera) (López-Guillén *et al.*, 2012; López-Guillén *et al.*, 2013a; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2010; Tepole-García *et al.*, 2012). In Table 1, the geographic distribution and main pests of *Jatropha* are described, as well as, the part of the plant they damage.

Regarding the presence of diseases of *J. curcas*, they vary from place to place, and the same disease can be present in different regions. The Bunchy Top Disease, the mosaic virus and the Pepino mosaic virus *Rhizoctonia bataticola*

Cuadro 1. Principales plagas que atacan a *J. curcas*.

Table 1. The main pests that attack *J. curcas*.

Orden	Familia	Género y especie	Distribución
Raíces y plántulas			
Coleoptera	Scarabaeidae	<i>Phyllophaga</i> sp.	Honduras
Hojas			
Lepidoptera	Bucculatricidae	<i>Stomphastis (Acrocercops) thraustica</i> (<i>Stomphastis plectica</i>)	
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Achaea janata</i>	India
Hemiptera	Cicadellidae	<i>Empoasaca Krameri</i>	Brasil
Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Bemissia tabaco</i>	India
Hymenoptera	Formicidae	<i>Atta</i> sp.	Honduras y México
Ramas y tallos			
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Lagocheirus undatus</i>	Nicaragua y México
Flores, frutos y semillas			
Hemiptera	Scutelleridae	<i>Pachycoris kuglii</i>	Nicaragua y México
Hemiptera	Scutelleridae	<i>Pachycoris torridus</i>	Perú, Brasil, Nicaragua, México
Hemiptera	Scutelleridae	<i>Agonosoma trilineatum</i>	Australia
Hemiptera	Scutelleridae	<i>Scutellera nobilis</i>	India
Hemiptera	Scutelleridae	<i>Chrysocoris purpureus</i>	India
Hemiptera	Coreidae	<i>Leptoglossus zonatus</i>	Nicaragua y México
Lepidoptera	Pyralidae	<i>Pempelia morosalis</i> (= <i>Salebria morosalis</i>)	India
Lepidoptera	Pyralidae	<i>Ectomyelois muriscis</i>	México
Coleoptera	Scarabaeidae	<i>Oxycetonia versicolor</i>	India

Rhizoctonia bataticola (Taub.) Butler y *Botryosphaeria dothidea* (Moug.) Ces. & De Not. que causan la pudrición de la raíz y secan las plantas de piñón afectadas en la India; *Oidium* sp., *Cercospora jatrophiicola* (Speg.) Chupp, *C. jatrophiigena* U. Braun, *Pseudocercospora spora jatrophae-curcas* (J.M. Yen) Deighton, enfermedades que afectan las hojas y pecíolos del piñón en Brasil: *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp., *Dothiorella* sp., *Fusarium* sp., *Xanthomonas* sp., *Cordana musae* (Zimm.) Höhn, *Chlaropsis thielavioides* Peyr., *Dothiorella gragaria* Sacc., *Diplodia* sp., *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff on & Maubl, *Phytophthora palmivora* var. *Palmivora* (E. J.

(Taub.) Butler y *Botryosphaeria dothidea* (Moug.) Ces. & De Not are the most important diseases reported of *Jatropha* in India, that causes the rotting of the root and the death of the *jatropha* plant affected; *Oidium* sp., *Cercospora jatrophiicola* (Speg.) Chupp, *C. jatrophiigena* U. Braun, *Pseudocercospora jatrophae-curcas* (J.M. Yen) Deighton, diseases that affect the leaves and petioles of *jatropha* in Brazil: *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp., *Dothiorella* sp., *Fusarium* sp., *Xanthomonas* sp., *Cordana musae* (Zimm.) Höhn, *Chlaropsis thielavioides* Peyr., *Dothiorella gragaria* Sacc., *Diplodia* sp., *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.)

Butler) E.J. Butler y otras (Araújo Mello *et al.*, 2008; De Campos *et al.*, 2010; Kumar *et al.* 2011; Srinivasa *et al.*, 2011; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2013; Alonso y Lezcano, 2014). En México, recientemente se reportó la presencia de *Phytium aphanidermatum* (Edson) Fitz en plántulas y semillas de piñón no tóxicas cultivadas en el estado de Veracruz (Valdez Rodríguez *et al.*, 2011) y *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. en inflorescencias de *J. curcas* con síntomas de necrosamiento en Sinaloa (Espinoza *et al.*, 2012). Otras enfermedades de *J. curcas* que se han reportado en México, son *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc., *C. circinans* Berk, *Phakopsora jatrophiicola* Cummins, *Pestalotia* sp., *Fusarium* sp., *Botryodiplodia* sp., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm, *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith y *Colletotrichum capsici* (Syd.) (Valdez Rodríguez *et al.*, 2011; Espinoza *et al.*, 2012; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2013). En el Cuadro 2 se muestran las principales enfermedades de *Jatropha* y el daño que ocasionan.

DAÑOS Y PÉRDIDAS OCASIONADOS A *J. curcas* POR PLAGAS Y ENFERMEDADES

Existen pocos trabajos de investigación que reportan resultados sobre la evaluación de daños y pérdidas ocasionados por plagas y enfermedades en *J. curcas*. En algunos trabajos se cuantificó el daño generado por chinches mediante tablas de vida, encontrando una reducción de 18.5 % en la producción de semilla, con densidades bajas (3,500 individuos por hectárea) (Grimm y Maes, 1997a).

También, se reporta que existen pérdidas del 53 % de semillas potenciales provocadas por chinches, tales como *P. klugii*, *L. zonatus* y *Hypselonotus intermedius* Distant (Coreidae), que dañan un 18.5 % de semillas; y saltamontes *Schistocerca nitens*, *Schistocerca piceifrons piceifrons*, *Idiarthron* sp., *Aldemona azteca*, *Dolichocercus* sp., *Orophus* sp. y *Phylloptera* sp., los cuales contribuyen con un 0.9 %; el resto de

Griffon & Maubl, *Phytophthora palmivora* var. *Palmivora* (E. J. Butler) E.J. Butler and others (Araújo Mello *et al.*, 2008; De Campos *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2011; Srinivasa *et al.*, 2011; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2013; Alonso and Lezcano, 2014). In Mexico, a recent paper noted the presence of *Phytium aphanidermatum* (Edson) Fitz in seedlings and non-toxic *Jatropha*'s seeds cultivated in the state of Veracruz (Valdez Rodríguez *et al.*, 2011) and *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl in inflorescence of *J. curcas* with necrosis symptoms in Sinaloa (Espinoza *et al.*, 2012). Other diseases of *J. curcas* reported in Mexico, are: *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc., *C. circinans* Berk, *Phakopsora jatrophiicola* Cummins, *Pestalotia* sp., *Fusarium* sp., *Botryodiplodia* sp., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm, *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith and *Colletotrichum capsici* (Syd.) (Valdez Rodríguez *et al.*, 2011; Espinoza *et al.*, 2012; Quiroga-Madrigal *et al.*, 2013). In Table 2, the damage and the main diseases of *Jatropha* are shown.

DAMAGES AND LOSSES CAUSED TO *J. curcas* BY PLAGUES AND DISEASES

There are few research papers that evaluate the damage and losses caused by pest and diseases in *J. curcas*. In some work the damage was quantified by bedbugs through life tables, finding a reduction of 18.5 % in seed production, with low densities of the pest (3,500 individuals per hectare) (Grimm and Maes, 1997a).

There were reported losses of 53 % in potential seed caused by bedbugs, such as *P. klugii*, *L. zonatus* y *Hypselonotus intermedius* Distant (Coreidae), damage 18.5 % of seeds and grasshoppers *Schistocerca nitens*, *Schistocerca piceifrons piceifrons*, *Idiarthron* sp., *Aldemona azteca*, *Dolichocercus* sp., *Orophus* sp. and *Phylloptera* sp., contributed to a 0.9 % loss; the other losses were due to abiotic factors (Grimm, 1996).

Cuadro 2. Enfermedades reportadas en *J. curcas* en el Mundo.

Table 2. The reported diseases in *J. curcas* around the world.

Orden	Género y especie	Distribución	Daño
Virus			
	Virus del ápice racimoso	India	No indicado
	Virus del mosaico de la <i>Jatropha</i>	India	Mosaico y distorsión de hojas
	Virus del mosaico amarillo	Nicaragua	Manchas amarillas y mosaico
	Virus del mosaico del pepino	India	Manchas amarillas y mosaico
Hongos			
	<i>Alternaria</i> sp., <i>Colletotrichum</i> sp., <i>Dothiorella</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., <i>Oidium</i> sp. y <i>Xanthomonas</i> sp.	Nicaragua, Brasil y Paraguay	No indicado
	<i>Cordana musae</i> y <i>Chlaropsis thielavioides</i>	Filipinas	Mancha foliar y necrosis marginal
	<i>Dothiorella</i> sp.	Honduras	Provoca manchas foliares
	<i>Dothiorella gragaria</i> y <i>Diplodia</i> sp., <i>Pythium aphanidermatum</i>	China México	Pudrición de tallo y raíz Afecta semillas, plántulas y raíces
	<i>Fusarium</i> spp., <i>Phytophthora</i> sp. y <i>Pythium</i> sp.	No indicado	Pudrición de raíz y damping-off
	<i>Fusarium solani</i> , <i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Helminthosporium tetramera</i> , <i>Pseudocercospora jatrophae</i> , <i>Pestalotia</i> sp. y <i>Phoma</i> sp.	India	No indicado
	<i>Passalora ajrekari</i> y <i>P. jatrophiigena</i>	Brasil	No indicado
Bacterias			
	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Jatrophicola</i> Pammel & Dowson	Nicaragua	Limita la capacidad fotosintética de la planta
	<i>Xanthomonas</i> sp.	Nicaragua	No indicado
	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>Manihotis</i> (Xam)	México	No indicado

las pérdidas se atribuyen a factores abióticos (Grimm, 1996).

En otro ensayo, Grimm (1999) evaluó el daño de chinches en jaulas de campo; observó que *P. klugii* y *L. zonatus* que se alimentan de las flores y frutos, redujeron la producción y disminuyeron

In other research, Grimm (1999) evaluated the damage of bedbugs in field cages; observed that *P. klugii* and *L. zonatus* that feed on flowers and fruits, reducing the production and the oil content of the seed, although not its protein contents. It was also found that *P. Klugii* induces the biggest percentage of aborted fruits when

el contenido de aceite de la semilla, aunque no su contenido de proteína. Además, se encontró que *P. kllugii* induce el mayor porcentaje de frutos abortados cuando tienen un diámetro entre 10 y 15 mm.

Sharma y Srivastava (2010) confinaron cantidades conocidas de ninfas de *S. nobilis* en brotes de *J. curcas*, encontrando un incremento del daño a medida que aumentó la densidad de chinches. En este experimento, dos ninfas por planta no causaron daño, pero con 20, el daño fue considerable comparado con el testigo.

En relación con la cuantificación de daños ocasionados por enfermedades en piñón, existe todavía menos información que en plagas. Por ejemplo, Torres Calzada *et al.* (2011) reportan daños del 25 % en plantaciones de piñón en Yucatán, ocasionadas por antracnosis (*C. capsici*). En la India se observó colapso de plantas hasta en un 25 % de mortalidad, ocasionadas por *Fusarium moniliforme* (Kaushik *et al.*, 2007). En Chiapas, Quiroga-Madrigal *et al.* (2013), reportaron plantaciones de piñón devastadas por una bacteria preliminarmente identificada como *Ralstonia solanacearum* (Smith).

CONCLUSIONES

A medida que se cultiva a *J. curcas* en diversas partes del mundo, crecen los reportes sobre plagas y enfermedades. Los artrópodos fitófagos y fitopatógenos reportados pueden dañar distintas partes de la planta, los cuales en ocasiones originan siniestro del cultivo o reducción de la producción de semillas y contenido de aceite. Por lo tanto, se debe generar información sobre la bioecología, comportamiento, etiología y daños de las plagas y enfermedades que atacan *J. curcas* para diseñar programas de manejo integrado de plagas y enfermedades, que resulten eficientes y económica viables.

they are around 10 and 15 mm in diameter.

Sharma and Srivastava (2010) confined some quantities of nymphs *S. nobilis* in *Jatropha's* sprouts, finding an increase in damage as the density of bed bugs increased. In this experiment, two nymphs per plant did not cause any damage, however with 20, the damage was appreciable compared to the uninfected control.

Regarding the quantifying of the damage caused by diseases in *Jatropha*, there is less information than for pests. For instance, Torres Calzada *et al.* (2010) report damage of 25 % in *jatropha* plantations in Yucatán, caused by anthracnose (*C. capsici*). In India, a collapse of plants was observed causing 25 % mortality, induced by *Fusarium moniliforme* (Kaushik *et al.*, 2007). In Chiapas, Quiroga-Madrigal *et al.* (2013), reported devastated *jatropha* plantations caused by a bacteria named as *Ralstonia solanacearum* (Smith)

CONCLUSIONS

As *J. curcas* is cultivated in different regions of the world, there are more reports about pests and diseases. The reported phytofagous and phytopathogen arthropods may damage different parts of the plant, which sometimes cause total loss of the crop or a reduction in seed production and oil content. Therefore, more information must be generated regarding bioecology, behaviour, etiology, pest damage and diseases that attack *J. curcas* to design Integrated Pest and Disease Management strategies in order that are efficient and economic.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, O. y Lezcano, J. C. 2014. Microorganismos patógenos en *Jatropha curcas* Linnaeus. Estrategias potenciales para su manejo. Pastos y Forrajes 37:131-137.

- Araújo Mello, F. D., Augusto Müller, J., Carginin, A. y Albrecht, C. 2008. Incidencia de *Oidium* sp. y *Polyphagotarsonemus* sp. em pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). IX Simposio Nacional Cerrado, 12 a 17 de octubre de 2008, ParlaMundi Brasília, D.F. Brasil. 8 p.
- De Campos, A. D., Carmine, J., and dos Santos Jr., J. D. G. 2010. New Records for the Brazilian Cerrado of leaf pathogens on *Jatropha curcas*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N 293, Embrapa Cerrados, Brazil. 14 p.
- Espinoza, M A., Santos, A. E., Fernández, E., Espinoza, M. G., Chávez, J. A., Bermúdez, E.M., Martínez, A. L., Martínez, J., and Leyva, N. E. 2012. First report of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler causing inflorescence blight in *Jatropha curcas* in Sinaloa, Mexico. Canadian J. Plant Path. 34:455-458.
- Foild, N., Foild, G., Sanchez, M., Mittelbach, M., and Hackel, S. 1996. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. Bior. Techn. 58:77-82.
- Friedman, M. H., Andreu, M. G., Quintana, H. V., and McKenzie, M. 2010. *Ricinus comunis*, castor bean. School of Forest Resources and Conservation, IFAS, University of Florida. FOR 244. 2 p.
- Grimm, C. 1996. Cuantificación de daños por insectos en los frutos del tempate, *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a través de una tabla de vida. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 42:23-30.
- Grimm, C. 1999. Evaluation of damage to physic nut (*Jatropha curcas*) by true bugs. Entom. Exp. Applicata. 92:127-136.
- Grimm, C. and Maes, J.-M. 1997a. Arthropod fauna associated with *Jatropha curcas* L. in Nicaragua: a synopsis of species, their biology and pest status. In: G. M. Gubitz, M. Mittelbach, and M. Trabi (Eds.). Biofuels and Industrial Products from *Jatropha curcas*. Dbv-Verlang, Graz, pp: 31-39.
- Grimm, C. y J. M. Maes. 1997b. Insectos asociados al cultivo de tempate (*Jatropha curcas* L.) (Euphorbiaceae) en el Pacífico de Nicaragua. I. Scutelleridae (Heteroptera). Rev. Nicaraguense Entom. 39:13-26.
- Grimm, C. y Maes, J. M. 1997c. Insectos asociados al cultivo de tempate (*Jatropha curcas* L.) (Euphorbiaceae) en el Pacífico de Nicaragua. II. Pentatomidae (Heteroptera). Rev. Nicaraguense Entom. 40:13-28.
- Grimm, C. and Somarriba, A. 1999. Suitability of physic nut (*Jatropha curcas* L.) as single host plant for the leaf-footed bug *Leptoglossus zonatus* Dallas (Het., Coreidae). J. Appl. Entom. 123:236-249.
- Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Jongschaap, R.E.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S., and Brandenburg, W.A. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Plant Research International B.V., Wageningen. Stichting Het Groene Woudt, Laren. Report 158. 42 p. (+ Appendices).
- Kaushik, N., Kumar, K., Kumar, S., Kaushik, N., and Roy, S. 2007. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. Biomass Bioen. 31:497-502.
- Kumar, A. and Sharma, S. 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. Ind. Crops Prod. 28:1-10.
- Kumar, S., Sharma, S., Pathak, D. V., and Beniwal, J.2011. Integrated management of *Jatropha* root rot caused by *Rhizoctonia bataticola*. J. Trop. Forest Sc. 23:35-41.
- López-Guillén, G., Gómez-Ruiz, J., Barrera-Gaytán, J. F., Zamarripa-Colmenero, A. 2012. Artrópodos asociados a *Jatropha curcas* L. y *Ricinus communis* L. en Chiapas. Entom. Mex. 11:375-380.
- López-Guillén, G., Barrera, J. F., Gómez Ruiz, J., y Zamarripa, A. 2013. Plagas de *J. curcas*. En: Zamarripa, C. A. y J. L. Solís Bonilla (Eds.). *Jatropha curcas* L. Alternativa bioenergética en México. Ave Dos Taller Creativo, Tapachula, Chiapas, México, pp. 69-81.
- Martínez, G. M., Jiménez, J. R., Cruz, D. R., Juárez A García, R., Cervantes, A. y Mejía, H. R. 2002. Los géneros de

- la familia Euphorbiaceae en México. Anales Inst. Biol. UNAM, Serie Botánica 73:155-281.
- Martínez-Herrera, J., 2008. El piñón mexicano: fuente de energía renovable en el estado de Morelos. Memorias del foro nacional sobre cultivos productores de biodiesel (*Jatropha curcas*, *Ricinus communis*). Aguascalientes, México. pp. 13-23.
- Nielsen, F. 2009. *Jatropha curcas* oil production for local development in Mozambique. African Crop Sc. Conf. Proc. 9:71-75.
- Nielsen, F. 2010. Pest and diseases. In: The *Jatropha* Handbook, From cultivation to application. FACT, Fuels from Agriculture in Communal Technology. The Netherlands, pp: 22-26.
- Patel, H. V., Patel, K. G., and Pandya, H. V. 2009. Preliminary Screening of Genotypes against Insects of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) in Gujarat. Insect Envir. 15:59.
- Pecina-Quintero, V., Anaya-López, J. L., Zamarripa Colmenero, A., Montes García, N., Núñez Colín, C. A., Solís Bonilla, J. L., Aguilar-Rangel, M. R., Gill Langarica, H. R. y Mejía Bustamante, D. J. 2011. Molecular characterization of *Jatropha curcas* L. genetic resources from Chiapas, Mexico through AFLP markers. Biomass Bioen. 35:1897-1905.
- Quiroga-Madrugal, R. R., Aguilar-Astudillo, E., Morales-Morales, C. J., Rosales-Esquinca, M. A. y Gil-Martínez, G. 2010. Guía ilustrada de insectos y arañas asociadas al piñón (*Jatropha curcas* L.) en Chiapas, México, con énfasis en la Depresión Central. Talleres Gráficos, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 135 p.
- Quiroga-Madrugal, R. R., Rosales Esquinca, M. A., Rincón Espinosa, M. P., Garrido Ramírez, E., Holguín Meléndez, F., González Pinacho, J. A., Salazar Pinacho, W. M. y Sol Hernández, G. 2013. Enfermedades de *J. curcas*. En: Zamarripa, C. A. y J. L. Solís Bonilla (Eds.). *Jatropha curcas* L. Alternativa bioenergética en México. Ave Dos Taller Creativo, Tapachula, Chiapas, México. pp. 83-102
- Rodríguez-Acosta, M., Vega-Flores, K., De Gante- Cabrera, V. H. y Jiménez-Ramírez, J. 2009. Distribución del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el estado de Puebla, México. Polibotánica 28:37-48.
- Sánchez-Soto, S., Milano P., e Nakano, O. 2004. Nova planta hospedeira e novos padrões cromáticos de *Pachycoris torridus* (Scopoli) (Hemiptera: Scutelleridae) no Brasil. Neotrop. Entomol. 33:109-111.
- Shankara, M., and Sannaveppanavar, V. T. 2009. Need for generating baseline data for monitoring insecticide resistance in new invasive mealy bug *Paracoccus marginatus* Williams and Granara de Willink (Insecta: Hemiptera: Pseudococcidae), the key pest of papaya and biofuel crop, *Jatropha curcas*. Resist. Pest Manag. Newsl. 19:39-42.
- Shanker, C. and Dhyani, S. K. 2006. Insect pests of *Jatropha curcas* L. and the potential for their management. Current Sc. 91:162-163.
- Sharma, R.P. and Srivastava, C.P. 2010. Studies on damage potential and integration of some IPM components against scutellerid bug infesting *Jatropha* in Eastern Uttar Pradesh of India. Int. J. Agric. Res. 5:1116-1123.
- Srinivasa, R. C., Pavani Kumari, M., Wani, S. P., and Marimuthu, S. 2011. Occurrence of black rot in *Jatropha curcas* L. plantations in India caused by *Botryosphaeria dothidea*. Current Sc.100:1547-1549.
- Tepole-García, R. E., S. Pineda-Guillermo, J. Martínez-Herrera, and V. R. Castrejón-Gómez. 2012. Records of two pest species, *Leptoglossus zonatus* (Heteroptera: Coreidae) and *Pachycoris klugii* (Heteroptera: Scutelleridae), feeding on the physic nut, *Jatropha curcas*, in Mexico. Florida Entomol. 95:208-210.
- Torres-Calzada, C., Tapia-Tussell, R., Nexticapan-Garcez, A., Matin-Mex, R., Quijano-Ramayo, A., Cortés-Velázquez, A., Higuera-Ciajara, I. y. Perez-Brito, D. 2011. First report of *Colletotrichum capsici* causing anthracnose in *Jatropha curcas* in Yucatan, Mexico. New Dis. Rep. 23:6.
- Valdéz Rodríguez, O.A., García, E.R., Sánchez, S.O., and Pérez, V.A. 2011. Isolation and pathogenicity of a possible *Pythium aphanidermatum* in *Jatropha curcas* L. non toxic. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 14:649-660.

Van Driesche, R. G., Hoddle, M.S., and Center, T. D. 2007. Control de plagas y malezas por enemigos naturales. USDA, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. FHTET-2007-02. 751 p.

Zamarripa C., A., Ruiz, P. A. C., Solís B. J. L., Martínez, H. J., Olivera de los Santos, A. y Martínez B. V. 2009. Biocombustibles: Perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. INIFAP. Folleto técnico No. 12, 46 p

CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL ACEITE DE *Jatropha curcas* PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF *Jatropha curcas* OIL FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL

Ana Laura Reyes Reyes^{1*}, José Luis Solís Bonilla¹, Guillermo López Guillén¹, Alfredo Zamarripa Colmenero², Arnoldo Wong Villarreal³.

¹INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa, Carretera Tapachula-Cacahoatán Km. 18. Municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, México. C.P. 30870. Tel. 018000882222 Exts. 86421, 86418 y 86417. (reyes.ana@inifap.gob.mx; solis.joseluis@inifap.gob.mx y lopez.guillermo@inifap.gob.mx). ²RD2 Visión, Camino a Calance S/N. Municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, México. C.P. 30870 (zamarripaco.alfre@yahoo.com.mx). ³Universidad Tecnológica de la Selva, Entronque Toniná Carretera Ocosingo-Altamirano, Municipio de Ocosingo, Chiapas, México. C.P. 29950. Tel. (919) 673 09 70 (wova79@hotmail.com). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

ABSTRACT

Actualmente, la planta de *Jatropha curcas* es empleada como materia prima para la extracción de aceite, el cual se utiliza posteriormente para la producción de biocombustibles. Por ello, el estudio de las propiedades físicas y químicas del aceite de *J. curcas*, permitirá conocer si es viable para su almacenamiento, manejo, transporte y finalmente su calidad como biocombustible. Trece ecotipos de *J. curcas* colectados en diferentes regiones del estado de Chiapas, con dos años de establecimiento en el Campo Experimental de Rosario Izapa, del INIFAP, fueron analizados en este trabajo. La composición de los ácidos grasos para todos los tipos de aceites, se caracterizaron por cromatografía de gases (GC). De manera general, los aceites evaluados son de carácter linoleico - oléico. Por el contenido de aceite, sobresalen los genotipos INIFAP-MX-952 e INIFAP - X-32.

Currently, the *Jatropha curcas* plant is used as raw material for oil extraction, which is subsequently used for the production of biofuels. Therefore, the study of the physical and chemical properties of *J. curcas* oil will allow us to know whether its storage, use and transportation are viable, and ultimately its quality as a biofuel. For this purpose, three *J. curcas* ecotypes collected in different regions of the state of Chiapas, with two years spent in the Experimental Field of Rosario Izapa of INIFAP, were analyzed. The composition of the fatty acids for all oil types were characterized through gas chromatography (GC). Generally, the evaluated oils are linoleic – oleic. According to the oil content, the prominent genotypes are INIFAP- MX-952 and INIFAP-X-32.

Key words: *Jatropha curcas*, fatty acids, biofuels

Palabras clave: *Jatropha curcas*, ácidos grasos, biocombustibles.

INTRODUCTION

INTRODUCCIÓN

La especie *Jatropha curcas* L. conocida como piñón, es de origen tropical, con centro de origen

The species *Jatropha curcas* known as pine nut (*piñón*), is of tropical origin and its center of origin is in Mexico and Central America (Salinas *et al.*, 2011). It belongs to the Euphorbiaceae family (Heller, 1996). It is distributed worldwide and it is characterized by its drought resistance.

en México y Centroamérica (Salinas *et al.*, 2011). Pertenece a la familia Euphorbiaceae (Heller, 1996). Se encuentra distribuida a nivel mundial, y se caracteriza por su capacidad de resistencia a la sequía (Heller, 1996; Jongschaap *et al.*, 2007). Es un árbol de usos múltiples, pues en algunas regiones se emplea como cerco vivo, cortinas rompevientos y barreras de erosión, que además, en zonas rurales de países en vías de desarrollo permite generar ingresos (Paramathma *et al.*, 2004). Como cultivo es adecuado por su rápida adaptación a diferentes ambientes, en comparación con otras especies leñosas (Achten, *et al.*, 2010). De las semillas se extraen aceites no comestibles debido a la toxicidad de algunos genotipos, por lo que se emplea en la industria de jabones entre otras (Jongschaap *et al.*, 2007). Actualmente, esta oleaginosa ha llamado su atención en la industria de los bioenergéticos, principalmente por el alto contenido de aceite derivado de las semillas, ya que los aceites de primera generación (girasol, palma, soja y colza) compiten con la canasta básica, mientras que el aceite de piñón, por su naturaleza no comestible promueve su potencial como fuente para la producción de biodiesel (Sarin *et al.*, 2006). El biodiesel, éster de monoalquilo derivado de ácidos grasos vegetales, obtenido al reaccionar químicamente el aceite con un alcohol, tras el efecto de un catalizador, producen glicerol como subproducto (Mittelbach, 1996). Por lo anterior, las plantas oleaginosas como la *Jatropha*, representan una posible solución para la generación de energía renovable y sustentable (Ayhan, 2006). En este contexto, y debido a la necesidad de sustituir el diésel por biodiésel, la materia prima para extracción de aceite resulta un tema de interés prioritario. Bajo esta circunstancia y ante la carencia de material genético que permita obtener un alto contenido de aceite de calidad, el presente estudio se llevó a cabo para evaluar e identificar la calidad fisicoquímica de 13 materiales de *J. curcas* colectados en el estado de Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó en el Laboratorio de Bioenergía, INIFAP, Tuxtla Chico, Chiapas, México. Las semillas en estudio provienen de trece

(Heller, 1996; Jongschaap *et al.*, 2007). It is a multipurpose tree, in some regions it is used as a live fence, windbreak tree and erosion barrier, moreover, in rural areas of developing countries it generates income (Paramathma *et al.*, 2004). As a crop it is suitable, given its rapid adaptation to different environments compared to other woody species (Achten *et al.*, 2010). From its seeds, non-edible oils are extracted, due to the toxicity of some genotypes they are used in other industries such as soap manufacture (Jongschaap *et al.*, 2007). Currently, this plant has caught the attention of the bioenergetics industry mainly due to the high oil content of its seeds, given that while first generation oils (sunflower, palm, soybeans and canola) compete against the basic food basket, pine nut oil has a non-edible nature which fosters its potential as a biodiesel production source (Sarin *et al.*, 2006). The biodiesel, monoalkyl ester derived from vegetable fatty acids, obtained by chemically reacting the oil with an alcohol in the presence of a catalyst, produces glycerol as a byproduct (Mittelbach, 1996). Consequently, oil plants like *Jatropha*, represent a possible solution for generating renewable and sustainable energy (Ayhan, 2006). In this context, and due to the need to replace diesel with biodiesel, raw materials for oil extraction become a critical subject of interest. Under these circumstances and facing the lack of genetic material that allows for the extraction of high content of quality oil, this study was carried out to evaluate and identify the physicochemical quality of 13 *J. curcas* genotypes collected in the state of Chiapas.

MATERIALS AND METHODS

The evaluation was done in the Bioenergy Laboratory, INIFAP, Tuxtla Chico, Chiapas, Mexico. The studied seeds came from three elite genotypes (selected for their performance characteristics), established in the Experimental Field Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas (Table 1). The procedures to determine oil quality were

genotipos élite (seleccionados por sus características de rendimiento), establecidos en el Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Acciones de *J. curcas* evaluadas.

Table 1. Evaluated *J. curcas* accessions.

Lote	Genotipo	Estado
1	INIFAP-MX 821	Chiapas
2	INIFAP-MX 254	Chiapas
3	INIFAP-MX 331	Chiapas
4	INIFAP-MX 314	Chiapas
5	INIFAP-MX 721	Chiapas
6	INIFAP-MX 294	Chiapas
7	INIFAP-MX 952	Chiapas
8	INIFAP-MX 32	Chiapas
9	INIFAP-MX 102	Chiapas
10	INIFAP-MX 341	Chiapas
11	INIFAP-MX 244	Chiapas
12	INIFAP-MX 42	Chiapas
13	INIFAP-MX 362	Chiapas

Los procedimientos para la determinación de la calidad del aceite se realizaron como se describe a continuación:

Contenido de Aceite. El aceite se extrajo a partir de 100 g de semillas, mediante el método de extracción con disolvente, utilizando hexano (60 °C) como disolvente (método de Soxhlet) bajo el procedimiento de la Norma Oficial NMX-F-089-1978, usando un equipo de extracción continua. La determinación de la humedad se realizó empleando una termobalanza.

Determinación del Índice de Yodo. El índice de yodo se determinó por el método de Hanus, con algunas modificaciones. Se pesaron 2 g de aceite y se transfirieron a un recipiente de 250 mL, se agregaron 20 mL de etanol dispensado con una pipeta. Posteriormente se calentó en baño maría por 3 minutos. Se esperó a que se atemperara el matraz y se tituló con potasio alcohólico 0.1 N,

carried out as described below:

Oil Content. The oil was extracted from 100 g of seeds, through the extraction method with solvent, using hexane (60 °C) as solvent (Soxhlet extraction method) under the procedure of the Official Standard NMX-F-089-1978, using continuous extraction equipment. The determining of moisture content was done using a thermobalance.

Iodine Value Determination. The value of iodine was determined through the Hanus method, with some alterations. 2 g of oil were weighed and transferred to a 250 mL container, 20 mL of ethanol were added using a pipette. The mixture was heated in hot water for 3 minutes. After the flask cooled, it was titrated with alcoholic potassium 0.1 N, sodium hydroxide, using phenolphthalein as an indicator.

Viscosity and density. These parameters were determined using a viscometer (Anton Para).

Fatty Acid Profile. The fatty acid profile was determined through a gas chromatography (Perkin Elmer); in order to determine the distribution of the fatty acids in the oil, they were volatilised, quantitatively transforming them into short-chain alcohol esters. For this purpose, fatty acid methyl esters were prepared.

RESULTS AND DISCUSSION

The oil moisture content varied significantly ($P < 0.05$) among genotypes, with values ranging from 3.91 to 5.35 % (Table 2).

Jumat and Waled (2012) mention that moisture content and free fatty acid content should be determined in the majority of the *J. curcas* oils destined for biodiesel production. According to Bernardini (1981), *J. curcas* seeds should have moisture percentages lower than 9 % to avoid the formation of emulsions between water and oil. Llorente and Sarmiento (2008), point out that values up to 10 % moisture are acceptable for

hidróxido de sodio, usando como indicador la fenolftaleína.

Viscosidad y densidad. Estos parámetros fueron determinados empleando un viscosímetro (Anton Para).

Perfil de ácidos grasos. El perfil de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases (Perkin Elmer); para determinar la distribución de los ácidos grasos del aceite, fue necesario volatilizarlos, transformándolos cuantitativamente a ésteres de alcohol de cadena corta, para lo cual, se prepararon ésteres metílicos de ácidos grasos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad varió significativamente ($P < 0.05$) entre genotipos, obteniendo valores de 3.91 a 5.35 % (Cuadro 2).

Jumat y Waled (2012), mencionan que los contenidos de humedad y ácidos grasos libres deben determinarse en la mayoría de los aceites de *J. curcas* destinados para la producción de biodiesel. Según Bernardini (1981), las semillas de *J. curcas* deben tener porcentajes de humedad menores al 9 %, para evitar formación de emulsiones entre el agua y el aceite. Llorente y Sarmiento (2008), indican que valores de hasta 10 % de humedad como máximo son permisibles para una buena extracción de aceite en semillas de algodón, empleados en la producción de biodiesel. Por otro lado, Akintayo (2004), reportó valores de humedad de 5.4 % en variedades de *J. curcas*. El contenido de humedad obtenido en las semillas de los trece genotipos del estudio, se encuentran por debajo de los reportados por Bernardini y Akintayo, lo cual es positivo para efectos de extracción lipídica. Según Patel *et al.* (2011), la extracción con solventes químicos permite obtener hasta 55 % de aceite cuando se emplea n-hexano. Los resultados obtenidos en este estudio, fluctuaron de 48.34 a 56.75 %, muy parecidos a los reportados por Achten *et al.* (2010) y superiores a 30 - 40 % reportados por Lozano (2007) y Archana *et al.*, (2013), pero inferiores comparados con los estudiados por Reinhard (2007). Los genotipos INIFAP 952 e INIFAP 32, sobresalieron por presentar los valores más altos de contenido de aceite (Cuadro 2).

a good oil extraction in cottonseeds, used in biodiesel production. On the other hand, Akintayo (2004), reported moisture values of 5.4 % in varieties of *J. curcas*. The moisture content obtained from the seeds of the thirteen genotypes in this study were below those reported by Bernardini and Akintayo, which is appropriate for lipid extraction purposes. According to Patel *et al.* (2011), chemical solvents enables 55 % of the oil to be extracted when n-hexane is used. The results obtained in this study, varied from 48.36 to 56.75 %, very similar to those reported by Achten *et al.* (2010), superior to the 30 - 40 % reported by Lozano (2007) and Archana *et al.*, (2013), but below those studied by Reinhard (2007). The INIFAP 952 and INIFAP 32 genotypes had the highest oil content (Table 2.)

The iodine value is a parameter directly related to oil unsaturation (Mittelbach, 1996). According to the results obtained, for this parameter, fluctuations between 94.64 and 115.64 I₂/100g of oil were observed (Table 3). These values suggest that the evaluated genotypes are within the determined range for the European Standard EN-14214, which establishes the admissible biodiesel values of 120 I₂/100g of oil. As observed in Table 3, the highest value for iodine was 115.3 I₂/100g of oil, in the INIFAP-MX 341 genotype, while the lowest was 94.6 I₂/100g of oil in the INIFAP-MX 244 genotype. Archana *et al.* (2011), reported 4.46 I₂/100g of *J. curcas* oil.

Salimon and Rozaini (2008) reported that oils extracted from *J. curcas* seeds grown in Nigeria showed a viscosity of 17 to 52 mm²/s. The studied elite genotypes had viscosity values ranging from 19.12 to 37.39 mm²/s, below the 42.88 mm²/s reported by Akbar *et al.* (2009). The evaluated genotypes showed values among 19.12 and 37.39 mm²/s.

The oil density of the evaluated elite materials varied from 0.901 to 0.922 g/cm³ (Table 3), superior to the 0.88 g/cm³ value obtained by Sanusi *et al.* (2013), and Becker and Makkar

Cuadro 2. Contenidos de humedad y de aceite en las semillas de 13 genotipos de *J. curcas*.

Table 2. Humidity and seed oil contents from 13 *J. curcas* genotypes.

Genotipo	Contenido (%)	
	Humedad	Aceite
INIFAP-MX 821	4.663 c	54.6 ab
INIFAP-MX 254	5.357 a	50.95 cd
INIFAP-MX 331	5.262 a	50.77 cd
INIFAP-MX 314	4.943 b	51.12 cd
INIFAP-MX 721	4.868 b	48.34 cd
INIFAP-MX 294	4.496 c	53.43 bc
INIFAP-MX 952	3.927 d	55.08 ab
INIFAP-MX 32	3.803 d	56.75 a
INIFAP-MX 102	4.494 c	49.78 d
INIFAP-MX 341	4.859 b	49.51 d
INIFAP-MX 244	4.580 c	50.49 cd
INIFAP-MX 42	3.844 d	53.44 bc
INIFAP-MX 362	3.919 d	54.82 ab

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05).

El índice de yodo es un parámetro que se relaciona directamente con la insaturación del aceite (Mittelbach, 1996). De acuerdo a los resultados obtenidos, para este parámetro se observaron fluctuaciones entre 94.64 a 115.64 I₂/100 g de aceite (Cuadro 3). Estos valores sugieren que los genotipos evaluados se encuentran dentro del intervalo establecido por la norma europea EN 14214, que establece valores permisibles de biodiesel de 120 I₂/100 g de aceite. Como puede observarse en el Cuadro 3, el valor más alto de índice de yodo fue de 115.32 I₂/100 g de aceite, en el genotipo INIFAP-MX 341, mientras que el más bajo fue de 94.642 I₂/100 g de aceite en el genotipo INIFAP-MX 244. Archana *et al.* (2011), reportaron 4.46 I₂/100 g de aceite de *J. curcas*.

(2008), who evaluated three types of oils extracted from seeds coming from Nigeria and India. The European Standard EN 14214 stipulates that 0.860 g/cm³ is the maximum density oil used in biofuel production can contain. Even when oil density goes down to 4 % when it is transformed into biodiesel, the extracted oil from the studied genotypes, varies from 0.866 to 0.885 g/cm³. This parameter determines the maximum percentage of biodiesel to be used in mixtures (B5, B10, B15, etc.)

In this study, long-chain fatty acids, linoleic and oleic, were identified as the main fatty acids in *J. curcas* oil, with proportions of 46.72 % of linoleic acid and 39.69 % of oleic acid.

Generally, the oil from the evaluated genotypes was made up of unsaturated fatty acids, a characteristic observed by Archana (2011) and Salimon and Rozaini (2008). The third component found with values up to 10 % was saturated arachidic fatty acid. Below 10 % were present palmitic and stearic fatty acids, along with monounsaturated acids (palmitoleic) and polyunsaturated acids (linolenic). According to the European Standard for biodiesel, the content of linolenic acid should not be greater than 12 %. The evaluated elite genotypes showed values from 0.025 to 0.195 %; they are, therefore, well within the established range.

CONCLUSIONS

The evaluation of the physicochemical properties of the oil from thirteen *J. curcas* genotypes showed that this is rich in oleic and linoleic fatty acids, so it is classified as unsaturated. The INIFAP-MX 32 genotype stood out favorably for containing the largest oil percentage. Regarding the commercial use of the oil, the evaluated genotypes show advantages for the conversion of the oil into biodiesel. Oils from all types of the evaluated *J. curcas* genotypes complied with the international quality parameters; therefore, they have great potential to be used as biofuels.

Cuadro 3. Determinaciones químicas del aceite de *J. curcas*.

Table 3. Chemical determination of *J. curcas* oil.

Genotipo	Parámetros determinados en el aceite de piñón		
	Yodo (I ₂ /100 g de aceite)	Densidad 15 °C (g/cm ³)	Viscosidad 40 °C (mm ² /s)
INIFAP-MX 821	106.18 cd	0.920 e	35.04 d
INIFAP-MX 254	96.76 g	0.920 de	34.01 f
INIFAP-MX 331	106.01 cd	0.921 bc	33.60 h
INIFAP-MX 314	105.41 d	0.920 bc	33.92 g
INIFAP-MX 721	106.01 cd	0.921 bc	33.22 i
INIFAP-MX 294	109.17 bc	0.921 bc	32.79 j
INIFAP-MX 952	106.32 cd	0.920 cde	33.94 g
INIFAP-MX 32	101.62 ef	0.922 ab	35.39 b
INIFAP-MX 102	111.20 b	0.922 ab	35.56 b
INIFAP-MX 341	115.32 a	0.922 ab	37.39 a
INIFAP-MX 244	94.64 g	0.922 ab	35.243c
INIFAP-MX 42	98.57 fg	0.921 ab	34.89 e
INIFAP-MX 362	104.00 de	0.901 f	19.12 k
CV (%)	4.25	0.638	13.02

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05)

*Average figures with identical letters are not statistically different (Tukey= 0.05)

Salimon y Rozaini (2008) reportaron que en aceites extraídos a partir de semillas de *J. curcas* cultivadas en Nigeria, presentaron una viscosidad de 17 a 52 mm²/s. Los genotipos elite en estudio, se encuentran en un intervalo de valores de viscosidad de 19.12 a 37.39 mm²/s, por debajo de 42.88 mm²/s reportados Akbar *et al.* (2009). Los genotipos evaluados presentaron valores entre 19.119 y 37.389 mm²/s.

La densidad del aceite de los materiales elite evaluados variaron de 0.901 a 0.922 g/cm³ (Cuadro 3), superiores al valor de 0.88 g/cm³ obtenidos por Sanusi *et al.* (2013), y Becker y Makkar (2008), quienes evaluaron tres tipos de aceites extraídos a partir de semillas procedentes de Nigeria e India. La norma europea EN 14214 estipula que 0.860 g/cm³ es la densidad límite que puede contener un aceite empleado en la producción de biocombustible. Aun cuando la densidad del aceite

BIBLIOGRAFÍA

- Achten, W., Nielsen, L., Aerts, R., Lengkeek, A., Kjaer, E., Trabucco, A., Hansen, J., Maes, W., Graudal, L., kinnifesi, F., and Muys, B. 2010. Towards domestication of *Jatropha curcas*. *Biofuels* 1(1):91-107.
- Akbar, E., Yaakob, Z., Kamarudin, S., Ismail, M., and Salimon, J. 2009. Characteristic and Composition of *Jatropha curcas* Oil seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock. *European J. Sci. Res.* 29(3):396-403.
- Akintayo, E. 2004. Characteristics and composition of *Parkia biglobbosa* and *Jatropha curcas* oils and cakes. *Biores. Technol.* 93(3):307-310.
- Archana, J., Pankaj, S., and Bachheti, R. 2011. Physicochemical characterization of seed oil of *Jatropha curcas* L. collected from Dehradun (Uttarakhand) India. *Intern. J. Appl. Biol. Pharmac. Techn.* 2(2):123-127.
- Archana, J., Singhal, P., and Bachheti, R. 2013. Variation in Oil content and Physico-chemical properties of *Jatropha curcas* Seed collected from different areas of Garwhal, Uttarakhand India. *Int. J. Chem. Tech. Res.* 5(6):2993-2999.
- Ayhan, D. 2006. Biomass Feedstocks. Sila Science University Mah, Mekan Sok. Trabzon, Turkey. *Biotechn.* 24(7):1-5.
- Becker, K., and Makkar, H. 2008. *Jatropha curcas*: A potential source for tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Toxic.* 20(5):104-107.
- Bernardini, E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. 1ª. Ed. Española. Ed. Alambra S.A. Madrid – España. 498 p.
- Heller, J. 1996. *Physic Nut. Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome. ISBN 92-9043278-0.
- Jongschaap, R., Corré, J., Bindraban, P., and Brandenburg, W. 2007. Claims and Facts on

Cuadro 4. Ácidos grasos presentes en el aceite de *J. curcas*.

Table 4 . Fatty acids in *J. curcas* oil.

Ácidos grasos	Intervalo
Ácido Mirístico (14:0)	0.2 ± 0.02 - 1.96 ± 0.08
Ácido Palmítico (16:0)	4.98 ± 0.09 - 10.64 ± 0.25
Ácido Palmitoléico (16:01)	1.48 ± 1.07 - 4.05 ± 0.25
Ácido Heptadecanioco (17:0)	0.045 ± 0.07 - 1.76 ± 0.09
Ácido Esteárico (18:0)	2.98 ± 0.16 - 6.015 ± 0.45
Ácido Oléico (18:1)	21.51 ± 3.82 - 39.69 ± 0.72
Ácido Linoléico (18:2)	29.15 ± 0.56 - 46.72 ± 0.56
Ácido Araquídico (20:0)	1.95 ± 1.88 - 25.28 ± 1.04
Ácido Eicosenoico (20:01)	0.005 ± 0.03 - 0.015 ± 0.02
Ácido Linolénico (18:3n3)	0.025 ± 0.05 - 0.195 ± 0.03
Ácido Benhénico (22:0)	0.015 ± 0.02 - 0.125 ± 0.03
Ácido Lignocérico (24:0)	1.135 ± 0.09 - 3.62 ± 0.29

disminuye hasta 4 % cuando se transforma a biodiesel, el aceite extraído de los genotipos en estudio, oscila entre 0.866 a 0.885 g /cm³. Este parámetro determina el máximo porcentaje de biodiesel a utilizar en mezcla (B5, B10, B15, etc.).

En el presente estudio, los ácidos grasos de cadena larga, linoleico y oleico, fueron identificados como mayoritarios en el aceite de *J. curcas*, con proporciones de 46.72 % de ácido linoleico y 39.69 % de ácido oleico.

De manera general, el aceite de los genotipos evaluados está constituido por ácidos grasos insaturados, característica observada por Archana (2011) y Salimon y Rozaini (2008). El tercer constituyente que se encontró hasta en un 10 % fue el ácido graso saturado araquídico. Por debajo del 10 % se encontraron los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico, monoinsaturados (palmitoléico) y poliinsaturados (linolénico). De acuerdo a la Norma Europea para biodiesel, el contenido de ácido linolénico no debe ser superior al 12 %. Los genotipos elites evaluados presentaron valores de 0.025 a 0.195 %, por lo que se encuentran dentro de los intervalos establecidos.

Jatropha curcas L: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International. Wageningen, The Netherlands. pp. 1-42.

Jumat, S., and Waled, A. 2012. Physicochemical Characteristics of Tropical *Jatropha curcas* Seed Oil (Sifat Fizikokimia Minyak Biji *Jatropha curcas* Tropika). Sains Malaysiana 1(3):313–317.

Lozano, J. 2007. *Jatropha* Project-Mexico. Disponible en <http://cdm.unfccc.int/> (Consultado el 12 de mayo de 2015).

Llorente, J., y Sarmiento, F. 2008. Estudio de la influencia de la temperatura y la humedad en un proceso de extracción de aceite de semillas vegetales. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería y Administración. Bucaramanga, Venezuela.

Mittelbach, M. 1996. Diesel fuel derived from vegetable oils. VI: Specifications and quality control of biodiesel. Biores. Technol. 56:7–11.

Paramathma, M., Parthiban, K., and Neelakantan, K. 2004. A Book on “*Jatropha curcas*”. Published by FC&RI, Mettupalayam, India.

CONCLUSIONES

La evaluación de propiedades fisicoquímicas del aceite de trece genotipos de *J. curcas*, revelan que es rico en ácidos grasos oleico y linoleico, por lo que el aceite clasifica como insaturado. El genotipo INIFAP-MX 32 sobresalió positivamente por contener el mayor porcentaje de aceite. En términos de aceite para uso comercial, los genotipos evaluados presentan ventajas para la conversión del aceite a biodiesel. Los aceites de todos los genotipos de *J. curcas* evaluados cumplieron los parámetros de calidad, por lo tanto, tienen alto potencial para su utilización como biocombustibles.

- Patel, S., Patel, K., Nilkanth, F., Vasudev, T., and Shubramanian. 2011. Extraction and analysis of *Jatropha curcas* L. seed oil. *African J. Biotechn.* 10:18210-18213.
- Reinhard HB. 2007. *Jatropha Booklet. A Guide to the Jatropha systems, its dissemination in Africa.* In: <http://www.jatropha.pro/PDF%20bestanden/Jatropha%20Africa%20Booklet.pdf>. (Consulted 15th. May, 2015).
- Salimon, J., and Rozaini, A. 2008. Physicochemical Properties of Malaysian *Jatropha curcas* Seed Oil. *Sains Malaysiana* 37(4):379-382.
- Salinas, N., Armijos, V., Jiménez, P. y Proaño, K. 2011. Caracterización y Estudio de la Diversidad Genética del Piñón (*Jatropha curcas*) Mediante el Uso de Marcadores Moleculares. Carrera de Ingeniería en Biotecnología. Escuela Politécnica del Ejército. 14(1):31-40.
- Sanusi, G., Belewu, M., and Oduguwa, B. 2013. Changes in chemical composition of *Jatropha curcas* kernel cake after solid-state fermentation using some selected fungi. *Global J. Biology, Agric. Health Sc.* 2:62-66.
- Sarin, R., Sharma, M., Sinharay, S., and Malhotra, R. 2006. *Jatropha-Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia.* Elsevier. *Fuel* 86:1365-1371.

SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES PARA PRODUCIR *Jatropha curcas* L. NO TÓXICA EN MÉXICO

DECISION SUPPORT SYSTEM TO PRODUCE NON-TOXIC *Jatropha curcas* L. IN MEXICO

Gabriel Díaz Padilla^{1*}, Ignacio Sánchez Cohen², Guillermo Medina García³, Jorge M. P. Vázquez Alvarado⁴, Jesús Soria Ruiz⁵

¹INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla/Sitio Experimental Teocelo. Carretera Xalapa – Veracruz. Km. 3.5. Municipio de Xalapa, Veracruz. México. C.P. 91190. Tel: 01 800 088 22 22. Ext. 87841. (diaz.gabriel@inifap.gob.mx). ²INIFAP. CENID – RASPA. Margen derecha del Canal Sacramento, Km. 6.5. Municipio de Gómez Palacios, Durango. México. C.P. 35140. Tel: 01 800 088 22 22. Ext. 80515. (sanchez.ignacio@inifap.gob.mx). ³INIFAP. Campo Experimental Zacatecas, Carretera Zacatecas-Fresnillo. km 24.5. Municipio de Calera, Zacatecas. México. C.P. 98600. Tel: 01 800 088 22 22. Ext. 82306. (guillermo.medina@inifap.gob.mx). ⁴INIFAP. Campo Experimental Zacatepec. Carretera Zacatepec – Galeana. Km. 0.5. C.P. 62780. Municipio de Zacatepec, Morelos, México. Tel: 01 800 088 22 22. Ext. 86614 (vazquez.jorge@inifap.gob.mx). ⁵INIFAP Sitio Experimental Metepec, Carretera Toluca-Zitácuaro Km. 4.5, Vialidad Adolfo López Mateos S/N. C.P. 51350. Zinacantepec, Estado de México. México. Tel: 01 800 088 22 22. Ext. 85644 (soria.jesus@inifap.gob.mx). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

En el presente documento se hace una revisión de literatura actualizada del estado del arte del desarrollo de los sistemas expertos y su aplicación en la agricultura, así como también, conjunta dicha metodología con las experiencias desarrolladas por el INIFAP referente a los estudios de potencial productivo. Se desarrolla una propuesta metodológica híbrida que combina dichos estudios y los sistemas expertos, para aplicarlos en la definición de un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la producción del piñón mexicano. Para desarrollar dicho sistema (SSD_ *Jatropha*), se consideran las siguientes fases: 1) Delimitación geográfica espacial de las zonas de alto potencial productivo para la producción de *Jatropha* en México, 2) Generación de un sistema experto basado en una base de datos y hechos, y con un sistema explicativo que informe sobre como producir la *Jatropha* en las zonas de alto potencial. 3) Conformación de un sistema de análisis económico y 4) Consideración en el sistema experto de un módulo de tipología de productores.

ABSTRACT

This document contains a review of updated literature on the state of the art of the development of expert systems and their applications in agriculture, as well as a grouping of said methodology and the experiences developed by INIFAP regarding production capacity studies. With this information, a methodological hybrid proposal is developed combining said studies and the expert systems so that this can help define a decision support system for the production of Mexican pine nut. In order to develop said system (SSD_ *Jatropha*), we have to go through the following stages: 1) spatially and geographically defining the areas with high production capacity for *Jatropha* in Mexico. 2) Creating an expert system based on a database and a fact base with an explanatory system that illustrates how to produce *Jatropha* in areas with high potential. 3) Designing an economic analysis system and 4) including a producer typology unit in the expert system.

Palabras clave: Jatropha, sistemas de soporte a la toma de decisiones, Sistema experto, potencial productivo.

Key words: Jatropha, decision support system, expert system, production capacity.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola competitiva y sustentable requiere la acumulación e integración de conocimiento e información de diversas fuentes. Para mantenerse competitivo, el agricultor moderno requiere el apoyo de especialistas agrícolas y consejeros que provean información para la toma de decisiones. Desafortunadamente, la asistencia agrícola especializada no siempre está disponible cuando el productor la requiere; para solventar este problema, los Sistemas Expertos fueron identificados como una poderosa herramienta con potencial extensivo para la agricultura (Jiajia *et al.*, 2013; Prasad y Babu, 2006).

Los sistemas expertos son una subdivisión de la inteligencia artificial (Jabbar y Khan, 2015; Prasad y Babu, 2006). Se puede decir que estos, tienen el rendimiento y el trabajo similar a un experto humano, de tal manera que el sistema experto utiliza el conocimiento humano capturado en una computadora para resolver problemas que por lo general requieren experiencia humana. El Sistema Experto está integrado por: interfaz de usuario, mecanismo de explicación, motor de inferencia, base de conocimientos y bases de datos de los hechos (Balleda *et al.*, 2014; Jabbar y Khan, 2015). Para que un sistema experto sea considerado útil y aceptable, debe ser capaz de explicar su área de conocimiento y el proceso de razonamiento que utiliza para descubrir nuevos hechos, nuevos conocimientos y proporcionar diferentes consejos o soluciones (Jabbar y Khan, 2015). Los sistemas expertos aplicados en la agricultura iniciaron a finales de los 70's (Tang *et al.*, 2009), enfocados principalmente al diagnóstico de enfermedades y manejo del cultivos.

La agronomía, por ser una ciencia

INTRODUCTION

Sustainable and competitive agricultural production requires accumulating and integrating knowledge and information from various sources. In order to stay competitive, the modern farmer needs support from agricultural specialists and advisers who provide information for decision-making. Unfortunately, specialized agricultural assistance is not always available when the producer requires it; in order to solve this problem, expert systems were identified as a powerful tool with applicable potential for agriculture (Jiaji a *et al.*, 2013; Prasad and Babu, 2006).

Expert systems are a subdivision of artificial intelligence (Jabbar and Khan, 2015; Prasad y Babu, 2006). One could say that they perform and work as a human expert would, so then an expert system uses human knowledge recorded in a computer to solve problems that generally require human experience. The expert system is made up of a user interface, an explanation mechanism, a knowledge base and a fact database (Balleda *et al.*, 2014; Jabbar and Khan, 2015). In order for an expert system to be considered useful and acceptable, it should be able to explain its area of knowledge and the reasoning process it uses to discover new facts, new knowledge and to give different advice or solutions. (Jabbar and Khan, 2015). Expert systems application to agriculture started at the end of the 70's (Tang *et al.*, 2009), where it was mainly focused on disease diagnosis and crop management.

Being a multidisciplinary science, agronomy offers the opportunity to develop various expert systems for several crops, diseases, insects, for irrigation scheduling and fertilization management, and several other necessary aspects for sustainable agricultural

multidisciplinaria, ofrece la oportunidad de desarrollar diversos sistemas expertos para varios cultivos, enfermedades, insectos, calendarios de riego, manejo de la fertilización y varios otros aspectos necesarios para el desarrollo agrícola sostenible (Islam, 2013). Por otra parte, de acuerdo con (Katkamwar *et al.*, 2015), hay múltiples factores clave que demeritan la producción en el campo de la agricultura. Para mejorar la producción agrícola deben tomarse decisiones correctas en el manejo de los cultivos. Un sistema experto, también llamado sistema basado en conocimiento, es un programa de cómputo diseñado para simular la conducta o la manera en que un experto resolvería un problema en un dominio reducido del conocimiento o disciplina (Prasad y Babu, 2006); los mismos autores indican que los sistemas expertos combinan el conocimiento experimental con la experiencia intuitiva de una multitud de especialistas para asistir a los productores en tomar la mejor decisión sobre sus cultivos. Por otro lado, Jacucci y Uhrík (1993) señalan que en los últimos diez años se ha visto una explosión en el desarrollo del campo de la simulación basada en conocimiento.

Respecto a los parámetros o variables de entrada de un modelo o sistemas de soporte, Babu (2013) los define de la siguiente manera: 1) **Información estática**: que podrá ser consultada en bases de datos o información de los expertos, dicha información podría ser por ejemplo el ciclo del cultivo desde la siembra hasta la cosecha; 2) **Información semi o cuasi – dinámica**, que podría considerarse como la información colectada en campo o la que provean informantes clave; y 3) **Información dinámica**: La que se suministra en tiempo real y es basada en sensores o de fuentes secundarias, incluye precipitación, temperatura, pH, suelo, precios de productos o insumos o precios de venta de los productos.

Para validar y verificar el sistema es necesario

development (Islam, 2013). On the other hand, according to (Katkamwar *et al.*, 2015), there are multiple key factors that reduce production in the field of agriculture. In order to improve agricultural production, precise decisions have to be made regarding crop management.

An expert system, also called knowledge-based system, is a computer program designed to emulate the behavior or the way in which an expert would solve a problem with a limited command of knowledge of the discipline (Prasad and Babu, 2006); these same authors state that expert systems combine experimental knowledge with intuitive experience from a multitude of specialists to help producers make the best decision when it comes to their crops. Furthermore, Jacucci and Uhrík (1993) note that in the last ten years, there has been an explosion in the development of the knowledge-based simulation field.

Regarding the entry parameters or variables of a model or support system, Babu (2013) defines them as follows: 1) **static information**: which may be consulted in a database or through experts. This information might be, for example, the crop cycle from sowing to harvesting; 2) **Semi or quasi-dynamic information**: which may be considered as information collected in the field or provided by key informants; and 3) **dynamic information**: which is supplied in real time and is based on secondary devices or sources, which include precipitation, temperature, pH, soil, product or edible good prices, or product retail prices.

In order to validate and verify the system, it is necessary to consider a test or verification subset. Validation is the process of running the program on a group of case studies and comparing current results with the ones expected. Validation includes the verification of individual connections between variables, the validation of the computer program results,

considerar un subconjunto de prueba o verificación. La validación es el proceso de correr el programa sobre un grupo de estudios de caso y comparar los resultados actuales con los esperados. La validación incluye la verificación de relaciones individuales, entre variables, validación de los resultados del programa de cómputo y evaluación de la utilidad del mismo (Mahmoud *et al.*, 2008). De acuerdo con Balleda *et al.* (2014) hay dos tipos de prueba y verificación que se deben realizar en los sistemas expertos. El primero se refiere a la verificación del grupo de condiciones que satisfacen las conclusiones comunes y el segundo es referente a las condiciones o propiedades locales de una regla o grupo de reglas específicas como es alguna regla faltante o inconsistente.

Mahmoud *et al.* (2008) justifican el uso de los sistemas de soporte o sistemas expertos, con base en la siguientes deficiencias de los sistemas tradicionales: a) utilizan información estática, esto es que en algunas ocasiones no va de acuerdo con las necesidades de los productores; b) la información disponible se enfoca hacia un disciplina o área del conocimiento siendo que los problemas son multivariables y multidisciplinarios; c) la necesidad de combinar fuentes de información; y d) la necesidad de actualizar la información disponible.

El proceso de adquisición de conocimiento para construir un sistema experto facilita la integración del conocimiento y experiencias de diferentes especialidades. También pueden ayudar a superar el problema de los relativamente pocos expertos en relación con la demanda de los productores.

La tecnología de los sistemas expertos puede ayudar a transferir la información de expertos y productores experimentados a los agricultores a través del sistema de extensión (Mahmoud *et al.*, 2008). El trabajo realizado por Desachy (1995) y Mahmoud *et al.* (2008) revela y enfatiza la efectividad e importancia de los sistemas expertos como una herramienta para el soporte de la toma de decisiones en los servicios de extensión o transferencia de tecnología agrícola.

and the evaluation of the program's utility (Mahmoud *et al.*, 2008). According to Balleda *et al.* (2014), there are two types of testing and verification that should be applied to expert systems. The first consists in verifying the group of conditions that conform to the common conclusions and the second consists of the local conditions or properties of a specific principle or group of principles, such as a missing or illogical principle.

Mahmoud *et al.* (2008) justifies the use of support systems or expert systems, based on the following traditional system deficiencies: a) they use static information, which sometimes does not fit the producers' needs; b) the available information focuses on one discipline or area of knowledge when problems are multivariable and multidisciplinary; c) the need to combine sources of information; and d) the need to update the available information.

The knowledge acquisition process for the construction of an expert system facilitates the integration of knowledge and experiences from different specialties. It can also help overcome the issue of the relatively small number of experts in relation to producer demand. Technology in expert systems can help transfer expert and experienced producer information to farmers through an extension system (Mahmoud *et al.*, 2008). The works of Desachy (1995) and Mahmoud *et al.* (2008) reveal and stress the effectiveness and importance of expert systems as a tool for decision support in extension services or agricultural technology transfer services.

However, expert systems have some disadvantages. Firstly, according to Ding *et al.*, (2005), it is difficult to completely acquire the experience from experts. Secondly, the validity of the models is mainly applicable in the region where the expert resides, and finally, the models do not guarantee that the conclusions will be impeccable when the experiences of the experts

No obstante, los sistemas expertos tienen algunas desventajas; en primer lugar, de acuerdo con Ding *et al.*, (2005), es difícil adquirir completamente la experiencia de expertos, segundo, la validez de los modelos, es aplicable principalmente a la región donde el experto vive, y finalmente, los modelos no aseguran que las conclusiones sean intachables cuando la experiencia de los expertos es diferente de uno a otro y no se pueden conocer los resultados del experto en tiempo real, esto es, se requiere muchas veces de periodos largos de tiempo para saber si la recomendación del experto fue la adecuada, lo cual es una gran desventaja de los sistemas expertos aplicados a la agricultura. Otro de los problemas en los sistemas expertos es que poco se ha hecho en medir los impactos resultantes de su uso (Mahmoud *et al.*, 2008); de acuerdo con este autor, hay una gran diferencia entre el desarrollo de un sistema experto en un laboratorio de investigación y demostración y el sistema experto que puede aplicarse en el campo agrícola. El mismo autor señala la necesidad de evaluar su utilidad con el usuario final y validar el cumplimiento de sus necesidades, así como definir otros criterios de evaluación, misma que debe considerar tanto los aspectos económicos como el impacto social y al medio ambiente. El impacto económico incluye el costo, beneficio y rendimiento, mientras que el impacto ambiental incluye el efecto de usar el sistema experto en la conservación de agua y suelo, así como en la disminución de la cantidad de plaguicidas utilizados en los campos agrícolas.

PROPUESTA DE DESARROLLO METODOLÓGICO

Fase I) Delimitación del potencial productivo de *Jatropha* no tóxica en México.

El objetivo es generar mapas digitales e impresos de las zonas de alto potencial productivo para la producción de *Jatropha*, para lo cual, el primer paso es considerar los requerimientos agroecológicos del cultivo, mismos que, de acuerdo con Valdez *et al.* (2013), se muestran en el Cuadro 1.

is, sometimes long periods of time are required to know if the recommendation of an expert was suitable, which is a great disadvantage for expert systems used in agriculture. Another problem with expert systems is that there is not enough research on the impact of their use (Mahmoud *et al.*, 2008); according to this author there is a great difference between an expert system used in a research demonstration laboratory and an expert system used in an agricultural field. The same author notes the need to evaluate its utility with the end user and validate that their needs are met, as well as define other evaluation criteria, which should take into account both economic aspects, and social and environmental impact. The economic impact should include cost, profit and efficiency, while the environmental impact should include the effect using an expert system has on water and soil preservation, as well as the reduction of the amount of pesticides used in agricultural systems.

METHODOLOGICAL DEVELOPMENT PROPOSAL

Stage I. Defining the production capacity of non-toxic *Jatropha* in Mexico.

The goal is to generate digital and printed maps of the areas with high production capacity for *Jatropha*. For this purpose, the first step is to take into account the agro-ecological requirements of the crop, which according to Valdez *et al.* (2013), are as shown in Table 1.

Based on this information, through a process of map algebra, and contrasting what the crop needs with what the environment provides, a production capacity map of non-toxic *Jatropha* in Mexico could be defined.

Table 2 shows the information of a conceptual diagram of a potential integral decision-making system for the production of non-toxic *Jatropha* in Mexico. Its core is the expert system, made up

Cuadro 1. Requerimientos agroecológicos del cultivo de *Jatropha*.

Table 1. Agro-ecological requirements of the *Jatropha* crop

Factor	Bajo	Medio	Alto
Temperatura	<12 °C	12 a 22 °C	16 a 32 °C
Precipitación	<700 mm	700-800 mm	800-2500 mm
Altitud	>1300 m	850-1300 m	0-849 m
Clima	Árido y semiárido, templado y frío	Semicálido	Cálido húmedo, Cálido Subhúmedo
Suelos (WRB, 2006)	Glesoles	Arenosoles, Andosoles, Cambisoles	Regosoles-feozems, Vertisoles

Con base en esta información y mediante el proceso de álgebra de mapas, y contrastando lo que requiere el cultivo contra lo que aporta el medio ambiente, se conformaría un mapa del potencial productivo de *Jatropha* no tóxica en México.

En el Cuadro 2 se muestra la información de un diagrama conceptual de lo que pudiera ser un sistema integral para la toma de decisiones sobre la producción de *Jatropha* no tóxica en México. Su parte medular es el sistema experto, conformado por una base de datos y una base de hechos, que de alguna manera trata de emular cómo un experto, con la información existente, tomaría la decisión de sembrar o no sembrar *Jatropha* en un determinado sitio.

Fase II. Desarrollo y explicación del sistema soporte.

Explicación del modelo conceptual.

Inicialmente, el usuario se registra y proporciona los datos de su ubicación geográfica. A continuación, el sistema requiere la entrada de datos técnicos del sitio, como el clima, suelo, pendiente, altitud, etc., si el usuario los desconoce, el sistema experto a través de la consulta de la base de datos de conocimiento, proporcionará los datos disponibles del sitio de referencia. Una vez registrado y con los datos específicos del lugar, el usuario podrá consultar un módulo de interés como es el de potencial productivo, riesgo, análisis financiero, etc., obtener un reporte de la consulta y salir, o continuar con un estudio integral de sus

of a database and a fact base, which somehow tries to emulate how an expert, with the existing information, would decide whether to plant *Jatropha* in a particular location or not.

Stage II. Explanation and development of the support system.

Explanation of the conceptual model.

In the beginning, the user registers and provides information on their geographic location. Next, the system requires technical data on the site, such as climate, soil, slope, altitude, etc. If the user does not have this information, the expert system will provide the available data on this reference location by browsing through the knowledge database. Once the user is registered with all the specifications on the location, they will be able to consult a unit of interest, such as production capacity, risk, financial analysis, etc., get a report on their search and exit, or continue with an integral study about agro-ecological, technological and economic potential. Likewise, the system will indicate or report on the pests that could possibly affect said crop and their level of risk: high, low and medium. Once performance potential and phytosanitary risk are identified, the system will provide technical recommendations for an optimal production of the crop. Drawing on the information mentioned above, the user could make a financial analysis based on the technical recommendations and expected performance, and decide whether said crop meets their expectations, in which case, the user would obtain an integral report of the

Cuadro 2. Información requerida para elaborar un sistema integral para la toma de decisiones sobre la siembra de *Jatropha*.

Table 2. Required information to create an integral decision-making system for sowing of *Jatropha*.

Módulos	Descripción
1.- Identificación del usuario	Se ubica geográficamente al usuario.
2.- Tipología de productor	Mediante componentes principales se clasifica el tipo de productor.
3.- Identificación y definición de factores limitantes de la producción	Se identifican las principales limitantes productivas en la base del conocimiento.
4.- Potencial productivo	En base a los requerimientos agroecológicos se identifica el potencial productivo del usuario.
5.- Rendimientos máximos potenciales	En base a componentes de radiación solar y área foliar se determina el rendimiento máximo alcanzable.
6.- Evaluación de riesgos fitosanitarios	Se evalúa el riesgo de incidencia de plagas y enfermedades.
7.- Recomendaciones tecnológicas	Con base en la tipología de productores y fichas tecnológicas se define la tecnología recomendada para el usuario.
8.- Análisis de indicadores financieros	Se calculan los siguientes indicadores financieros: costos variables, fijos, totales, unitarios y la tasa de rentabilidad por el periodo y anualizado.

potencialidades, agroecológicas, tecnológicas y económicas. De igual manera, el sistema le indicará o reportará las plagas que podrían afectar dicho cultivo y su nivel de riesgo: alto, bajo y medio. Una vez identificado su potencial de rendimiento y riesgo fitosanitario el sistema proporcionará las recomendaciones técnicas, para la óptima producción del cultivo en cuestión.

Basado en la información anterior el usuario podría realizar el análisis financiero basado en las recomendaciones tecnológicas y rendimientos esperados y decidirá si dicho cultivo satisface sus expectativas, en cuyo caso, el usuario podrá obtener un reporte integral del análisis, ya sea impreso o en formato digital. El diagrama del procedimiento descrito se muestra en la Figura 1.

analysis, either printed or in digital format. The diagram of the described procedure is shown in Figure 1.

BIBLIOGRAFÍA

- Babu, S. 2013. A software model for precision agriculture for small and marginal farmers. *In* Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS) 2013 IEEE. pp. 352-355.
- Balleda, K., Satyanvesh, D., Sampath, N. V. S. S. P., Varma, K. T. N., and Baruah, P. K. 2014. Agpest: An efficient rule-based expert system to prevent pest diseases of rice and wheat crops. *In*: Intelligent Systems and Control (ISCO), 2014. IEEE 8th. International Conference. pp. 262-268
- Desachy, J. 1995. A fuzzy expert system for geographical problems: an agricultural application. *In* Fuzzy Systems. International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference

Ding, W.-l., Xiong, F.-l., and Cheng, Z.-j. 2005. Study and implementation of the expert system for greenhouse tomato planting. *In: Information Technology and Applications. ICITA 2005. Third International Conference. Vol. 1. pp. 325-329.*

Islam, S. N. 2013. ShellAg: Expert System Shell for Agricultural Crops. *In: Cloud & Ubiquitous Computing & Emerging Technologies (CUBE). 2013 International Conference. pp. 83-86.*

Jabbar, H. K., and Khan, R. Z. 2015. Survey on development of expert system in the areas of Medical, Education, Automobile and Agriculture. *In: Computing for Sustainable Global International Conference. pp. 776-780.*

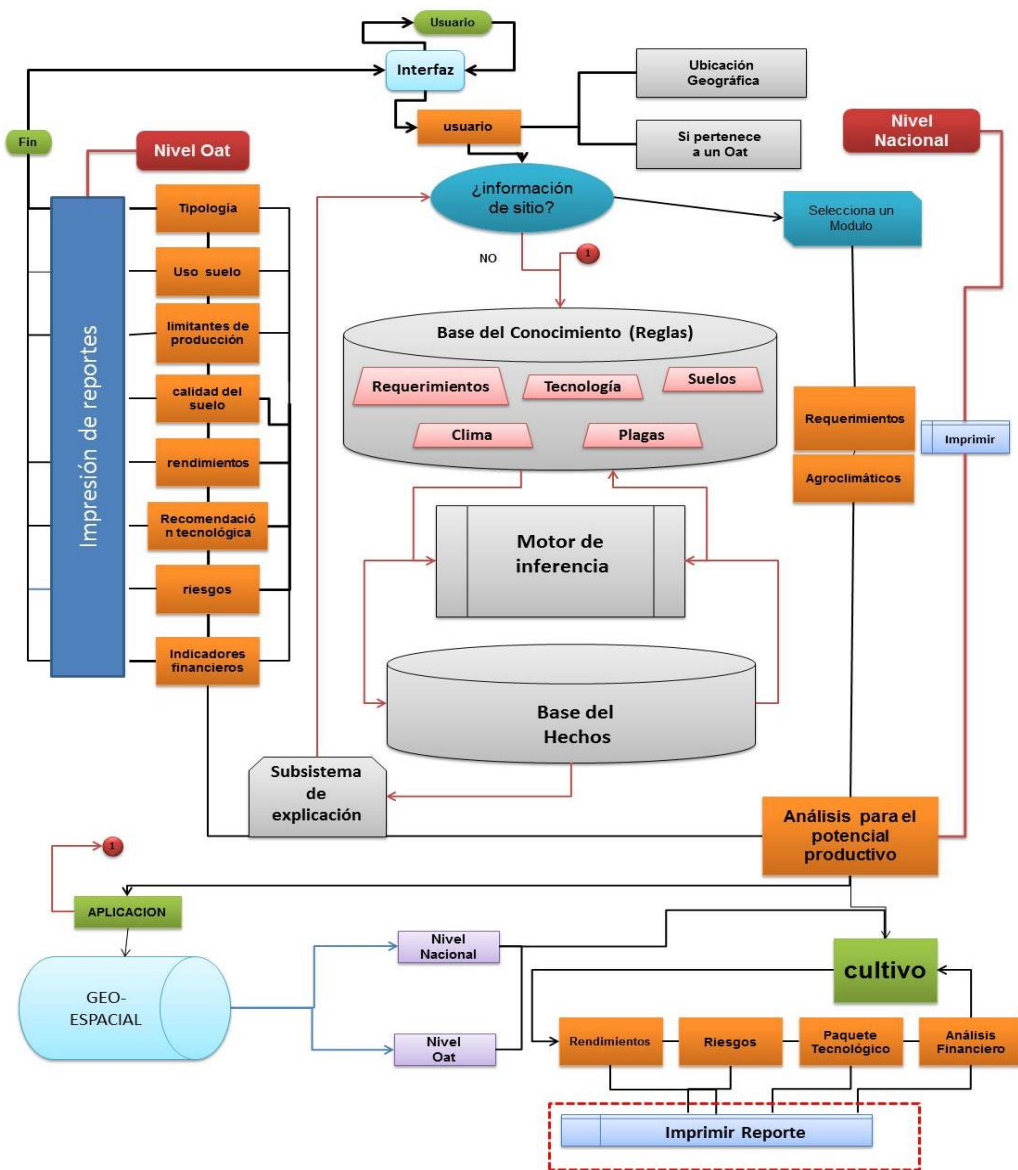


Figura 1. Diagrama del sistema soporte para la toma de decisiones acerca de sembrar o no Jatropa no tóxica en un sitio determinado.

Figure 1. Decision Support System Diagram in regard to sowing non-toxic Jatropa in a particular location.

- Jacucci, G., and Uhrlik, C. 1993. Intelligent DSS in engineering, agriculture and environment: combining knowledge based systems with simulation and modeling. *In: Systems, Man and Cybernetics. Systems Engineering in the Service of Humans*. Vol. 4. pp. 749-755.
- Jiajia, H., Dongmei, L., Shudong, H., Na, L., and Qin, M. 2013. Construction and application of the expert system of diagnosis for orchard pests and diseases. *Pharmac. Res.* 5:112-117.
- Katkamwar, N., Kumar, B., and Kalaskar, K. 2015. An expert system approach for improvement of agriculture decision. *Singaporean J. Scient. Res (SJSR)*. 5:8-12.
- Mahmoud, M., Rafea, M., and Rafea, A. 2008. Using expert systems technology to increase agriculture production and water conservation. *In: Digital Information Management. ICDIM*
- Prasad, R. N. G., and Babu, V. A. 2006. A Study on Various Expert Systems in Agriculture. *Georgian Electr. J.: Computer Sc. Telecom.* 4:81-86.
- Tang, H., Ye, J., Zhou, L., and Shi, Z. 2009. Agriculture Disease Diagnosis Expert System Based on Knowledge and Fuzzy Reasoning: A Case Study of Flower. *In: Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2009. FSKD '09. Sixth International Conference*. Vol. 3, pp. 39-43
- Valdés-Rodríguez, O.A., Sanchez-Sanchez, O., Perez-Vazquez, A., and Caplan, J. 2013. The Mexican non-toxic *Jatropha curcas* L., food resource or biofuel. *Ethnobot. Res. Applic.* 1:1-7

HARINA DE JATROPHA PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

JATROPHA FLOUR FOR ANIMAL FEED

Rafael Jiménez Ocampo^{1*}, Rigoberto Rosales-Serna¹, Jorge Alberto Rodríguez González², Pablo Alfredo Domínguez Martínez¹

¹INIFAP-Campo Agrícola Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango-El Mezquital, km 4.5. Municipio de Durango, Durango, México. C.P. 34000. Tel. 01 8000 88 22 22 Ext. 82705, 82715 y 82530 (jimenez.rafael@inifap.gob.mx). ²Unidad de Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas No. 800. Municipio de Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44270 Tel. 01 8002632428 y 01 (33)33455200. *Autor para correspondencia.

RESUMEN

La pasta residual de jatropha es rica en proteína, pero su uso se ve limitado por los compuestos tóxicos que contiene. El objetivo de estudios realizados en diversos países, incluido México, se centra en la reducción o eliminación de sus compuestos tóxicos como los ésteres de forbol, curcina, inhibidores de tripsina, lectinas, ácido fítico, taninos, saponinas, entre otros. La utilización de la pasta residual en la alimentación animal permitirá contar con una nueva opción para aporte proteico en la alimentación animal, con ventajas económicas. Los tratamientos térmicos para la reducción de compuestos bioactivos muestran elevada eficiencia, mientras que los tratamientos químicos con cloruro de sodio e hidróxido de calcio han permitido reducir hasta 85 % el contenido de ésteres de forbol. En la alimentación de los animales se han observado diferencias en cuanto a las concentraciones utilizadas y los parámetros productivos; de lo que no hay duda es acerca de la afectación de los ésteres de forbol en el consumo, crecimiento y desarrollo del animal, así como en ciertos parámetros hematológicos de algunas especies, por lo cual se tiene que seguir trabajando en métodos eficientes y económicamente viables para la reducción a niveles seguros de los ésteres de forbol, antes de ser utilizadas las pastas en la alimentación animal.

Palabras clave: Proteína, detoxificación, toxicidad, ésteres de forbol,

ABSTRACT

Residual paste from Jatropha is protein rich but its use is limited by the content of toxic components. Several studies in different countries have focused on reduction or elimination of toxic components like phorbol esters, curcumin, trypsin inhibitors, lectins, tannins, and saponins, among others. Use of residual paste in animal feed could become a new option of protein supply with economic advantages. Thermal treatments to reduce bioactive components have shown high efficiency, whereas chemical treatments using sodium chloride and calcium hydroxide reduce up to 85 % the content of phorbol esters. Different proportions of Jatropha in the animal diet and its effects on productive parameters have been evaluated; consistently, negative effects of phorbol esters in preference, growth and development of the animals, as well as in hematological parameters are observed in some animal species. Therefore, more information regarding efficient and economic methods to reduce phorbol esters concentration in the residual Jatropha paste is needed before it can be safely used in animal feeding.

Keywords: Protein source, detoxification, toxicity, phorbol esters.

INTRODUCCIÓN

Las plantas del género *Jatropha* (piñón tropical, piñón manso) son originarias de México, donde tienen importancia ecológica y social debido al uso de sus semillas, hojas, raíz y aceite (Valdés, 2012; Valdés *et al.*, 2013). En Chiapas y otros estados con clima tropical se usan plantas de *Jatropha* como cerco vivo para delimitación de linderos, abono y leña (Valdés, 2012; Valdés *et al.*, 2013). La *Jatropha*, como planta de la familia de las euforbiáceas, contiene diferentes compuestos tóxicos entre los que sobresalen los alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que han adquirido relevancia por su efecto co-carcinógeno. Esta especie acumula otras sustancias en la semilla, las cuales son utilizadas como defensa en contra de sus depredadores. Entre dichas sustancias sobresalen fitatos, lectinas, taninos, curcina, glucósidos cianogénicos, saponinas, inhibidores de tripsina, glucósidos pirimidínicos e inhibidores de proteasas (Devappa *et al.*, 2012).

En los últimos años la *Jatropha* ha adquirido relevancia debido a la necesidad de seleccionar materias primas para la producción industrial de biocombustibles líquidos, como biodiesel y etanol. Se buscan especies que interfieran lo menos posible con la producción de alimentos básicos y que aprovechen de manera eficiente los recursos ambientales.

La dificultad en el manejo agronómico y de las sustancias tóxicas, alergénicas y antinutricias de la *Jatropha* han limitado su uso masivo en la producción de biodiesel en México. Dichas sustancias se han detectado en menor concentración en plantas de *Jatropha* caracterizadas como no-tóxicas, las cuales se considera que son originarias principalmente de Veracruz y Puebla (Valdés *et al.*, 2013). En diferentes estudios se ha tratado de encontrar métodos para la degradación de las múltiples variantes de los ésteres de forbol. Dichos compuestos son considerados como potenciadores del efecto cancerígeno de otras sustancias químicas (Goel *et al.*, 2007). La concentración de los ésteres de forbol varía

INTRODUCTION

The plants of *Jatropha* gender (*J. curcas*) are from Mexico, where they have social and ecological importance due to the use of their seeds, leaves, roots and oil (Valdés, 2012; Valdés *et al.*, 2013). In Chiapas and other states with tropical weather, *Jatropha* plants are used as a living fence to define field edges, as fertilizer and firewood (Valdés, 2012; Valdés *et al.*, 2013). *Jatropha* is from the Euphorbiaceae family and contains different toxic compounds where the most important ones are the alkaloids known as phorbol esters that have acquired importance for their co-carcinogenicity. This species accumulates other substances in its seed, which are used as a defense against predators. Among such substances, phytates, lectin, tannins, curcumin, cyanogenic glycosides, saponins, trypsin inhibitors, pyrimidinic glucosides, and proteases inhibitors (Devappa *et al.*, 2012).

Recently *Jatropha* has acquired relevance due to the need for selecting raw materials for the industrial production of liquid biofuel, as biodiesel and ethanol. *Jatropha* has the ability to withstand and thrive in environments of low productivity, like low fertility soils and rainfed conditions, so that cropping it does not interfere with other agricultural crops that are cultivated in more favorable conditions.

The trouble with the agronomic crop management and the toxic substances, allergenic and non-nutritious of *Jatropha* have limited their extensive use in the production of biodiesel in Mexico. Such substances have been detected at lower concentrations in *Jatropha*'s plants characterized as non-toxic, which are considered to be mainly from Veracruz and Puebla (Valdés *et al.*, 2013). Methods for breaking down the different variants in phorbol esters have been looked for in a number of studies. Such compounds are considered as enhancers of the carcinogenic effect of other chemical substances (Goel *et al.* 2007). The concentration of phorbol esters vary depending on the region where the seed is collected and ranges from 0.01 to 4 mg/100 g.

dependiendo de la región de donde se colecte la semilla y va desde 0.01 a 4 mg/100 g.

IMPACTO PRODUCTIVO

En México, después de casi una década de promoción para el establecimiento de plantaciones comerciales de *Jatropha* se tiene impacto productivo, socioeconómico y ambiental. Durante 2013, se contó con una superficie dedicada al cultivo de *Jatropha* de 2 995 ha, de las cuales se cosecharon 1 014 ha y se obtuvo una producción de 1 705 t, a razón de 1.68 t/ha (SIAP, 2015). Adicionalmente, se generaron una gran cantidad de empleos para la obtención de semilla, establecimiento de viveros y mano de obra para la ampliación de la superficie ocupada con plantaciones comerciales.

El desarrollo del cultivo puede generar un riesgo de contaminación derivado principalmente de los ésteres de forbol presentes en las semillas, aceite y pastas residuales. Estas sustancias co-carcinógenas pueden promover el desarrollo celular, lo cual limitaría la garantía de inocuidad de los productos y subproductos de la *Jatropha*. Los trabajos de investigación realizados hasta el momento han arrojado resultados interesantes que deben considerarse al momento de realizar el análisis integral sobre la utilidad e importancia de la *Jatropha* en México.

ALIMENTACIÓN ANIMAL

Es necesario considerar los efectos registrados en diferentes estudios en los que se evaluó el uso de semillas y pastas proteicas de *Jatropha* para la alimentación animal. Los efectos fueron ocasionados por las múltiples sustancias contenidas en las semillas de *Jatropha*, aunque pueden ser atribuidos principalmente a los ésteres de forbol. En el caso de bovinos, se utilizó semilla para alimentar terneros con dosis altas (2.5, 1 y 0.25 g/kg) en una ocasión y baja (0.025 g/kg) durante 14 días. La manifestación de los síntomas

IMPACT ON PRODUCTION

In Mexico, after almost a decade of promoting establishment of commercial *Jatropha* plantations which are now productive, the social, economic and environmental impact is apparent. During 2013, a total area of 2 995 ha of *jatropha* was planted, from which 1 014 ha were harvested and a production of 1 705 t of seed was obtained (1.68 t/ha) (SIAP [*Information services for the Agri-Food and Fishing Sector*] known by its Spanish acronym, 2015). In addition, a large number of jobs were created to obtain the seed and to grow the seedling used to plant establish the new commercial crop plantations.

The development of the crop might generate a health risk, mainly derived from the phorbol esters in the seeds, oil and residual cake. These co-carcinogenic substances can induce abnormal cellular development, which would limit the product and sub-products of *Jatropha* development and exploitation. The research so far have produced interesting results regarding integral analysis of the gross profit and importance of *Jatropha* in Mexico.

ANIMAL FEED

It is necessary to consider the recorded effects, in different studies, in which the use of *Jatropha* seeds and protein cake was evaluated as animal feed. The effects were likely caused by the multiple substances contained in *Jatropha* seeds, although they may be mainly attributed to phorbol esters. With bovines, seeds were used to feed the calves with high doses (2.5, 1 and 0.25 g/kg) on one occasion and a low one (0.025 g/kg) over 14 days. The appearance of intoxication symptoms, with high doses, was rapid and death happened in < 19 hours. The calves given low doses showed poisoning signs and they died between 10 and 14 days. The clinic symptoms were diarrhea, breathing difficulties, dehydration and loss of condition, which were related to the observed pathology (Ahmed and Adam, 1970a).

0.25 g/kg) en una ocasión y baja (0.025 g/kg) durante 14 días. La manifestación de los síntomas de intoxicación con las dosis altas fue rápida y el deceso ocurrió en menos de 19 h. Los terneros con la dosis baja mostraron signos de envenenamiento y murieron entre 10 y 14 días. Los síntomas clínicos fueron diarrea, dificultades respiratorias, deshidratación y pérdida de condición, las cuales se correlacionaron con la patología observada (Ahmed y Adam, 1979a).

En ovinos y caprinos se proporcionó semillas de *Jatropha curcas* a niveles de 0.05, 0.5 y 1.0 g/kg/día. Los signos de intoxicación fueron diarrea, reducción en el consumo de agua, deshidratación, hundimiento de los ojos, inapetencia y pérdida de condición. Los cambios patológicos fueron hemorragia en el retículo-rumen, pulmones, riñón y corazón; enteritis hemorrágica y catarral, cambio en grasa hepática y congestión pulmonar (Ahmed y Adam, 1979b). En otro estudio realizado en rumiantes se estableció que los microorganismos ruminales presentaron incapacidad para degradar ésteres de forbol (Makkar y Becker, 2010).

En carpa (*Cyprinus carpio* L.) se probaron dietas con concentraciones de 0.0, 3.5, 7.5, 15, 31, 62.5, 125, 250, 500 y 1 000 µg /g de alimento. Se observaron efectos negativos a partir de 31 µg/g de alimento entre los que se incluyó reducción de la tasa de crecimiento, presencia de mucosidad fecal y rechazo del alimento. El umbral de concentración en la que se observaron efectos adversos de los ésteres de forbol fueron 15 µg/g de alimento (Becker y Makkar, 1998).

En estudios con cerdos se probaron diferentes niveles de inclusión de pasta detoxificada de *Jatropha* (0, 2, 4, 6 y 8 %) durante la finalización (engorda). Se observó que el incremento de la proporción de *Jatropha* en la dieta redujo significativamente el peso final, ganancia diaria de peso y consumo voluntario por día; así como, longitud de la canal (respuesta cuadrática) y acumulación de grasa (respuesta lineal) (Berenchtein *et al.*, 2014).

In ovine and goat livestock *Jatropha* seeds were given at levels of 0.05, 0.5 and 1.0 g/kg/day. The intoxication signs were diarrhea, less water consumption, dehydration, sinking eyes, loss of appetite and loss of condition. The pathological changes were hemorrhage in the reticulo-rumen, lungs, kidneys and heart; hemorrhagic and catarrhal enteritis, a change in hepatic fat and lung congestion (Ahmed and Adam, 1979b). In other study with ruminants, it was noted that the ruminant microorganisms showed an incapacity to break down phorbol esters (Makkar and Becker, 2010).

With carp (*Cyprinus carpio* L.) different diets were tested with different concentrations of 0.0, 3.5, 7.5, 15, 31, 62.5, 125, 250, 500 and 1000 µg/g of food. Negative effects were observed starting at 31 µg/g of food, in which the rate of growth was reduced, presence of mucus fecal production and rejection to food. The threshold at which the adverse effects were observed, was when the phorbol esters were 15 µg/g of food (Becker and Makkar, 1998).

In studies with pigs and different levels of *Jatropha* detox cake inclusion (0, 2, 4, 6, and 8 %) during the fattening stage, it was observed that the increase of *Jatropha* in the diet, significantly reduced the final weight, daily gain of weight and voluntary consumptions per day; as well as the length of the canal (quadratic response) and fat accumulation (lineal response) (Berenchtein *et al.*, 2014).

Other studies carried out with growing pigs, to determine if *Jatropha* detox cakes could be used as a replacement for soybean protein supplementation, showed that up to a maximum of 30 % could be used without negative effects on production, pathology or immunologic parameters (Li *et al.*, 2015). In sheep, it was observed that the addition of protein supplementation using detoxified *Jatropha* was similar to soybean for voluntary consumption,

En otros estudios realizados con cerdos en crecimiento se determinó que se pueden utilizar las pastas detoxificadas de *Jatropha* como reemplazo del suplemento proteico de soya, hasta un máximo de 30 %, sin efectos negativos en el comportamiento productivo y parámetros hemato-inmunológicos y patológicos (Li *et al.*, 2015). En ovinos se observó que la adición de suplemento proteico a base de *Jatropha* detoxificada mostró similitud en relación con la soya para consumo voluntario, peso previo al sacrificio, peso de canal, longitud de la canal, área del ojo de la costilla, rendimiento de cortes y vísceras. La composición química, propiedades físico-químicas, concentración de ésteres de forbol en el músculo *longissimus dorsi*, características organolépticas y terneza no difirieron de forma significativa entre tratamientos (Patil *et al.*, 2015).

Se han buscado métodos para la detoxificación de la pasta de *Jatropha*, entre las cuales se desean técnicas biológicas amigables con el ambiente. En algunos estudios se observó que la bio-detoxificación de la pasta de *Jatropha* redujo los ésteres de forbol y se incrementó el valor nutricional del residuo. La alternativa alimenticia resultante pudo incluirse hasta en un 20 % (con base seca) en la dieta de cabras en crecimiento (Megumi *et al.*, 2012). El uso de rayos gama redujo el contenido inicial de ésteres de forbol (0.29 mg/g) en 33.4 % con un nivel de radiación de 30 kGy y en 96 % con 125 kGy (Gogoi *et al.*, 2014).

RIESGOS PARA LA SALUD

Los resultados mostraron que a pesar de la importancia ecológica, alimenticia y social de la *Jatropha* es necesario considerar los riesgos para la salud que tiene su cultivo, manipulación, uso y consumo. Los riesgos se relacionan principalmente con los ésteres de forbol, los cuales están presentes en todos los órganos de la *Jatropha* (tallos, hojas, raíces, frutos y semillas), tanto en plantas tóxicas, como en las consideradas como no-tóxicas. Además, la *Jatropha* contiene múltiples sustancias tóxicas, alergénicas y anti-nutricias, que la convierten en una especie de riesgo para la salud (Devappa *et al.*, 2012).

weight before the sacrifice, weight of the canal, length of the canal, area of the rib eye, cuts and entrails production. The chemical composition, physico-chemical properties, phorbol esters concentration in the muscle *longissimus dorsi*, organoleptic features and tenderness did not differ between the treatments (Patil *et al.*, 2015).

Methods for *Jatropha* cake detoxification have been researched, attempting to find biological techniques that are eco-friendly are the ones they wish. In some studies, it has been observed that *Jatropha* cake detoxification reduced the phorbol esters and the nutritional value of the waste increased. The resulting feed alternative could include up to 20 % (with a dry base) in the growing goat's diet (Megumi *et al.*, 2012). The use of a gamma radiation source reduced the initial content of phorbol esters (0.29 mg/g) in 33.4 % at a level of radiation of 30 kGy and by 96 % at 125 kGy (Gogoi *et al.*, 2014).

RISKS FOR HEALTH

The results showed that despite the ecological, social and feeding importance of the *Jatropha*, it is necessary to consider the risks to health for those who grow and manipulate the crop, use and consume it. The risks are mainly related to the phorbol esters, which are present in every organ of the *Jatropha* (stems, leaves, roots, fruits and seeds), in toxic plants. In addition, the *Jatropha* contains multiple toxic, allergenic and anti-nutritious substances that turn it into a health risk (Devappa *et al.*, 2012).

The oil and the protean cake from *Jatropha* seeds also have phorbol esters. Although at certain doses, the phorbol esters act as anti-inflammatory and antitumor treatment; these compounds cause toxicological manifestations in animals, exposed to inhalation, application on the skin and ingestion. It is known that the phorbol esters affect the activity of multiple enzymes and body functions, having an influence in protein synthesis, cellular distinction and gene expression

El aceite y las pastas proteicas obtenidas de las semillas de *Jatropha* contienen también ésteres de forbol. Aunque en ciertas dosis los ésteres de forbol actúan como anti-inflamatorios y antitumorales, estos compuestos causaron manifestaciones toxicológicas en animales, expuestos a la inhalación, aplicación en la piel e ingestión. Se sabe que los ésteres de forbol afectan la actividad de múltiples enzimas y funciones del cuerpo, influyendo en la síntesis de proteína, diferenciación celular y expresión génica, por lo que pueden causar mutaciones en células somáticas. Los ésteres de forbol tienen actividad como promotores tumorales, irritantes y citotóxicos, por lo que incluso pueden usarse como bio-insecticidas y bio-fungicidas.

Aunque la utilización de variedades de *Jatropha* con bajo nivel de ésteres de forbol podría reducir los riesgos de intoxicación, se considera que es difícil eliminarlos completamente con mejoramiento genético y tratamientos de detoxificación. Por ello, sin caer en el alarmismo, es necesario evitar el contacto con los ésteres de forbol (Jiménez *et al.*, 2015). La ingestión de aceite de *Jatropha* causa diarrea con sangre, reduce la presión sanguínea, acelera los latidos del corazón, causa pérdida del conocimiento y muerte (probado en ratas). La aplicación repetida de su aceite en la piel causa un aumento en el número de células de un órgano o tejido (probado en ratones).

Los síntomas de intoxicación con *Jatropha* en organismos vivos son: inquietud, vómito, deshidratación, diarrea, dolor abdominal y sensación de ardor en la garganta (Devappa *et al.*, 2010). En rumiantes se observó que los microorganismos del rumen son incapaces de degradar los ésteres de forbol (Makkar y Becker, 2010), provocando diarrea, falta de apetito, dificultad respiratoria, deshidratación, inmovilidad de miembros posteriores, postración y muerte. La necropsia muestra hemorragia en rumen, retículo, riñones, bazo y corazón, acumulación de fluidos en el peritoneo y pericardio y congestión pulmonar.

and they can cause somatic cell mutations. Phorbol esters have an activity as tumor promoters, irritants and cytotoxic agents. They can also be used as bio-insecticide and bio-fungicides.

Although the use of different varieties of *Jatropha* with low levels of phorbol esters could reduce the intoxication risks, it is considered that it is hard to eliminate those completely using gene improvement and detoxification treatments. Thus, without being too radical, it is necessary to avoid contact with phorbol esters (Jiménez *et al.*, 2015). The ingestion of *Jatropha* oil causes bleeding diarrhea, a reduction in blood pressure, an increase in heart rate, loss of consciousness and in death (in rats). Repeated skin application of the oil causes tissue tumour growth (in mice).

The intoxication symptoms with *Jatropha* in living organisms are: anxiety, vomiting, dehydration, diarrhea, abdominal pain and burning sensation in the throat (Devappa *et al.*, 2010). It was observed in ruminants that microorganisms are unable to degrade phorbol esters (Makkar and Becker, 2010), causing diarrhea, lack of appetite, breathing difficulty, dehydration, paralysis of hind limbs, postration and death. The autopsy showed hemorrhaging, in kidneys, arm and heart, and accumulation of fluids in the peritoneum and pericardium plus lung congestion.

The compounds found in *Jatropha* latex are: curcine (an enzyme), curcacin A and curcacin B. The *Jatropha* latex is irritating to the skin, therefore, some measures must be taken into account to protect the staff dedicated to the manipulation of *Jatropha* during the production process. The acute effects to phorbol esters exposure are skin, eyes and respiratory system irritation. The effects of chronic exposure are dangerous to the skin, eyes and they may promote tumour formation.

Los compuestos presentes en el látex de *Jatropha* son curcina (enzima), curcaciolina A y curcaciolina B. El látex que exuda la *Jatropha* por las heridas causadas por la poda y cosecha es irritante para la piel. Por ello, se deben tomar medidas para proteger al personal dedicado a la manipulación de *Jatropha* durante el proceso de producción. Los efectos agudos de la exposición a los ésteres de forbol se manifiestan como irritación en la piel, ojos y parte superior del aparato respiratorio. Los efectos de la exposición crónica resultan peligrosos para la piel y ojos y puede promover la formación de tumores.

Otros compuestos tóxicos de interés en *Jatropha* son: las lectinas, que interfieren con la absorción de nutrientes, pueden causar muerte celular e interrupción del metabolismo de grasas, azúcares y proteínas. También, se observa crecimiento desproporcionado de los órganos y efectos negativos en la salud humana y animal. La curcina es una lectina, presente en semillas y aceite de *Jatropha*, que causa irritación, ardor, dolor en la boca y garganta, vómito, delirio, decremento de la capacidad visual y aumento del pulso. Además, afecta la producción de otras proteínas indispensables para la vida humana; no obstante, las lectinas son termolábiles.

La *Jatropha* contiene también otras sustancias como son jatropherol, saponinas y ácido curcalónico (Harry-Asobara y Samson, 2014). El jatropherol es un compuesto del tipo forbol que resultó altamente tóxico en pruebas con animales de laboratorio. Las saponinas son compuestos químicos que tienen sabor amargo y esto reduce la preferencia de los alimentos que las contienen. Estas sustancias también causan ruptura de las células sanguíneas, lo que a su vez provoca liberación de hemoglobina y anemia. Se demostró que las saponinas presentes en *Jatropha* no causan efectos adversos en animales.

El ácido curcalónico es un compuesto purgante de mayor potencia que el ácido ricinoleico contenido en higuera (*Ricinus communis* L.). La presencia

Other toxic compounds of *Jatropha* that could be interesting are: lectins that interfere with the nutrient absorption, can cause cellular death and interruption of lipid metabolism, blood glucose and proteins. In addition, it has been observed that there are disproportionate growth of the organs and negative effects on human and animal health. Curcin is a lectin, present in seeds and *Jatropha* oil that causes irritation, mouth and throat pain (burning sensation), vomiting, delirium, reduction in vision and increase in heart rate. Moreover, it affects the production of other proteins which are vital for human life; however, lectins are thermolabile.

Jatropha also contains other substances such as jatropherol, saponins and curcalonic acid (Harry-Asobara and Samson, 2014). The jatropherol is a compound of the phorbol type that is highly toxic in tests with lab animals. The saponins are chemical compounds that have a bitter flavour and it reduces the preference for the food containing them. These substances can also cause rupturing of blood cells, which at the same time causes release of hemoglobin and anemia. It was shown that the saponins do not cause adverse effects on animals.

The curcalonic acid is a potential greater purgative compound than ricinoleic acid contained in castor-oil plant (*Ricinus communis* L.). The presence of tannins in *Jatropha* produces dryness and bitterness when in contact with the tongue (astringency), it delays growth and damages the nutrients absorption in animals that eat them. As it can be observed, there are different toxic, allergenic and anti-nutritious *Jatropha* compounds, that require special attention with respect to management during the production, processing and when using the residues. Notwithstanding the above, it is important to say that there is evidence that some of these toxic and unwanted compounds in feed, can be eliminated with thermal treatment.

de taninos en *Jatropha* produce resequeidad y amargor al contacto con la lengua (astringencia), retrasa el crecimiento y daña la absorción de nutrientes en los animales que los consumen. Como puede observarse existen diversos compuestos tóxicos, alergénicos y antinutricios de la *Jatropha* que merecen una especial atención para un manejo apropiado durante la producción, procesamiento y uso de sus residuos. A pesar de lo anterior, es importante señalar que hay evidencias que algunos de estos compuestos tóxicos y negativos para la nutrición se eliminan con tratamiento térmico.

RECOMENDACIONES

La manipulación de las semillas y subproductos de *Jatropha* debe realizarse con los siguientes cuidados: se recomienda la recolecta y manipulación de frutos utilizando guantes, lentes de seguridad y overol. La carga, descarga y almacenamiento de las semillas y pastas residuales debe hacerse en áreas bien ventiladas, preferentemente con extractor de aire, cuando se trate de sitios cerrados. Con ello, se evitará la inhalación de polvos que pueden contener sustancias tóxicas.

En la industria extractora de aceite es recomendable evitar el contacto directo con el aceite y pastas residuales de *Jatropha*. Con ello, se evitarán problemas de irritación en la piel, alergias y otros problemas de salud que pueden surgir por la exposición constante a los EF. Es de suma importancia que la industria garantice la inocuidad de los residuos de *Jatropha* antes de dispersarlos en el ambiente, para su uso como abono orgánico, elaboración de biocombustibles y como ingrediente en la alimentación animal.

EXPECTATIVAS

Las principales expectativas para el uso extensivo de *Jatropha* son la extracción de aceite para biodiesel y el uso de las pastas residuales para la

RECOMMENDATIONS

The manipulation of *Jatropha* seeds and sub-products must be carried out adopting the following caution: collecting and fruit manipulation is recommended when wearing gloves, protective glasses and overalls. The loading, unloading, seed storage and residual cake must be carried out in well ventilated areas, preferentially with air extractor. Dust inhalation must be prevented due to the seed toxic substances.

In the oil extraction industry is recommended to avoid direct contact with the oil and residual cake. Thus, irritation problems, allergies and other health problems will be avoided despite constant exposure to phorbol esters. It is really important that the industry guarantees the harmlessness of the *Jatropha* residues before wider dispersal in the environment, for their use as an organic fertilizer, biofuel, and as possible ingredient in animal feed.

EXPECTATIONS

The main expectations of a more extensive use of *Jatropha*, are likely to come from the oil extraction for biodiesel and the use of residual cake for animal feed. As long as an effective method for protein cake detoxification is not developed, there will be impediments for the commercial use of this species as a food stuff (Gogoi *et al.*, 2014). In Mexico, there have been limited advances in *Jatropha's* cake detoxification and its use in animal feed. Subsequently, due to the lack of guarantees in the harmlessness of protein cake and the lack of studies focused on the establishment of acceptable levels in the feed of different animal species.

alimentación animal. En tanto se carezca de un método efectivo para la detoxificación de las pastas proteicas de *Jatropha* se tendrá impedimento para el uso comercial de esta especie como alimento (Gogoi *et al.*, 2014). En México, se tienen avances limitados en la detoxificación de pastas de *Jatropha* y su utilización en alimentación animal. Lo anterior, debido a la falta de garantías en la inocuidad de la pasta proteica y la carencia de estudios enfocados al establecimiento de los niveles de aceptación en la alimentación de diferentes especies animales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, O. M. M., and Adam, E. I. 1979a. Effects of *Jatropha curcas* on calves. *Vet. Pathol.* 16:476-482.
- Ahmed, O. M., and Adam, S. E. 1979b. Toxicity of *Jatropha curcas* in sheep and goats. *Res. Vet. Sci.* 27(1):89-96.
- Becker, K., and Makkar, H. P. S. 1998. Effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L.). *Vet. Human Toxicol.* 40(2):82-86.
- Berenchtein, B., Abdalla, A. L., do Prado, P. T., Sbardella, M., Louvandini, H., Filho, A. L. A., Dhanasekaran, D., and dos Santos, P. P. 2014. Effects of detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in finishing pig diets on their performance, carcass traits, meat quality and intoxication. *Livest. Sc.* 165(1/2):100-103.
- Devappa, R. K.; H. P. S. Makkar; K. Becker. 2010. *Jatropha* toxicity-A Review. *J. Toxicol. Envir. Health, Part B.* 13(6):476-507.
- Devappa, R. K., Becker, K., and Makkar, H. P. S. 2012. Phytochemicals in *Jatropha* seeds and potential agro-pharmaceutical applications of *Jatropha curcas* phorbol esters. *In*. N. Carels, M. Sujatha, and B. Bahadur (Eds.). *Jatropha, challenges for a new energy crop: Volume 1: Farming, economics and biofuel.* Springer. New York. pp. 383-402.
- Goel, G., Makkar, H. P. S., Francis, G., and Becker, K. 2007. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. *Int. J. Toxicol.* 26:279-288.
- Gogoi, R., Kumar, U. N., and Kumar, A. T. 2014. Reduction of phorbol ester in *Jatropha* cake using high energy gamma radiation. *J. Rad. Res. Applied Sc.* 7(3):305-309.
- Harry-Asobara, J. L., and Samson, O. O. 2014. Comparative study of the phytochemical properties of *Jatropha curcas* and *Azadirachta indica* plant extracts. *J. Poisonous Medic. Plants Res.* 2(2):020-024.
- Jiménez, O. R., Rosales, R. S., Rodríguez, J. A. G. y Martínez, H. J. 2015. Riesgos del uso alimentario, industrial y agropecuario de la *Jatropha*. Desplegable para Productores Núm. 66. INIFAP-CIRNOC- Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Méx. 2 p.
- Li, Y., Chen, L, Lin, Y., Fang, Z. F., Che, L. Q., Xu, S. Y., and Wu, D. 2015. Effects of replacing soybean meal with detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet on growth performance and histopathological parameters of growing pigs. *Animal Feed Sc. Techn.* 204:18-27.
- Makkar, H. P., and Becker, K. 2010. Are *Jatropha curcas* phorbol esters degraded by rumen microbes?. *J. Sc. Food Agric.* 90(9):1562-1565.
- Megumi, K. M. C., Rodrigues, da L. J. M., da Silva, P. L. P., Soares, da S. J., Cuqueto, M. H., and Texeira, R. M. 2012. Bio-detoxification of *Jatropha* seed cake and its use in animal feed. *In*: Z. Fang (ed.). *Biodiesel-feedstocks, production and applications.* InTech. pp. 309-330.
- Patil, S. S., Sharma, K., Dutta, N., Pattanaik, A. K., and Mendiratta, S. K. 2015. Effect of feeding detoxified *Jatropha curcas* meal on carcass characteristics and meat quality in lambs. *Indian J. Animal Sc.* 85(3) (pdf disponible en línea: <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAnS/issue/view/1315>)
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-producción-agricola-por-cultivo/> (Consultado el 28 de mayo de 2015).
- Valdés, R. O. A. 2012. Estadios de *Jatropha curcas* L. no tóxica: semillas, plántulas y primeros estadios del sistema de raíces. Tesis de Doctorado en Ecología Tropical. Univ. Veracruzana. p. 25.
- Valdés, R. O. A., Sánchez S. O., Pérez, A. V., and Caplan, J. 2013. The Mexican non-toxic *Jatropha curcas* L., food resource or biofuel? *Ethnobot. Res. Applic.* 11:1-7

COLECTAS, MORFOLOGIA Y ETNOBOTÁNICA DE *Jatropha curcas* L. NO TÓXICA, EN VERACRUZ, MÉXICO

COLLECTIONS, MORPHOLOGY AND ETHNOBOTANY OF NON-TOXIC *Jatropha curcas*, IN VERACRUZ, MEXICO

Eliseo García-Pérez^{1*}, Iván Zavala del Ángel¹, Pérez Vázquez Arturo¹, Octavio Ruiz Rosado¹, Dolores González Hernández², Rob Verpoort³.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz; Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5. Municipio de Veracruz, Veracruz, México. C.P. 91700. Tel. (229)2010770 (geliseo@colpos.mx; zavala.ivan@colpos.mx; parturo@colpos.mx). ²Instituto de Ecología A. C. Departamento de Biodiversidad y Sistemática Km 2.5 Carretera vieja Xalapa-Coatepec No. 351. Col. Congregación el Haya. Xalapa, Ver. 91070. (dolores.gonzalez@inecol.edu.mx). ³Leiden University, PO Box 9502, 2300RA Leiden, The Netherlands (verpoort@chem.leidenuniv.nl). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

Jatropha curcas es una planta oleaginosa nativa de México y Centroamérica. Con la dinámica actual de la producción de biocombustibles, se ha considerado que esta planta puede ser una opción viable como materia prima para la producción de biodiesel, en función del alto contenido de aceite en la semilla (>40 %). Se realizó una colecta de accesos de *J. curcas* en el estado de Veracruz, México para conocer su distribución, características morfológicas y principales usos que le dan los productores, asociados al contenido de aceite y ésteres de forbol que presenta de acuerdo al lugar en que se desarrolla. La mayor parte de las accesiones se ubican en altitudes menores de 300 m, donde predominan suelos franco-arenosos. Se encontró una alta variación morfológica, en planta, hoja, fruto, número de semillas por fruto, tamaño y peso de las semillas y contenido de aceite. Los productores reportaron diferentes usos, pero en las regiones Totonaca y Nautla, es frecuente el consumo de semillas, lo que se asocia con los bajos o nulos contenidos de ésteres de forbol. En las regiones Capital, Montañas, Sotavento, Papaloapan, Tuxtlas y Olmeca, para la mayoría de las accesiones se determinó la presencia de ésteres de forbol en cantidades de entre 0.05 a 0.66 mg/gr. Estos resultados sugieren que los productores han realizado un trabajo de selección a través del tiempo, que les ha permitido tener genotipos con ausencia de ésteres de forbol en las semillas, por lo que pueden utilizarlas como alimento

ABSTRACT

Jatropha curcas is an oil plant native to Mexico and Central America. Given the current biofuel production dynamics, this plant has been considered a viable option as a raw material to produce biodiesel, because of the high oil content of its seed (>40 %). A collection of *J. curcas* accessions was carried out in the state of Veracruz, Mexico in order to know more about its distribution, morphological characteristics and main uses according to the oil and phorbol ester contents it has, which depends on the place where it is grown. The majority of the accessions are located in altitudes lower than 300 m, where sandy loam soils prevail. High morphological variation was found in the plant, leaf, fruit, number of seeds per fruit, size and weight of the seeds and oil content. The producers reported different uses, but in the Totonaca and Nautla regions seed consumption is frequent, which can be associated with low or non-existent levels of phorbol esters. In the Capital, Montañas, Sotavento, Papaloapan, Tuxtlas and Olmeca regions, the presence of phorbol esters was determined for most of the accessions and varied between 0.05 to 0.66 mg/g. These results suggest that the producers have carried out selective work through time, which has allowed them to have genotypes with no phorbol esters in the seeds; therefore, they are able to use them as

en diversos platillos, lo que representa una posibilidad de aprovechamiento integral de la planta.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, biodiesel, distribución, morfología, ésteres de forbol.

INTRODUCCIÓN

Jatropha curcas o “piñón”, es un arbusto perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*, que se encuentra ampliamente distribuida en México, principalmente en las regiones del golfo de México, occidente y sur-sureste. Dentro de los biocombustibles, la producción de biodiesel a través de aceites vegetales, es una alternativa viable, por tanto, *Jatropha curcas* se considera una opción como materia prima, con base en el alto contenido de aceite en sus semillas (H>40 %) (Achten *et al.*, 2008).

A raíz de esta posibilidad se iniciaron trabajos de investigación y proyectos productivos en diversos países, entre ellos México, donde se promovió el cultivo de *J. curcas* en los estados de Chiapas, Michoacán y Veracruz. Sin embargo, no se obtuvieron los resultados esperados debido a factores adversos como la presencia de plagas y enfermedades, baja producción, heterogeneidad en la maduración de los frutos, bajo rendimiento de semillas y por tanto del volumen de aceite por unidad de superficie.

Lo anterior llevó a considerar la importancia de investigar y conocer más sobre la planta, partiendo de la caracterización morfológica y genética, para crear las bases que permitan la creación de un programa de mejora genética, que a la postre libere materiales elite con potencial de producción de materia prima en cantidad y calidad adecuadas.

El estado de Veracruz es una estrecha franja de tierra, con 72 815 km² de superficie, que se extiende del noroeste al sureste del Golfo de México; debido a su orografía, que contrasta sierras y llanuras, cuenta con diversas condiciones

food in various meals, which represents the possibility for a more comprehensive use of the plant.

Key words: *Jatropha curcas*, biodiesel, distribution, morphology, phorbol esters.

INTRODUCTION

Jatropha curcas or “pine nut” (*piñón*), is a shrub belonging to the *Euphorbiaceae* family, which is widely distributed in Mexico, mainly in the gulf, west and south-southeast regions. When it comes to biofuels, biodiesel production through vegetable oil is a viable alternative; *J. curcas* is therefore considered an option for raw material, given the high oil content of its seeds (>40 %) (Achten *et al.*, 2008).

In the wake of this possibility, research work and production projects started in different countries, among them was Mexico where *J. curcas* cultivation was fostered in the states of Chiapas, Michoacán and Veracruz. However, the results were not as expected due to unfavorable factors such as the presence of pests and diseases, low production, heterogeneity in the ripening of the fruits, low seed performance and subsequently low oil volume per surface land area.

This led to the acknowledgement of the importance of research to know more about the plant, starting with the morphological and genetic characterization to create the foundation of a genetic improvement program, which in the end will deliver elite genotypes capable of producing raw material with the right quality and in quantity.

The state of Veracruz is a narrow strip of land with an area of 72 815 km², which stretches from the northeast to the southeast of the Gulf of Mexico; given its orography, which contrasts mountain chains and plains, it has specific soil and weather conditions that generate several types of vegetation. Various regions have reported the presence of *J. curcas*. However, the

edafoclimáticas, que generan varios tipos de vegetación. En diversas localidades se ha reportado la presencia de *J. curcas*. Pero en particular en la región Totonaca se reporta que las semillas de piñón son muy apreciadas por su sabor y se usan para la preparación de diversos platillos, o se consume la almendra después de un proceso de cocción, a pesar de que está ampliamente documentada la toxicidad, y que su ingesta puede ocasionar diarreas, vómito, dolor abdominal e irritación de la piel, debido a la presencia de compuestos tóxicos presentes tanto en hojas como en semillas (Martínez *et al.*, 2006). Ante esta situación, el objetivo del presente trabajo fue conocer y registrar la distribución de *J. curcas* en el estado de Veracruz, México, estudiar su morfología, conocer los diversos usos que le dan los pobladores de las diferentes regiones, determinar los contenidos de aceite y el contenido de ésteres de forbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el verano y otoño de los años 2009 y 2010, se realizaron recorridos por las diferentes regiones, municipios y localidades del estado de Veracruz, México, para localizar, y georeferenciar plantas de *J. curcas*, así como coleccionar varetas y semillas para su evaluación y propagación. El estado de Veracruz comprende una franja de aproximadamente 709 km de largo, abarcando una superficie de 72 410 km², y se divide en 10 regiones de acuerdo a las condiciones ecogeográficas y a la presencia o predominio de algún grupo étnico (Cuadro 1).

Se realizó una búsqueda y localización de árboles de piñón en las regiones de la Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca, Nautla, Capital, Sotavento, Montañas, Papaloapan, Tuxtlas y Olmeca que conforman al estado de Veracruz. Una vez ubicadas las plantas, se registraron las coordenadas, la altitud (m), la pendiente del suelo, el estado fenológico de las plantas y se tomaron muestras de suelo para análisis. Se entrevistó a los productores o productoras que se identificaron como propietarios de los árboles, para conocer

Totonaca region, in particular, reports that pine nut seeds are highly appreciated for their flavour and they are used for the preparation of various meals, and kernel is consumed after cooking, despite it having a widely identifiable toxicity and knowing its consumption can cause diarrhea, vomiting, abdominal pain and skin irritation due to the presence of toxic compounds in both leaves and seeds (Martínez *et al.*, 2006). Facing this situation, the goal of this work is to know and register the distribution of *J. curcas* in the state of Veracruz, Mexico, to study its morphology, to know the various ways in which the inhabitants of the different regions use it, and to determine its oil and phorbol ester contents.

MATERIALS AND METHODS

During the summer and fall of the years 2009 and 2010, some tours were taken through the different regions, towns and communities of the state of Veracruz, Mexico to locate and georeference *J. curcas* plants, as well as collect sticks and seeds for evaluating and propagating. The state of Veracruz occupies a strip of land of approximately 709 km long, covering a surface of 72 410 km², and it is divided in 10 regions according to the ecogeographical conditions and the presence or predominance of a certain ethnic group (Table 1).

A search and location for pine nut trees was carried out in the regions of Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca, Nautla, Capital, Sotavento, Montañas, Papaloapan, Tuxtlas and Olmeca which make up the state of Veracruz. Once the plants were located, coordinates, altitude (m), land slope and the phenological state of the plants were registered and soil samples were taken for analysis. The producers that identified themselves as tree owners were interviewed in order to determine the main ways in which the plant and the seed are being used.

Cuadro 1. Principales características edafoclimáticas, ecológicas y grupos étnicos presentes en las diferentes regiones del estado de Veracruz, México.

Table 1. The principle altitude, climate, soil type and vegetation type, and ethnic groups found in the different regions of the state of Veracruz, Mexico.

Región	Altitude (m)	Tipo de clima /TMA/PPMA*	Tipos de suelo	Tipo de vegetación	Grupo étnico
Huasteca Alta	0 -140	Cálido extremoso /23 °C/1,250 mm	Regosol Vertisol	Bosque subtropical perennifolio	Huasteco
Huasteca Baja	0 – 1 300	Cálido extremoso /24 °C/1,400 mm	Regosol Vertisol	Selva mediana subperennifolio	Huasteco Nahua del norte
Totonaca	0 – 180	Cálido regular /20.8 /1,160 mm	Feozen Regozol Vertisol	Bosque subtropical perennifolio	Totonaca
Nautla	0 – 1 660	Cálido regular /22.5 °C/1,764 mm	Andosol	Bosque mediano Bajo subtropical perennifolio	Totonaca
Capital	0 – 4 250	Templado húmedo regular /18 °C/1,509 mm	Andosol Feosem	Bosque mediano	Mixe
Montañas	480 – 5 747	Templado húmedo regular /18 °C/1,800 mm	Acrisol Feosem Vertisol	Bosque frío e pinaceas	Nahua de Zongolica
Sotavento	0 – 40	Cálido regular /25°C /1,500 mm	Cambisol Vertisol	Selva baja caducifolia	Mixe
Papaloapan	0 – 60	Cálido regular /26 °C/1,356 mm	Luvisol Vertisol	Selva baja caducifolia	Chinanteco Zapoteco Mazateco
Tuxtlas	0 – 1 700	Cálido húmedo /23 °C/1,900 mm	Acrisol	Bosque alto tropical perennifolio	Popoluca Nahua del sur
Olmeca	0 – 580	Cálido regular /27 °C/2,900 mm	Gleysol	Selva baja perennifoila y caducifolia	Nahua del sur Chinanteco

*TMA: Temperatura media anual; PPMA: Precipitación pluvial media anual.

los principales usos que le dan a la planta y a la semilla.

Se registró la altura del árbol, diámetro de tallo, tamaño de hoja y en los árboles que estaban en producción se colectaron al menos 40 frutos maduros, de donde se extrajeron y cuantificaron las semillas, que después fueron caracterizadas con el peso, largo, ancho y grosor. Se determinó el contenido de aceite en la semilla, mediante extracción con hexano y se expresó el resultado en porcentaje, y se cuantificó el contenido de ésteres de forbol del aceite, mediante HPLC utilizando como estándar al 12-miristato-13- hidroxiforbol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante 2009 y 2010 se colectaron 85 accesiones de *J. curcas* en diferentes localidades del estado de Veracruz. El 89 % de las accesiones se encontraron en altitudes menores de 300 m, sembradas en terrenos donde los suelos presentan predominancia de textura franco-arenosa y con pendiente moderada. Las plantas que se colectaron en sitios con altitudes superiores a los 600 m, presentaron menor tamaño y exuberancia, comparadas con las encontradas a menores altitudes. Dada la variedad de climas y microambientes que existen en el estado de Veracruz, fue constante observar una heterogeneidad en los estados fenológicos de las plantas de una región a otra.

Con respecto al número de semillas por fruto, se encontraron frutos que contenían de una a cuatro semillas, sin embargo la mayoría de los frutos presentó tres semillas (Figura 1), con excepción de las accesiones VER-JC1, VER-JC3, VER-JC8, VER-JC22, VER-JC32, VER-JC36, VER-JC36, VER-JC37 y VER-JC38 donde la moda para las semillas por fruto fue de dos y de una semilla por fruto para la accesión VER-JC6.

Es interesante notar que las accesiones procedentes de la región totonaca presentaron mayor variación en el número de semillas por fruto, lo que quizás pueda deberse a problemas de polinización, ya que se sabe que la ausencia de agentes polinizadores puede afectar el número de semillas por fruto. También pudo observarse

que frutos least 40 ripe fruits were collected from the height of the tree, the diameter of the stem the trees and the size of the leaf were all registered, and at least 40 ripe fruits were collected from trees that were in production, the seeds from said fruits were extracted and quantified, so they could later be characterized by weight, length, breadth and thickness. The seed's oil content was determined by extraction with hexane and the results expressed as a percentage. Phorbol ester content was quantified by HPLC using phorbol-12- myristate 13-acetate as a standard.

RESULTS AND DISCUSSION

In 2009 and 2010, 85 *J. curcas* accessions were collected in different regions of the state of Veracruz. 89 % of the accessions were found in altitudes lower than 300 m, planted in lands where soils have predominantly sandy loam texture and moderate slope. The plants collected in sites with altitudes greater than 600 m were of smaller size and less lushness compared to those found in lower altitudes. Given the weather and microenvironment variation in the state of Veracruz, heterogeneity in the phenological states of the plants was observed from one region to another.

Regarding the number of seeds per fruit, there were fruits found containing one to four seeds. However, the majority of the fruits had three seeds (Figure 1), except for accessions VER- JC1, VER-JC3, VER-JC8, VER-JC22, VER-JC32, VER-JC36, VER-JC36, VER-JC37 and VER-JC38 for which there were two seeds per fruit and only one seed per fruit for accession VER-JC6.

It is important to note that accessions from the Totonaca region showed a greater variation in the number of seeds per fruit, which may be due to pollination problems elsewhere, since it is known that in the absence of agents of pollination the number of seeds per fruit may decline. It was also observed that fruits with fewer seeds produced seeds of greater size and weight (Figure 2), which

semillas por fruto. También pudo observarse que frutos con menor número de semillas, produjeron semillas de mayor tamaño y peso (Figura 2), lo cual podría esperarse ya que la asimilación de fotosintatos es más eficiente al reducirse la competencia entre semillas.

was expected as photosynthate allocation pattern changes when the competition between seeds decreases.

Accessions VER-JC22 and VER-JC23, both located in the Montañas region, showed longer seeds, while VER-JC13, VER-JC16, VER-JC18, VER-JC20 and VER-JC36 were the thickest seeds.

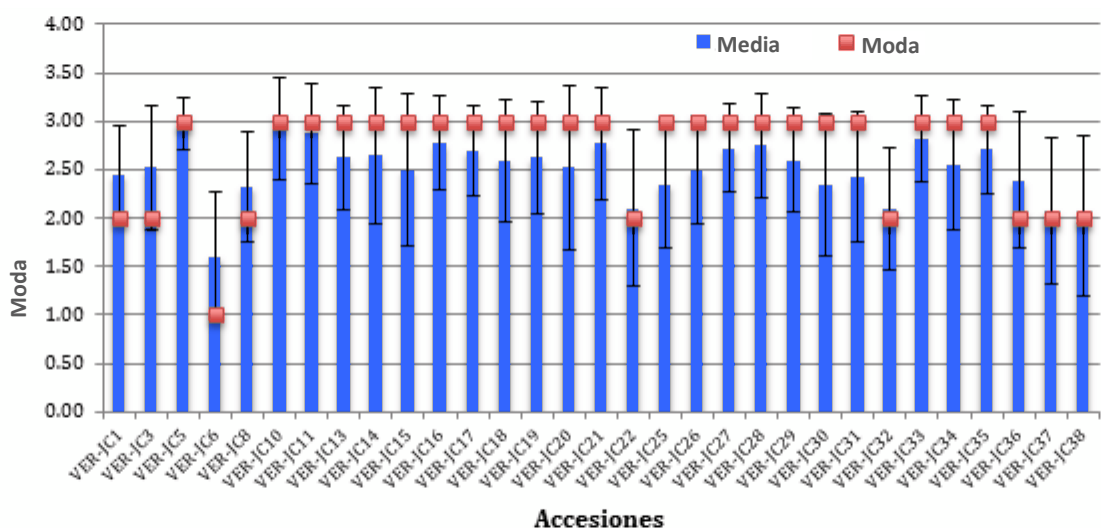


Figura 1. Promedio y moda para el carácter número de semilla por fruto, en 31 accesiones de *J. curcas*, colectadas en el estado de Veracruz, México.

Figure 1. Average and mode for the number of seed per fruit in 31 *J. curcas* accessions collected in the state of Veracruz, Mexico

Las accesiones VER-JC22 y VER-JC23, ambas ubicadas en la región de Montañas, presentaron las semillas de mayor longitud, mientras que VER-JC13, VER-JC16, VER-JC18, VER-JC20 y VER-JC36 fueron las semillas con mayor grosor.

During the first tours, from the total of identified accessions, only 38 trees were fruiting (Table 2). According to the information taken from the tree owners, its use varied depending on the geographic location. In the regions of the north and center of the state (Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca and Nautla) it was mainly used as food. The use of roasted seeds for making sauce and as condiment in some regional dishes has been previously reported by other authors (Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006). Accessions located in the regions of Papaloapan, Tuxtla and Olmeca (south of the state), highlighted its medicinal use and its utility as a live fence, which are generally the most reported uses for this plant (Avendaño and Acosta, 2000).

En los primeros recorridos, del total de accesiones identificadas, solo 38 árboles se encontraron en etapa de fructificación (Cuadro 2). De acuerdo a la información tomada de los propietarios de los árboles, el uso varió de acuerdo a la ubicación geográfica, en las regiones localizadas en el norte y centro del estado (Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca y Nautla), el principal uso descrito fue como alimento. La utilización de semillas tostadas para la elaboración de salsas y como condimento en

algunos platillos regionales, ya ha sido reportada previamente por otros autores (Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006). Las accesiones ubicadas en las regiones Papaloapan, Tuxtlas y Olmecca, localizadas al sur del estado, destacaron

The fat content of the seed contributes greatly to its flavour. Oil content in the analysed accessions varied from 26 % (VER-JC11 and VER-JC22) to 55 % (VER-JC21 and VER-JC28). At these levels of oil, a significant number of analysed accessions —

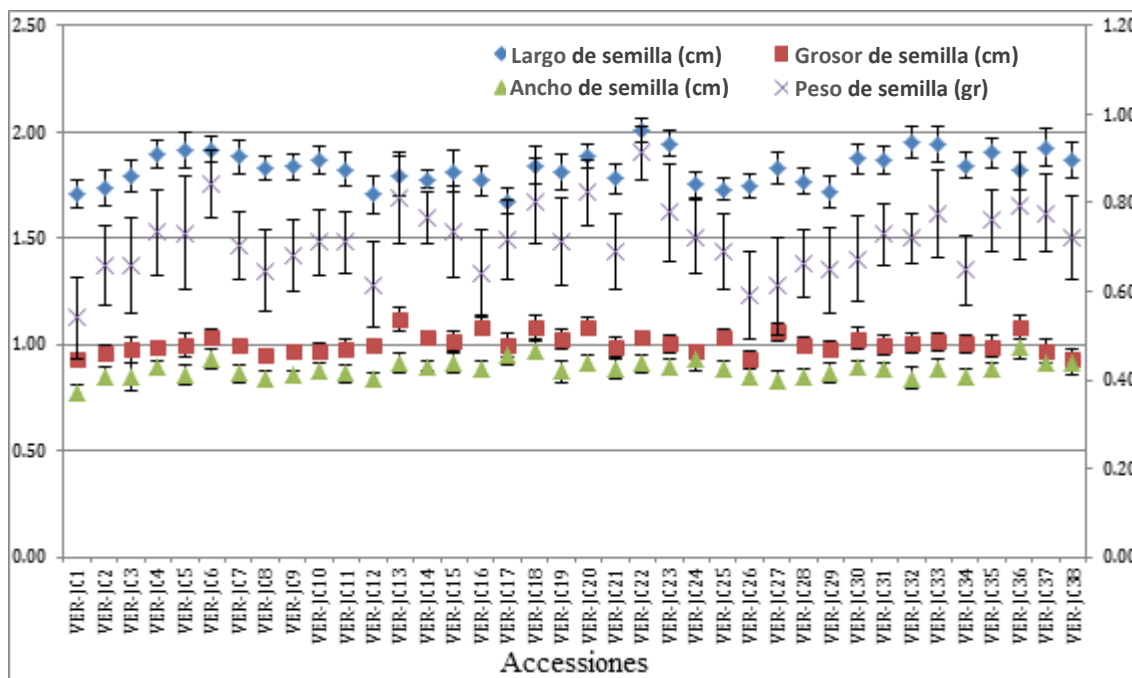


Figura 2. Medidas de largo, ancho, grosor y peso de semillas de diferentes accesiones de *J. curcas* colectadas en Veracruz, México.

Figure 2. Seed length, width, thickness and weight measurements from different *J. curcas* accessions collected in Veracruz, Mexico.

los usos medicinales y como cerco vivo, los cuales generalmente son los más reportados para esta planta (Avendaño y Acosta, 2000).

El contenido de grasas en la semilla contribuye fuertemente a su sabor. El contenido de aceite en las accesiones analizadas, varió de un 26 % (VER-JC11 y VER-JC22) a un 55 % (VER-JC21 y VER-JC28). Con estos contenidos un importante número de accesiones analizadas, presentaron rendimientos de aceite muy superiores a lo reportado en un estudio reportado en 2004 con materiales colectados en India, donde la accesión que tuvo el mayor contenido de aceite fue de 38 % (Kaushik *et al.*, 2007).

showed superior oil yield to that reported in a 2004 study using materials collected in India, where the accession with the highest oil content was 38 % (Kaushik *et al.*, 2007).

In regard to the phorbol ester content, it was interesting to observe that there was an important correlation between the use of the plant and the seeds, and the presence or absence of phorbol esters; in regions where people use *J. curcas* as a live fence, phorbol esters were detected, and when the seeds were reportedly used as food, these compounds were absent.

Con respecto al contenido de ésteres de forbol, resultó muy interesante observar que existe una alta correlación entre el uso que se le da a la planta y a las semillas, con la presencia o ausencia del compuesto, ya que en aquellas regiones donde la gente utiliza a *J. curcas* como cerco vivo se detectaron ésteres de forbol, y ausencia de estos compuestos cuando se reportó que las semillas eran utilizadas como alimento.

Una posible explicación a lo anterior, es el proceso de selección de plantas no tóxicas, a base de prueba y error, por parte de los pobladores nativos de estas localidades del norte de Veracruz, dada la alta aceptación que tiene el consumo de las semillas por su sabor y eventual valor nutritivo. Otra hipótesis es que han ocurrido mutaciones con la capacidad de silenciar determinados genes, en este caso, el o los asociados a la síntesis de ésteres de forbol.

CONCLUSIÓN

Jatropha curcas tiene una amplia distribución en el estado de Veracruz y dadas las diferentes condiciones de clima y suelo presentes, se observó una importante variación en la morfología de la planta y de las semillas. Se reportan diferentes usos, con predominancia del alimenticio, medicinal y cerco vivo. El contenido de aceite varió de 26 a 55 %. Los reportes de uso alimenticio en las regiones del norte del estado de Veracruz, tienen una alta correlación con valores muy bajos, o incluso no detectables, de ésteres de forbol.

BIBLIOGRAFÍA

Achten, W. J. M., Verchot, L., Franken, Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., and Muys, B. 2008. *Jatropha* Bio-diesel Production and Use. Biomass Bioen. 32:1063-1084.

A possible explanation for this phenomenon is the selection process for non-toxic plants, on a trial-and-error basis, by local people in the regions from the north of Veracruz. Here the great acceptance of seeds for consumption given is linked to their flavour and ultimately to their nutritional value. Another possible hypothesis is the fact that there have been mutations capable of silencing certain genes in the non-toxic sources, associated with phorbol ester synthesis.

CONCLUSION

Jatropha curcas has a wide distribution in the state of Veracruz and because of the different climate and soil conditions, important variation has been observed in the morphology of the plant and the seeds. There are reports of different uses, primarily as food, live fencing and medicinal use. Oil content varied from 26 to 55 %. The reports on its use as food in the northern regions of the state of Veracruz have a strong correlation to extremely low, or even undetectable, values of phorbol esters.

Avendaño, A. R. 2000. Plantas utilizadas como cercas vivas en el estado de Veracruz. Madera y Bosques. 6(1):55-71. Kaushik, N., Kumar, K., Kumar, S., Kaushik, N., and Roy, S. 2007. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. Biomass Bioen. 31:497-502.

Makkar, H. P. S., Becker, K. and Schmook, B. 1998. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. Plant Foods Human Nutrit. 52:3-36.

Martinez, H. J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila, G., and Becker, K. 2006. Chemical Composition, Toxic/antimetabolic Constituents and Effects Of different Treatments on their Levels, in Four Provenances of *Jatropha curcas* L. From Mexico. Food chem. 96: 80-89.

Cuadro 2. Sitio de colecta, usos principales, contenido de aceite y de ésteres de forbol en la semilla de 38 accesiones de *J. curcas* colectadas en el estado de Veracruz, México.

Table 2. Collection site, main use, oil and phorbol ester content in the seeds of 38 *J. curcas* genotypes collected in the state of Veracruz, Mexico.

Accesión No.	Región	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitude (m)	Usos	Aceite (%)	Ésteres de forbol (mg/g)
VER-JC1	Huasteca Alta	21°18'	98°20'	130	Alimento	30	ND
VER-JC2	Huasteca Baja	21°11'	97°59'	228	Alimento	36	ND
VER-JC3	Totonaca	20°27'	97°19'	173	Alimento	47	ND
VER-JC4	Totonaca	20°27'	97°19'	170	Alimento	33	ND
VER-JC5	Totonaca	20°11'	97°15'	119	Alimento	37	ND
VER-JC6	Totonaca	20°28'	97°15'	43	Alimento	45	ND
VER-JC7	Totonaca	20°15'	96°48'	5	Alimento	35	ND
VER-JC8	Totonaca	20°15'	97°15'	78	Alimento	39	ND
VER-JC9	Totonaca	20°23'	97°12'	114	Alimento	43	ND
VER-JC10	Nautla	20°10'	96°53'	9	Alimento	39	ND
VER-JC11	Nautla	20°10'	96°53'	14	Alimento	26	ND
VER-JC12	Nautla	20°06'	96°00'	70	Alimento	47	ND
VER-JC13	Nautla	19°53'	96°48'	631	Alimento	42	ND
VER-JC14	Nautla	19°50'	96°48'	1054	Cerco vivo	50	ND
VER-JC15	Nautla	19°56'	96°50'	321	Alimento	40	ND
VER-JC16	Capital	19°35'	96°23'	4	Cerco vivo	41	0.43
VER-JC17	Capital	19°24'	96°52'	892	Ornato	34	ND
VER-JC18	Sotavento	19°10'	96°8'	10	Cerco vivo	48	0.23
VER-JC19	Sotavento	18°55'	96°12'	12	Cerco vivo	39	0.16
VER-JC20	Sotavento	19°11'	96°20'	16	Ornato	52	ND
VER-JC21	Sotavento	19°11'	96°20'	15	Ornato	55	ND
VER-JC22	Montañas	18°49'	96°49'	523	Cerco vivo	26	0.65
VER-JC23	Montañas	18°53'	97°01'	1006	Alimento	50	ND
VER-JC24	Papaloapan	18°47'	95°47'	21	Cerco vivo	29	0.42
VER-JC25	Papaloapan	18°47'	95°45'	22	Cerco vivo	41	ND
VER-JC26	Papaloapan	18°38'	95°31'	5	Cerco vivo	46	0.45
VER-JC27	Papaloapan	17°44'	95°48'	77	Cerco vivo	46	0.23
VER-JC28	Tuxtla	18°31'	95°05'	520	Cerco vivo	55	0.12
VER-JC29	Tuxtla	18°38'	95°06'	8	Cerco vivo	37	ND
VER-JC30	Tuxtla	18°40'	96°09'	30	Cerco vivo	43	0.28
VER-JC31	Tuxtla	18°41'	95°14'	16	Cerco vivo	39	0.44
VER-JC32	Tuxtla	18°26'	95°10'	258	Medicinal	34	0.43
VER-JC33	Tuxtla	18°18'	96°06'	490	Medicinal	41	0.48
VER-JC34	Tuxtla	18°31'	95°03'	68	Cerco vivo	44	0.33
VER-JC35	Tuxtla	18°18'	95°06'	493	Medicinal	45	0.59
VER-JC36	Tuxtla	18°04'	94°53'	75	Cerco vivo	45	0.28
VER-JC37	Olmecca	17°45'	94°06'	50	Cerco vivo	31	ND
VER-JC38	Olmecca	17°57'	94°13'	42	Cerco vivo	31	ND

ND: No detectado

LAS EXPERIENCIAS MEXICANAS CON PLANTACIONES DE *Jatropha curcas* L.

MEXICAN EXPERIENCE WITH *Jatropha curcas* L. PLANTATIONS

Ofelia Andrea Valdés Rodríguez¹, Arturo Pérez Vázquez², Odilón Sánchez Sánchez³.

¹Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto No. 26. Municipio de Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91000. Tel. 01 228 841 5100 (valdesandrea@hotmail.com); ²Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz; Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5. Municipio de Veracruz, Veracruz, México. C.P. 91700. Tel. 52 (229) 201 07 70 y ³Centro de Investigaciones Tropicales, UV, Privada Araucadias S/N. Municipio de Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91019. Tel. 52 228 810 8263 (odsanchez@uv.mx). *Autor para correspondencia.

RESUMEN

Ante las nuevas políticas de apoyo a los bioenergéticos surgidas en México, la especie *Jatropha curcas* L., nativa de México y Centroamérica, ha cobrado importancia debido a las propiedades del aceite de sus semillas, que puede ser convertido en biodiesel; por ello se otorgaron subsidios federales y estatales para establecer plantaciones comerciales de esta especie. En este trabajo se analizan las estrategias públicas aplicadas para establecer las primeras plantaciones de *J. curcas* en el país y las experiencias registradas por los primeros productores e inversionistas que utilizaron estos recursos. Los resultados indican que las políticas públicas no consideraron la cadena de valor del biodiesel ni la nula experiencia mexicana que se tenía sobre plantaciones comerciales de la especie. Por su parte, los productores ignoraban los riesgos que enfrentaban con este nuevo cultivo y la baja productividad del mismo, por lo que sus expectativas no fueron satisfechas. Se concluye que se requieren mayores estudios acerca de la especie para poder obtener una mejor productividad, así como también el desarrollo de una cadena de valor para comercializar productos y subproductos de *J. curcas*.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, plantaciones comerciales, biocombustibles en México.

ABSTRACT

Faced with the new supportive policies for bioenergy appearing in Mexico, the species *Jatropha curcas* L., native to Mexico and Central America has gained importance due to the properties of its seeds, which can be turned into biodiesel. As a consequence, federal and state subsidies were granted in order to establish commercial plantations of this species. This study contains the analyses of applied public strategies to establish the first *J. curcas* plantations in the country and the registered experience from the first producers and investors that used these resources. The results indicate that public policies did not consider a biodiesel value chain or the lack of experience with commercial plantations of the species in Mexico. For their part, producers ignored the risks they were facing with this new crop and its low productivity; thence, their expectations were not met. The conclusions reached stressed the need for further study of the species in order to improve productivity, as well as, the development of a value chain to commercialize *J. curcas* products and by-products.

Key words: *Jatropha curcas*, commercial plantations, biofuels in Mexico.

INTRODUCTION

The first commercial *Jatropha curcas* L. (*Jatropha*) plantations in Mexico appeared as a consequence

INTRODUCCIÓN

Las primeras plantaciones comerciales de *Jatropha curcas* L. (*Jatropha*) en México surgieron como consecuencia de la introducción de las políticas de apoyo a los bioenergéticos, mismas que fueron soportadas por la “Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos”, así como por las recomendaciones que emitió la Secretaría de Energía (SENER) sobre los cultivos bioenergéticos más apropiados para el país, entre los que se mencionó a la *Jatropha* como una buena fuente para producir biodiesel (Macera *et al.*, 2006). En el año 2009, tanto la SENER como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA) contaban con programas de apoyo para siembras de cultivos con potencial para producción de biocombustibles, lo que permitió establecer plantaciones de *Jatropha* en algunos estados del Sur del país. Los objetivos de este documento son analizar las causas de la introducción de las plantaciones, los programas establecidos y los resultados obtenidos en los primeros estados que establecieron cultivos comerciales de *Jatropha* en México.

EL POR QUÉ DE LOS BIOCMBUSTIBLES EN MÉXICO Y EL CASO *Jatropha*

No obstante que México posee reservas de petróleo y gas natural, así como también cuenta con un gran potencial hidroeléctrico, tanto los recursos no renovables como la infraestructura hidroeléctrica actual tienen grandes costos ambientales que comprometen la sustentabilidad del país y del mundo. Durante la administración federal 2006 - 2012, se intentó manejar políticas públicas considerando la sustentabilidad como eje del desarrollo regional (SENER, 2009). Dentro de este contexto, los cultivos destinados a biocombustibles fueron vistos como una alternativa muy adecuada para iniciar una mayor diversificación de las fuentes energéticas y al mismo tiempo impulsar el desarrollo agrícola, especialmente en sitios considerados como marginales, donde los cultivos tradicionales ya no eran una buena fuente de ingresos debido a su

of the introduction of supportive policies for bioenergy, which were grounded by the “Bioenergy Promotion and Development Law”, as well as the recommendations from the Secretariat of Energy (SENER) on the most suitable bioenergy crops for the country, among which *Jatropha* was mentioned as a good source to produce biodiesel (Macera *et al.*, 2006). In 2009, SENER and the Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA) had support programs for the sowing of crops with potential for biofuel production, which helped establish *Jatropha* plantations in some southern states of the country. The goals of this document are to analyze the causes for the introduction of plantations and the results obtained in the first states in Mexico with commercial crops of *Jatropha*.

The reason for biofuels in Mexico and the case of *Jatropha*

Even though Mexico possesses oil and natural gas reserves, and has great hydroelectric potential, non-renewable resources, as well as, the current hydroelectric infrastructure carry large environmental costs that jeopardize the sustainability of the country (and the world). During the 2006–2012 government period, efforts were made to manage public policies considering sustainability as the central concept for regional development (SENER, 2009). Within this context, crops destined to become biofuels were seen as a highly suitable alternative to begin a greater diversification of energy sources and simultaneously foster agricultural development, especially in sites that were considered marginal where traditional crops were no longer a suitable income source due to their low performance on account of the soil. An initial proposal to introduce biofuels considered using bioethanol and biodiesel as additives for gas and diesel, respectively, just like the governments of the United States and Brazil were already doing (Sorda *et al.*, 2010). In the case of biodiesel,

bajo rendimiento por el agotamiento de los suelos. Una propuesta inicial para introducir los biocombustibles consideraba utilizar bioetanol y biodiesel como aditivos para gasolina y diesel, respectivamente, tal como los gobiernos de Estados Unidos y Brasil ya lo hacían (Sorda *et al.*, 2010). Para el caso del biodiesel se distinguía a la *Jatropha*, que era considerada como un cultivo robusto, con pocos requerimientos de manejo agronómico, tolerante a sequía y sin plagas reportadas (Heller, 1996), lo que la convirtió en la candidata ideal para su promoción entre las autoridades interesadas en hacer políticas públicas con biocombustibles.

PROGRAMAS DE APOYO ESTABLECIDOS PARA LAS PLANTACIONES DE *Jatropha*

Para impulsar los cultivos bioenergéticos en México se otorgaron apoyos federales y estatales. Los apoyos federales se dieron por medio de SAGARPA, a través de un programa de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) conocido como Pro-árbol, que designó a la *Jatropha* como especie de aprovechamiento forestal, iniciando los subsidios para su establecimiento en sitios que esta misma dependencia consideró como viables, utilizando para ello proyecciones desarrolladas por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014). Durante 2008 y 2009, los apoyos para establecer las plantaciones consistieron en aportes monetarios de 7 400 pesos por hectárea (López, 2011); aunque éstos se condicionaron a una densidad de siembra de 1 600 plantas por hectárea y con una sobrevivencia al año superior al 70 % (Valero *et al.*, 2011).

Los apoyos estatales fueron quizás los que mayor promoción recibieron entre los productores locales, esto gracias a las campañas que los gobiernos de los estados mantuvieron en los medios masivos de comunicación y entre las

Jatropha, a robust crop, stood out due to its low agronomic management requirements, its drought tolerance and no reports of pests (Heller, 1996), this turned it into an ideal candidate for promotion among authorities interested in creating public policies with biofuels.

Support programs established for *Jatropha* plantations

In order to promote bioenergy crops in Mexico, federal and state benefits were granted. Federal subsidies were given through SAGARPA, by means of a National Forestry Commission (CONAFOR) program known as *Pro-árbol*, which appointed *Jatropha* as a species for forest use, thus initiating subsidies to establish it in sites deemed viable by this institution after reviewing the effects developed by researchers at the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014). During 2008 and 2009, subsidies to establish plantations consisted of financial contributions of 7 400 pesos per hectare (López, 2011); although there were conditions: a sowing density of 1 600 plants per hectare and an annual survival rate of over 70 % (Valero *et al.*, 2011).

State subsidies were probably the most promoted among local producers, thanks to the campaigning sustained by the state governments in mass media and among farmer associations. Although, generally, support consisted in providing *Jatropha* seeds and seedling and letting the producers know of the federal support of *Pro-árbol*, so they would enroll in the program (Valdés *et al.*, 2014).

States involved and their strategies.

From 2008 to 2010, the states that spread *Jatropha* plantations the most were:

Chiapas. This was possibly the first state and the biggest promoter for *Jatropha* plantations. By December 2006, the state government had

organizaciones campesinas. Aunque generalmente el soporte consistía más bien en proporcionar semillas o plántulas de *Jatropha* y dar conocer al productor el apoyo federal de Pro-árbol, para que éste se inscribiera en el programa (Valdés *et al.*, 2014).

LOS ESTADOS INVOLUCRADOS Y SUS ESTRATEGIAS

Entre los años 2008 a 2010 los estados que mayor difusión dieron a las plantaciones de *Jatropha* fueron:

Chiapas. Fue quizás el primer estado y el que mayor promoción dio a las plantaciones de *Jatropha*. Para diciembre de 2006, el gobierno estatal había creado la Comisión de Bioenergéticos y proclamado una estrategia de combate a la pobreza mediante el desarrollo de plantaciones de *Jatropha* que asegurarían su autosuficiencia energética, combatirían la deforestación y atraerían inversiones nacionales y extranjeras para la generación de nuevos empleos (Valero *et al.*, 2011). Las expectativas contemplaban la siembra de 60 000 hectáreas en un periodo de seis años, considerando que al tercer año de establecidas las plantaciones el productor podría obtener 16 000 pesos por hectárea al vender sus semillas a una biorefinería estatal construida para tal efecto y que distribuiría el biodiesel entre los autobuses del transporte público.

Michoacán. En este estado fueron principalmente compañías privadas las que decidieron invertir en cultivos de *Jatropha* para abastecer una biorefinería establecida para procesar y distribuir el biodiesel a nivel nacional e internacional en un futuro. Dado que la SENER implementó programas de apoyo que también incluían procesamiento y desarrollo de tecnologías (SENER, 2009), es posible que estas empresas hayan recibido subsidios de la CONAFOR para establecer las plantaciones, así como estatales y federales adicionales, para

created the Bioenergy Commission and proclaimed a strategy to fight poverty by developing *Jatropha* plantations that would guarantee energy self-sufficiency, combat deforestation and attract national and foreign investors to generate new jobs (Valero *et al.*, 2011). Expectations contemplated sowing 60 000 hectares over a period of six years, considering that in the third year the producer would be able to obtain 16 000 pesos per hectare by selling the seeds to a state biorefinery, built for this purpose, that would distribute biodiesel among public transportation buses.

Michoacan. In this state, it was mainly the private companies that decided to invest in *Jatropha* crops to supply a biorefinery built to process and distribute biodiesel on a national and international scale in the future. Since SENER implemented support programs that also included technology processing and development (SENER, 2009), it is probable that these companies received subsidies from CONAFOR, as well as additional federal and state funds, to establish plantations and invest in the biorefinery infrastructure (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014).

Yucatan and Quintana Roo. Federal subsidies here had a propelling effect, mainly on two private companies that planned the sowing of 62 000 hectares, starting experimentally in 2008 with 325 (Chan, 2010). Business owners hoped to obtain large amounts of biodiesel to export to the United States and Europe.

Veracruz. In this state, just as in Chiapas, the state government created an organisation called Veracruz Institute of Bioenergy (INVERBIO), whose duties were to promote and foster support programs for establishing these crops. Additionally, the government obtained funds from the federation to support an American company that intended to establish 55 000 hectares of

invertir en la infraestructura de la biorefinería (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014).

Yucatán y Quintana Roo. Aquí los apoyos federales tuvieron un efecto propulsor principalmente sobre dos empresas privadas que planearon la siembra de 62 000 hectáreas, iniciando de manera experimental en el 2008 con 325 (Chan, 2010). Los empresarios esperaban obtener fuertes cantidades de biodiesel para exportar a Estados Unidos y Europa.

Veracruz. En esta entidad al igual que en Chiapas, el gobierno del estado creó una dependencia denominada Instituto Veracruzano de Bioenergéticos (INVERBIO), cuyas responsabilidades eran las de promocionar y fomentar programas de apoyo al establecimiento de estos cultivos. El gobierno asimismo obtuvo presupuesto de la federación para apoyar a una empresa estadounidense que pretendía establecer 55 000 hectáreas de *Jatropha* para, posteriormente, contratar a largo plazo la compra de semillas con los productores involucrados. Para iniciar en el Municipio de Soledad de Doblado se estableció un vivero que pretendían producir 60 mil plántulas de *Jatropha* al año, mismas que se utilizarían para establecer plantaciones en la zona. Según algunos medios de la prensa estatal, en el 2010 se sembraron en un inicio 2 590 hectáreas en el Norte del estado (Gomez, 2010), aunque esta cifra nunca se pudo corroborar por los autores.

LAS EXPERIENCIAS CON LAS PLANTACIONES

Chiapas. En este estado al parecer se tenía contemplada una buena estrategia de apoyo a las plantaciones de *Jatropha*, al asegurar la venta del producto a la biorefinería estatal para que posteriormente ésta lo utilizara en el transporte público; con ello se establecía una cadena de valores de mercado. Sin embargo, no se contempló la calidad de la semilla para iniciar las plantaciones, así como tampoco la inexistente experiencia en este cultivo. Ciertamente *J. curcas* es nativa de México y conocida por muchos agricultores del sur del país. Pero esta especie nunca antes había sido utilizada con fines de

Jatropha to later take on the long-term purchase of the seeds with the involved producers. To start in Soledad de Doblado, a nursery was established intended for the production of 60 thousand *Jatropha* seedlings per year, which would be used to establish plantations in the area. According to some of the local press, in 2010 initially, 2 590 hectares were sowed in the North of the state (Gomez, 2010), although this number was never confirmed by the authors.

Experience with plantations

Chiapas. Apparently, there was a good support strategy contemplated for *Jatropha* plantations in this state, by ensuring product selling to the state biorefinery, so it could later be used in public transportation; with this, an industry value chain was established. However, seed quality was not considered at the start the plantations, nor was the lack of experience with this crop. Certainly, *J. curcas* is native to Mexico and known to many farmers from the South of the country. Nonetheless this species has never been used for commercialisation purposes or in monoculture before, since it was generally used solely as a living fence in some pastures. Because of this, Mexico did not have a high quality seed and the seed imported from India did not arrive in good sowing condition (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014). In addition, expectations on productivity were never met. It was said that the plants were capable of producing before the end of the first year and that by the third year, they could reach five tonnes of seeds per hectare (Zamarripa *et al.*, 2009). This never happened in the established plantations. Due to this and the lack of a farmers organisation, to sell the product, the reported experiences in this state were largely negative for the producers involved in the plantations, who had to face difficulties in getting healthy seedlings, crops and finally, appropriate markets to sell the seeds (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014; Valero *et al.*, 2011).

Michoacan. Besides facing productivity problems

comercialización ni en monocultivo, ya que solo se utilizaba generalmente como cerca viva en algunos potreros. Debido a ello, México no poseía semilla de alta calidad y la semilla importada de la India no llegó en buenas condiciones para su siembra (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014). Adicionalmente, las expectativas acerca de su productividad nunca fueron comprobadas. Se decía que las plantas eran capaces de producir antes de cumplir un año de su siembra y que a los tres años podrían alcanzar las cinco toneladas de semilla por hectárea (Zamarripa *et al.*, 2009), situación que no ocurrió en los plantíos establecidos. Debido a ello y a la falta de organización entre los campesinos para la venta del producto, las experiencias reportadas en este estado fueron mayormente negativas para los productores que se involucraron en las plantaciones, quienes observaron dificultades para lograr plántulas saludables, cosechas y finalmente una buena venta de las semillas (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014; Valero *et al.*, 2011).

Michoacán. Además de enfrentar los mismos problemas de productividad ocurridos en Chiapas, en Michoacán las empresas involucradas esperaban vender su biodiesel al mercado nacional. Sin embargo, al ser PEMEX la única paraestatal poseedora de los derechos de venta de todos los combustibles, las posibilidades de comercialización se dificultaron y es posible que ello haya sido también una de las razones por las cuales hoy en día ya no hay información acerca de estas empresas ni de sus proyectos (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014).

Yucatán y Quintana Roo. En la península, al parecer el problema mayor fue la presencia de una enfermedad que no fue identificada adecuadamente y que al parecer pudo ser antracnosis (Torres-Calzada *et al.*, 2011), misma que ocasionó la pérdida de gran cantidad de plantas, afectando aún más la productividad de la planta, por lo que los productores e inversionistas esperaban un apoyo por parte de los gobiernos estatales para recuperar su inversión, ya que no lograron establecer el cultivo satisfactoriamente (Diario de Yucatán, 2012).

similar to the ones in Chiapas, in Michoacán the companies involved hoped to sell their biodiesel in the national market. However, since PEMEX is the sole public owner of the selling rights of all fuels, the possibilities for commercialisation were obstructed and that was probably one of the reasons why nowadays, there is no information on these companies or their projects (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014).

Yucatan and Quintana Roo. Apparently, the biggest problem in the peninsula was the presence of a disease that was not properly identified and that presumably, could have been anthracnose (Torres-Calzada *et al.*, 2011). This caused the loss of large amounts of plants, affecting plant productivity even more. As a consequence, producers and investors expected support from the state governments to recover their investment, since they were not able to establish the crop successfully (Diario de Yucatán, 2012).

Veracruz. In the state of Veracruz, some producers strongly rejected the introduction of vegetable materials from another country, as required by the company interested in purchasing the seed. The reason for this rejection was the fact that, in that region, there is non-toxic germplasm that is even used in regional Totonac dishes (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2013), therefore, there was the fear of contaminating the local ecotype. This refusal may have been an important reason for other producers deciding not to participate in the project and four years after starting negotiations in the state, the amount of sowed hectares was not >350; the nursery established in Soledad de Doblado was abandoned, and the American company never set up any equipment to process the seeds, so the producers involved have had to leave their crops neglected (observ. per., Octubre, 2014).

Veracruz. En el estado de Veracruz algunos productores rechazaron fuertemente la introducción de material vegetal proveniente de otro país, como requería la empresa interesada en la compra de la semilla. Esto porque en la región se cuenta con un germoplasma no tóxico que incluso es utilizado en platillos regionales Totonacos (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2013), por lo que se temía una contaminación del ecotipo local. Esta negativa pudo ser un motivo importante para que otros productores decidieran no participar en el proyecto y después de cuatro años de iniciadas las negociaciones en el estado, la cantidad de hectáreas sembradas no rebasaba las 350; el vivero instalado en Soledad de Doblado fue abandonado, y la empresa estadounidense nunca instaló equipo alguno para procesar las semillas, por lo que los pocos productores involucrados tuvieron que dejar sus cultivos en el abandono (observ. pers., Octubre, 2014).

El Cuadro 1 resume las expectativas *versus* realidades vividas por los primeros productores e inversionistas involucrados en los cultivos de *Jatropha* en los estados de Chiapas, Michoacán, Yucatán, Quintana Roo y Veracruz durante los años 2009 a 2012

CONCLUSIONES

Al ser centro de origen, México es un país con gran potencial para establecer plantaciones de *Jatropha*; sin embargo, se requiere realizar una fuerte investigación agronómica sobre el germoplasma nacional, así como contar con infraestructura de procesamiento y desarrollar una cadena de valor antes de que los productores puedan iniciar el cultivo comercial de variedades mejoradas de *Jatropha* con perspectivas económicas favorables, ya que a la fecha esto no es posible. Se recomienda también que México defina verdaderas políticas de apoyo para desarrollar las energías alternas y diversificar la producción nacional.

Table 1 summarizes the expectations *versus* the reality experienced by the first producers and investors involved in *Jatropha* crops in the states of Chiapas, Michoacan, Yucatan, Quintana Roo and Veracruz from 2009 to 2012.

CONCLUSIONS

As the center of origin, Mexico is a country with great potential for establishing *Jatropha* plantations; however, it requires heavy agronomic research on the national germplasm, as well as processing infrastructure and the development of a value chain before producers can start commercial cultivation of improved *Jatropha* varieties with favorable economic perspectives because to date, that has not been possible. It is also recommended for Mexico to define true support policies to develop alternative energies and diversify national production.

BIBLIOGRAFÍA

Chan Caamal, J. 2010. En proceso el cultivo de 62,000 hectáreas de *Jatropha* en Yucatán. *Diario de Yucatan*. Available at: <http://biodiesel.com.ar/3289/cultivo-de-jatropha-para-producir-biodiesel-en-mexico>.

Diario de Yucatán, 2012. La *Jatropha* en riesgo. *Diario de Yucatan*. Available at: <http://yucatan.com.mx/yucatan/la-Jatropha-en-riesgo> [Consultado el 6 de enero de 2014].

Gomez, G., 2010. Da inicio SEDARPA a plantaciones con *JATROPHA CURCAS*. Available at: <http://www.orizaba.enr.ed.com.mx/cgi-bin/web?b=VERNOTICIA&{num}=79147> (Consultado el 12 de febrero de 2014)

Heller, J. 1996. *J. Physic nut (Jatropha curcas L.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. IBPGR, Roma, Italia. 66 p.

- López, S.P. 2011. Crónica de un fracaso anunciado, *Jatropha curcas* en Chiapas. *La Jornada del Campo*, 23. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2011/04/16/papaya.html> (Consultado el 3 de junio de 2014).
- Macera, C. O., Rodríguez, M. N., Lazcano, M. I., Horta, N. L., Macedo, I. C., Trindade, S. C., Thrän, D., Probst, O., Weber, M., and Müller-Langer, F., 2006. Potenciales y viabilidad del uso del bioetanol y biodiesel para el transporte en México. Disponible en: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/descargas/SENER-BID-GTZ-Biocombustibles-en-Mexico-Estudio-completo.pdf>.
- SENER (Secretaría de Energía). 2009. Programa de Introducción de Bioenergéticos. SENER, México, D.F. Disponible en: http://www.energia.gob.mx/res/0/Prog_Introd_Bioen.pdf.
- Sorda, G., Banse, M., and Kemfert, C. 2010. An overview of biofuel policies across the world. *Energy Policy*. 38(11):6977–6988. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510005434>.
- Torres-Calzada, C., Tapia-Tussell, R., Nexticapan-Garcez, R., Matin-Mex, R., Quijano-Ramyo, A., Cortés-Velázquez, A., Higuera-Ciapara, I., and Perez-Brito, D. 2011. First report of *Colletotrichum capsici* causing anthracnose in *Jatropha curcas* in Yucatan, Mexico. *New Dis. Rep.* 23(6).
- Valdés-Rodríguez, O.A., Vázquez, A.P., and Gamboa, C.M. 2014. Drivers and consequences of the first *Jatropha curcas* plantations in Mexico. *Sustainability (Switzerland)* 6(6):3732–3746.
- Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez-Vazquez, A., y Muñoz-Gamboa, C. 2014. Plantaciones de *jatropha* en México: experiencias. In: J. M. Iglesias, S. C. J, and N. Armengol (eds.) *Agrodesarrollo 2014*. Matanzas: Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior. Cuba. pp. 391– 394.
- Valdés-Rodríguez, O. A., Sánchez-Sánchez, O., Pérez-Vázquez, A., and Caplan, J. 2013. The Mexican Non-toxic *Jatropha curcas* L. Food Resource or Biofuel/? *Ethnobotany Res. Applic.* 11:1–7. Disponible en: <http://lib-ojs3.lib.sfu.ca:8114/index.php/era/article/viewFile/797/486> (Accessed September 13, 2013).
- Valero, P. J., Cortina, V. S. y Vela, V. S. 2011. El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. *Estudios Soc.* 19; 120-144.
- Zamarripa, C. A., Martínez, H. J., De La Piedra, C. R., Olivera, D. L. S. A. 2008. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L., en el trópico de México. Folleto Técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 30 p.

Cuadro 1. Expectativas *versus* realidad de las experiencias con las plantaciones de *Jatropha* en México.

Table 1. Expectations *versus* reality experienced during the first plantations of *Jatropha* in Mexico.

Factores	Expectativas	Realidades vividas
Técnicos	Que los técnicos asesores de CONAFOR estaban capacitados en el cultivo de <i>Jatropha</i> .	No se tenía experiencia con el cultivo porque nunca antes se había sembrado con fines comerciales.
	Que el cultivo tendría mayores rendimientos.	El cultivo no rindió lo esperado ni en el tiempo ni en la forma prevista
	Que no existían plagas contra la planta.	Plagas desconocidas fueron reportadas en los monocultivos de <i>Jatropha</i> .
Operativos	Que el programa estaba bien organizado.	Los programas de apoyo no se organizaron debidamente, por lo que algunos productores no recibieron el subsidio conforme lo esperaban.
	Que se contaría con centros de acopio para el producto.	No se consideraron las distancias entre las plantaciones y los centros de acopio, quedando algunas muy retiradas de los sitios, resultando incosteables los traslados.
Financieros	Que los recursos generados serían superiores a los de otros productos de la región.	El precio de la semilla y la producción obtenida generó recursos inferiores a otros productos regionales que se sembraban en el mismo sitio.
	Que los apoyos para las plantaciones serían suficientes.	El costo de establecer la plantación fue superior a los apoyos otorgados por los gobiernos.
Comerciales	Que la venta del producto estaba asegurada.	Solo en el estado de Chiapas la venta estaba asegurada, en los otros estados se dependía de compañías privadas que decidieran la compra.
	Que existía una cadena de valor establecida.	No existían mercados nacionales que aseguraran la compra de las semillas ni del biodiesel.

Fuentes: Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014; Valero *et al.*, 2011; López, 2011; García y Lazos, 2008 (comunicación personal); Torres-Calzada *et al.*, 2011. Sources: Valdés-Rodríguez *et al.*, 2014; Valero *et al.*, 2011; López, 2011; García y Lazos, 2008 (personal communication); Torres-Calzada *et al.*, 2011.

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación
- Campo Experimental

En el proceso editorial de esta publicación colaboraron las siguientes personas:

EDITOR DE LA VERSIÓN EN INGLÉS

Christopher J. Atkinson

COMITÉ EDITORIAL DEL CIRPAS

Dr. René Camacho Castro
Dr. Juan Francisco Castellanos Bolaños
Dr. Eduardo R. Garrido Ramírez
Dr. Guillermo López Guillén
Dra. Sandra Eloísa Rangel Estrada
Dr. Régulo Jiménez Guillén
M.C. Ernesto Bravo Mosqueda

EDICIÓN Y SUPERVISIÓN

Dr. Efraín Cruz Cruz
Dr. Edwin Javier Barrios Gómez
Ing. Alberto Trujillo Campos
Dr. Sergio Ramírez Rojas

COORDINACIÓN DE LA PUBLICACIÓN

Dr. Felipe de Jesús Osuna Canizalez
Dr. Efraín Cruz Cruz

CÓDIGO INIFAP

MX-0-310303-52-07-35-14-60

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de Octubre de 2015
Imprenta Pimpo. Sanalona 44, Col. Lázaro Cárdenas
CP 62780 Zacatepec, Morelos, México
Tel. (734)3430758

Su tiraje consta de 500 ejemplares

**DIRECTORIO DEL PERSONAL INVESTIGADOR
CAMPO EXPERIMENTAL ZACATEPEC**

Dr. Efraín Cruz Cruz
Jefe de Campo

NOMBRE	PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN
Dr. Leonardo Hernández Aragón	Arroz
Dr. Edwin Javier Barrios Gómez	Biocombustibles
Dra. Marianguadalupe Hernández Arenas	Caña de Azúcar
M.C. Juan Carlos Orihuela Porcayo	Carne de Rumiantes
Dr. Felipe de Jesús Osuna Canizalez	Hortalizas
Dr. Sergio Ramírez Rojas	Hortalizas
Ing. Alberto Trujillo Campos	Maíz
Ing. Areli Madai Guzmán Pozos*	Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales
Dr. Jaime Canul Ku	Plantas Ornamentales
M.C. Faustino García Pérez	Plantas Ornamentales
Dra. Sandra Eloísa Rangel Estrada	Plantas Ornamentales
Biol. Leticia Tavitas Fuentes	Recursos Genéticos
Dr. Jorge Paulino Vázquez Alvarado	Socioeconomía
M.C. Alejandro Ayala Sánchez	Socioeconomía

*Realiza estudios de postgrado

La *Jatropha* de semilla no tóxica tiene gran potencial económico debido a que la pasta generada en la extracción del aceite, se puede utilizar para la alimentación animal, con aporte de altas cantidades de proteína. Ello en adición al producto principal del aceite: el biocombustible. El Norte de Veracruz, México, se reporta en diversos estudios como el centro de origen de todos los ecotipos colectados de *Jatropha* no tóxica, por lo que en dicha región se cuenta con amplia diversidad genética. A nivel internacional, las investigaciones sobre *Jatropha* se han centrado en genotipos tóxicos; en el presente documento se dan a conocer diversas investigaciones e información actualizada de *Jatropha* no tóxica, la cual se presentó y discutió por un grupo de especialistas reunidos en Cuernavaca, Morelos, México, en un Simposio Internacional. El evento, organizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, contó con financiamiento del Consejo Británico, a través del Fondo Newton, y el apoyo técnico de la Universidad de Greenwich, todas del Reino Unido, así como el acompañamiento de la contraparte mexicana, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Non-toxic *Jatropha* has a great economic potential since the paste obtained as a subproduct from oil extraction can be used a protein rich source in animal feed, in addition to the main product: biofuel. Northern part of Veracruz, México, is the center of origin of all collected ecotypes of non-toxic *Jatropha*, therefore this region has a wide genetic diversity. Worldwide research on *Jatropha* has focused on toxic genotypes; the present document contain results of very recent research and information, about non-toxic *Jatropha*, which was shared and discussed by a group of specialists gathered in an International Symposium at Cuernavaca, Morelos, México. The event was organized by the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research, with financing of the British Council through the Newton Fund, and technical support of Greenwich University, all from United Kingdom, as well as supervisión of the mexican counterpart, the National Council of Science and Technology.

www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx