

Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*)

Silvia Liliana Falasca, Ana Ulberich*

* Silvia Liliana Falasca es investigadora de CONICET y Directora del Programa sobre Medioambiente y la Producción Agropecuaria. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). Facultad de Ciencias Humanas. UNICEN.

sfalasca@conicet.gov.ar

Ana Ulberich colabora con PREMAPA – CINEA. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

ulberich@fch.unicen.edu.ar

Resumen

*Frente a una demanda energética mundial que crece exponencialmente, el agotamiento de las reservas petrolíferas, los graves problemas de contaminantes derivados fundamentalmente de la industria que potencian el efecto invernadero, ponen en evidencia el cambio de paradigma con un vuelco hacia las energías limpias o renovables. Así, se torna necesario ampliar la oferta de aceites para producción de biodiesel, abriéndose un nuevo escenario para el estudio de especies oleaginosas no tradicionales no aptas para consumo humano. Una de las alternativas, son los cultivos de la especie más conocida del género *Jatropha*: *Jatropha curcas*, la cual presenta un uso potencial para áreas deforestadas, erosionadas y suelos de áreas marginales. Para Latinoamérica, el desarrollo de cultivos oleaginosos alternativos necesita de una política de apoyo en I+D, ya que en este campo existe un gran potencial de producción que, además representa una nueva actividad para el sector agrario.*

Introducción

En un plazo mediano, la humanidad deberá enfrentarse a uno de los problemas más graves de toda la historia de la humanidad: la falta de alimentos y la falta de energía, problema que aumentará con las sucesivas generaciones.

El concepto de Desarrollo Sustentable tiene como punto de partida la Conferencia de Estocolmo de 1972. En aquel entonces la comunidad internacional debatió sobre las consecuencias ambientales del manejo de los recursos naturales y la regulación del crecimiento de las sociedades industriales. Se tomó conciencia que en un mundo con recursos finitos no existe la posibilidad de crecimiento infinito de la producción. Por ello, debido a que hay un límite en la utilización intensiva de los recursos se debe tener en cuenta, la conservación de la naturaleza al planificar el desarrollo económico de una nación.

Cuando aparece el concepto de desarrollo sustentable, entendido como aquél que satisface las necesidades del presente sin afectar las capacidades de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, surge la necesidad de desarrollar energías renovables.

Como consecuencia del aumento casi diario del precio del barril de petróleo durante este año y las pro-

yecciones de consumo en el ámbito internacional, tornan como alternativa sustentable la siembra de agrocombustibles. Además, esta alternativa se vislumbra como una posible solución a la preocupación en torno a los límites del crecimiento.

La creciente demanda mundial y el aumento de precios de los alimentos torna inviable y no ético el empleo de oleaginosas tradicionales para producir biodiesel.

Frente a una demanda energética mundial que crece exponencialmente, el agotamiento de las reservas petrolíferas, los graves problemas de contaminantes derivados fundamentalmente de la industria que potencian el efecto invernadero, ponen en evidencia el cambio de paradigma con un vuelco hacia las energías limpias o renovables. Así, se torna necesario ampliar la oferta de aceites para producción de biodiesel, abriéndose un nuevo escenario para el estudio de especies oleaginosas no tradicionales no aptas para consumo humano.

Para evaluar a una especie como productora de biodiesel deberá analizarse primero si el biodiesel que se obtiene cumple con las normas estándar especificadas en USA, Alemania o Unión Europea.

Cumpliendo con todos los requisitos mencionados anteriormente aparece la especie más conocida del

género *Jatropha*: *Jatropha curcas*.

Mc Laughlin (1985) definió una serie de propiedades que deben reunir los cultivos para que sean comercialmente exitosos en ambientes áridos y semiáridos. Esas características son: poseer bajos requerimientos hídricos; tolerar condiciones ambientales extremas; producir algún compuesto *commodity* con precio superior a los productos comestibles, tales como resinas, aceites con propiedades para uso industrial, etc.; no ser sembrados en zonas con mayores disponibilidades hídricas; no ser comestibles y preservar el medio ambiente.

Origen

El hombre fue llevando sus semillas hasta lograr que en otras partes del mundo se haya asilvestrado. Se cree que habría llegado a África en las galeras portuguesas que traficaban esclavos hacia Brasil.

Según el país en que fue reconocida esta especie, ha recibido diferentes nombres triviales, tales como pinhao manso (Brasil), tempate (México), *physic nut* (países de habla inglesa), piñón de leche o piñón botija (Cuba), etc.

Jatropha curcas es una oleaginosa de porte arbustivo, perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, que tiene más de 3.500 especies agrupadas en 210 géneros.

Presenta un uso potencial para áreas deforestadas, erosionadas, suelos de áreas marginales, con una vida útil de 30-50 años, aunque se han reportado casos de una longevidad de 100 años (Corteseo, 1956; Peixoto, 1973).

Hasta 1939 el principal uso del aceite de *Jatropha curcas* era la saponaria y fabricación de estearina, pero debido a las necesidades militares comenzaron a estudiarse otros posibles usos. Durante la segunda Guerra Mundial se empleó, en África, el aceite como lubricante de motores, debido a su baja viscosidad y gran porcentaje de ácidos grasos insaturados (de Arruda *et al.*; 2004).

Los indios guaraníes, que la denominaban como Kuri jyva y Turuvi, empleaban las semillas como purgante y las raíces como depurativas, para rejuvenecer y como aromática (Silva Noelli, 1996).

Esta planta es tóxica pues se ha encontrado en la semilla la presencia de alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que provocan un efecto purgante. Solamente en México se han encontrado variedades no tóxicas, las cuales son consumidas después de tostar y en la preparación de comidas tradicionales por los pobladores de la región de Popocatepec en Veracruz, Otón P. Blanco en Querétaro, Pueblillo en Veracruz y Huitzilán en Puebla (Makkar *et al.*, 1998; Martínez Herrera *et al.*; 2006).

Si el aceite se consume en dosis elevadas, produce alteraciones del tracto gastrointestinal, que se manifiesta con náuseas, vómitos, y gran sudoración, pudiendo llegar a producir la muerte (Peixoto, 1973).

Según Héller (1996) su área de dispersión en Sudamérica abarca Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Galápagos, Paraguay, Perú y Venezuela, llegando a la Argentina, habiéndosela reconocido en varias provincias.

Producción de biocombustibles

Los frutos son drupas de 2 cm de diámetro, de color marrón, cuando están maduras, que contienen dos a tres semillas del tamaño, forma y apariencia de una almendra, rodeadas por un material en forma de pulpa y la cáscara del fruto, que se convierte en un material pergaminoso al secarse. Una hectárea de cultivo energético de *Jatropha curcas* (en base a 400 árboles/ha) puede producir 3500 kg de frutos, con un peso promedio por fruto de 3,3 g (Sotolongo López *et al.*, 2007).

El descarado de las semillas puede hacerse de forma manual o con una máquina. La producción de cáscara es de 1000 kg/ha (30% del peso del fruto), que también puede pasarse por un molino bola y convertirse en un material magnífico como biofertilizante. La cáscara tiene un valor calórico de aproximadamente

2651 kcal/kg (15% de humedad), por lo que también puede ser empleada como combustible (Sotolongo López *et al.*, 2007).

La cáscara también puede transformarse, mediante un proceso de digestión anaerobia, en biogas y biofertilizante (efluente del digestor), lo que podría optimizar los rendimientos energéticos.

El peso de la semilla, corresponde en el 74% a la nuez y el 26% a la cascarilla. La cascarilla tiene un valor calórico de 4108 kcal/kg (10% de humedad), por lo que puede ser empleada como portador energético (Sotolongo López *et al.*, 2007).

Las semillas son longevas y debe reducirse su humedad hasta alcanzar entre 5 y 7% antes de almacenarse. A temperatura ambiente las semillas pueden mantener su poder germinativo por lo menos durante un año. Esa característica de longevidad le da ventajas en relación con otras oleaginosas. Sin embargo, con el tiempo el aceite varía su pH, lo que afecta después el proceso de transesterificación para producir biodiesel (lo hace más ácido), lo que encarece el proceso industrial al requerir un consumo mayor de materia prima.

Las semillas pueden ser prensadas en cualquier máquina extractora de aceite diseñada para su procesamiento a presión en frío y se obtienen dos productos:

- El aceite de la semilla, que puede ser utilizado en la fabricación de jabones, insecticidas, lubricantes; como combustible para las cocinas y faroles de alumbrado y para la producción de biodiesel. Si se logra destoxificar podría emplearse en la alimentación humana.
- El producto residual que queda luego del prensado se denomina torta.

La torta es una mezcla de carbohidratos, fibra, proteína y el aceite que no se pudo extraer, la cual contiene algunos componentes tóxicos; aún así es muy útil como biofertilizante por su alto contenido en nitrógeno. Después de eliminados los elementos tóxicos se

podría transformar en un excelente alimento balanceado para el ganado, con un contenido proteínico superior a 50%.

Aproximadamente 1000 kg de este material podrían obtenerse por hectárea, y también podría usarse como combustible, ya que tiene un valor calórico de 2651 kcal/kg (3% de humedad). La variedad mexicana, que no es tóxica por sus bajos contenidos de ácido forbólico y curcina, produce una torta de mayor calidad para usos económicos.

Una hectárea de *Jatropha curcas* puede aportar unas 20 tn de biomasa (base seca), considerando 200 kg de biomasa por árbol para una población de 400 árboles/ha, después de los seis años. (Sotolongo López *et al.*, 2007).

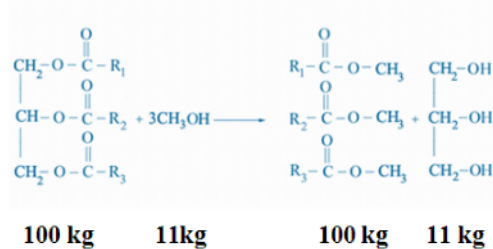
La madera de las podas obligatorias de formación de este cultivo tiene un valor calórico de 3702 kcal/kg con 15% de humedad (Sotolongo López *et al.*, 2007), la cual puede ser empleada para hacer estacas como forma de propagación y aumentar el número de plantas de la *Jatropha curcas* en potreros, para hacer cercas vivas, para emplear como leña o para producir carbón. La producción de leña se podría medir con exactitud cuando se tengan plantaciones maduras.

Producción de Biodiesel y Glicerina

La obtención del biodiesel se basa en la reacción con metanol o etanol (transesterificación) de las moléculas de triglicéridos para producir ésteres. De esta manera se consigue que, las moléculas grandes y ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono, se transformen en otras de cadena lineal, pequeñas, con menor viscosidad y porcentaje de carbono y de características físico-químicas y energéticas similares al gasoil. El biodiesel obtenido puede utilizarse como único combustible o en mezclas con el gasoil sin efectuar ninguna modificación en el motor.

La reacción de transesterificación es la siguiente:

Triglicérido + Metanol = Metiléster + Glicerina



Puesto que por cada litro de biodiesel producido es necesario un litro de aceite vegetal, de no contarse con subvenciones, el costo actual de la materia prima hace inviable el proceso desde un punto de vista económico, si se realiza con los aceites obtenidos a partir de oleaginosos tradicionales del sector agrícola.

Para el desarrollo de esta actividad de forma masiva, utilizando las grandes posibilidades productivas del sector agrario hay que buscar nuevos cultivos como la *Jatropha curcas*, capaz de proporcionar aceite más barato. Además este precio podría rebajarse si se imputaran a los costos de operación los ingresos obtenidos por la venta de los subproductos, por ejemplo de la glicerina.

Las semillas contienen alrededor de 38% de aceite en peso. De esta cifra se puede obtener entre 27 y 32% de aceite usando máquinas extractoras a presión en frío. Este aceite después de transesterificar (metilester o etilester), culmina con la producción de biodiésel que se puede emplear en mezclas B2, B5, B10, B20 o puro (B100). Si se usan algunos extractos, como solventes orgánicos, la extracción puede aumentar.

En la Tabla 1 se han incluido las propiedades del aceite y del biodiesel obtenidos por Heller (1996) a partir de semillas de *Jatropha curcas*.

En las Tabla 2 se comparan las propiedades oleaginosas de *Jatropha curcas* con otros cultivos, que podrían emplearse para producir biodiesel. El tenor de ácidos grasos se presenta en la Tabla 3, resaltándose la proporción de los ácidos oleico, linoleico y palmítico.

La calidad de los aceites de tres especies de *Jatropha*: *curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*, para obtener biodiesel fue presentada por Falasca y Ulberich (2008), quienes zonificaron el área óptima para el desarrollo del proyecto agroforestal en Argentina.

El aceite de las tres especies de *Jatropha* contiene un mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados que saturados, que cuando se combinan con el oxígeno del aire forman una película dura indicando que tiene propiedad de secado, por lo tanto, puede ser poten-

especificaciones del aceite		especificaciones del biodiesel	
densidad	0.920	densidad metiléster	0.879
ppm azufre	10-14	densidad etiléster	0.886
% de humedad	7	Nº cetano metiléster	51
% aceites	48.5	Nº cetano etiléster	59
índice de yodo	97.5	carbón conradson metiléster	0.018-0.025
% cáscara / % pepita	42.7 / 56.5	-	-

Tabla 1. Especificaciones del aceite y del biodiesel

Fuente: Heller, 1996

cialmente útil para la industria de revestimiento de superficie (Augustus et al., 2002).

El aceite puro de *Jatropha curcas* (30% del peso de la semilla), presenta un valor calórico de 9335,0 kcal/kg, y puede alcanzar menos de 4% de acidez cuando está fresco (Sotolongo López et al.; 2007).

El valor del índice de Yodo indica que contiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados que el aceite de oliva, de palma y de tártago e igual cantidad que el aceite de maní y menor que el aceite de maíz. Los índices de hidroxilo y acetilo señalan que el aceite de *Jatropha curcas* contiene mono y/o diglicéridos (Cruz y Victoria et al, 2006).

La glicerina pura no es sólida a temperatura ambiente, pero la capa de glicerina que queda luego del proceso de transesterificación no es sólo glicerina, sino también una mezcla de glicerina, jabones, metanol sobrante y catalizador (lejía). Ésta se puede destilar para convertirla en glicerina farmacéutica (99.7% de pureza) con un alto valor añadido como materia prima industrial o como combustible en la producción de biogas.

Hay dos rutas para producir energía de los desechos del proceso de biodiesel: la bioconversión y la termoconversión, aunque la generación del biogas combinada es mejor que la combustión. La mezcla correcta de proteínas, glicerina y sales necesita ser cuidadosamente resuelta mediante futuras investigaciones.

Desde el año 2001 se está investigando la conversión en gas de la glicerina obtenida como coproducto en la transesterificación. Este proceso podría aportar tam-

insumo	jatropha curcas	girasol	soja	palma
acidez del aceite	8.00	1.70	1.30	5.00
biodiesel vs aceite	77.86	93.00	95.25	87.16

Tabla 2. Características de los aceites en relación a la producción de biodiesel
Fuente: Heller, 1996

bién una notable ayuda en la depuración del resto de los residuos de la planta, que se incorporarían como materia prima en los digestores.

La termoconversión de la glicerina será otra opción para el futuro teniendo en cuenta que la relación de poderes caloríficos inferiores de la glicerina y el gasoil es de 0,377 (4128,2 kcal/kg). En cuanto a la combustión se refiere, la glicerina se quema bien, pero ha de ser quemada a altas temperaturas para evitar que emita vapores de acroleína, sustancia tóxica por inhalación y por contacto a través de la piel. El límite legal de exposición humana a la acroleína es de 0,1 ppm, como promedio, durante una jornada de trabajo de ocho horas y en ningún momento se puede exceder de 0,3 ppm durante más de quince minutos. Los vapores de acroleína se producen al quemar la glicerina entre 200 °C y 300 °C. (Sotolongo López et al., 2007).

Por lo tanto, para quemar la glicerina se debe contar con unos quemadores que permitan alcanzar una combustión completa a una temperatura del orden de

ácidos grasos	%
araquídico	0.25
behenico	0.06
esteárico	7.84
gadoleico	0.07
linoleico	28.90
linolénico	0.24
margárico	0.12
margaroleico	0.06
mirístico	0.06
oleico	47.66
palmitico	14.24
palmitoleico	0.95

Tabla 3. Contenido de ácidos grasos presentes en el aceite de *Jatropha curcas*

los 1000 °C y mantenerlo en los quemadores durante un período superior a cinco segundos, siendo conveniente incorporar también un proceso previo de precalentamiento y atomización (Sotolongo López *et al.*, 2007).

Ecología y Rendimiento

Jatropha curcas soporta largos períodos de sequía, desprendiéndose de sus hojas para reducir la evapotranspiración. Reportó Münch (1986) que el piñón resistió años sin precipitación en Cabo Verde. No reacciona al fotoperíodo.

Su distribución en altura llega hasta los 500 m s.n.m. (Heller, 1996). *Jatropha curcas* sobrevive y crece en las tierras marginales y erosionadas, en las tierras que ya no sirven para la actividad agrícola, porque se agotaron (Jones and Miller, 1992). Está adaptada a crecer en suelos salinos, arenosos y rocosos.

Las heladas de baja intensidad y duración corta son toleradas aunque pueden disminuir el rendimiento hasta un 25% (Kieffer, 1986). El intenso frío produce la caída de sus hojas.

El rendimiento a obtener por hectárea y el porcentaje de aceite de la semilla son factores cruciales determinantes del precio del biodiesel obtenido. Obviamente el rendimiento estará en correlación al tenor de agua edáfica en el suelo en el subperíodo crítico para el agua, que coincide con la etapa reproductiva. Los mejores rindes se obtienen cuando esta planta crece con 1200-1500 mm de precipitación anual, bien distribuidos a lo largo del año.

Como se trata de una planta salvaje, aún no hay datos certeros sobre su cosecha. Según Saxena (2006) en buenas tierras y sin limitaciones de agua pueden obtenerse 5 tn de semilla por hectárea y en tierras marginales sólo 1.5 tn.

Jones y Miller, (1992) aportan rendimientos de 0.4-12 tn de semillas por hectárea. Eso representa una variabilidad enorme, que no tiene asidero científico. Para un régimen de precipitaciones de 900-1200 mm

aun rinde de 5 tn de semillas por hectárea a partir del sexto año de la plantación sería un buen resultado. Sin embargo este valor no puede generalizarse ya que habría que considerar no sólo la humedad edáfica disponible sino también el régimen térmico, la radiación interceptada por el follaje y la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Jatropha macrocarpa y *Jatropha hieronymi*, son especies menos conocidas que la *Jatropha curcas* que crecen en forma silvestre en climas cálidos y templado - cálidos. Ambas especies son arbustos que se transforman en árboles pequeños con el tiempo, poseen hojas grandes, madera blanda, y frutos dehiscentes, razón por la cual las plantas se encuentran agrupadas. El período de floración – fructificación depende del clima del lugar, fundamentalmente de la temperatura, ya que tampoco son sensibles al fotoperíodo.

Falasca y Ulberich (2008) delimitaron el área de cultivo en Argentina para estas especies pertenecientes al género *Jatropha*, todas ellas aptas para producir biodiesel. Al considerar la variedad Cabo Verde de *Jatropha curcas* al igual que las *Jatropha hieronymi* y *J. macrocarpa*, el área potencial de cultivo se extiende más hacia al oeste argentino, que el área bioclimática para el desarrollo de la *Jatropha curcas*, es decir abarcando una mayor superficie en las provincias de la Rioja y Catamarca y agregando parte de la provincia de San Juan. El mapa que obtuvieron es casi idéntico al publicado por Font (2003) quien graficó la distribución geográfica de las distintas especies de *Jatropha* que fueron reconocidas y descritas botánicamente en Argentina. La única diferencia radica en que el área delimitada por Falasca y Ulberich (2008) llega a una latitud más alta en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, es decir que está desplazada más hacia el sur. No hay que olvidar que Font (2003) describió su mapa como distribución geográfica aproximada.

Jatropha macrocarpa, es autóctona de Argentina y Bolivia y *Jatropha hieronymi*, además de Bolivia y Argentina también crece en forma espontánea en Paraguay.

Dado que son especies perennes con una vida útil de 30-50 años y están adaptadas a vivir bajo condiciones de humedad subhúmedas a semiáridas, las tres especies de *Jatropha* se presentan como cultivos alternativos para extensas regiones de Sudamérica, ya que el aceite que se pueda extraer se transformaría en biodiesel, no compitiendo por superficie con los oleaginosos tradicionales.

Además se las podría utilizar para recuperar suelos erosionados y para producir biodiesel bajo condiciones de clima húmedo (Falasca y Ulberich, 2006). El cultivo de esta planta cada día se extiende con mayor fuerza en países como India, Brasil, Guatemala y algunos países africanos, los cuales están trabajando para perfeccionar las técnicas del cultivo y los procesos industriales de sus diferentes biomasas y/o residuos.

En áreas marginales de Argentina falta aún comprobar el contenido de aceite en la semilla de *Jatropha curcas*, que suponemos similar al obtenido bajo condiciones de clima tropical, en base a los datos de contenido de aceite de *Jatropha hieronymi* y *Jatropha macrocarpa*, que crecen en forma espontánea en tierras marginales de las provincias de La Rioja, Catamarca, Jujuy, Santiago del Estero, Salta y Tucumán. *Jatropha macrocarpa* también fue reconocida en la provincia de Chaco mientras que *Jatropha hieronymi* lo fue en San Juan.

Falasca y Bernabé, (2006) consideraron que aunque el rinde de *Jatropha curcas* valorado en tn/ha sea inferior que el que se obtiene creciendo bajo clima tropical, contribuirá al desarrollo de nuevas economías regionales por la generación de nuevo empleo para su cultivo y otros puestos de trabajo temporario para la recolección de los frutos.

Lamentablemente hay muy pocos datos de rendimiento en Argentina. De *Jatropha macrocarpa* se ha reportado de la fundación FUNDAPRO de la provincia de La Rioja que cada planta produce de 150-200 frutos al año y el rendimiento de aceite por planta es de 400 a 600 gramos. Considerando unas 2000 pl/ha

producirán 2500kg de semillas y como poseen 39-42% de aceite (según FUNDAPRO), rendirán 975 a 1050 kg de aceite por ha.

La recolección de frutos es manual. Se está buscando adaptar una cosechadora para que el trabajo sea mecanizado, pero el problema que presenta es que la maduración de los frutos es despareja. Habría que hacer una mejora genética para lograr una maduración uniforme. Según la bibliografía una persona podría cosechar 25-30 kg de frutos/hora.

El proyecto de *Jatropha curcas*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa* comienza a tener importancia a nivel local ya que permitiría industrializar la producción primaria donde se origina, y luego hacerse extensivo a nivel regional. Si alcanza la envergadura como para generar combustible para exportar cobra importancia a nivel país, compitiendo dentro del Mercosur con Brasil. A nivel global podría exportarse a la Comunidad Europea.

Como dato orientativo se puede citar al proyecto nicaragüense, donde a partir de 100 kg de fruto húmedo, se obtuvieron 23,1 kg de semilla húmeda o 15 kg de semillas secas, resultando 9 kg de almendras secas, que permitieron extraer 2,31 litros de aceite crudo.

Por cada litro de aceite procesado se consiguió 0,98 litro de éster metílico de aceite de *Jatropha curcas*, 2,08 kg de torta y 0,10 kg de glicerina. De acuerdo con la metas del proyecto piloto nicaragüense 1000 hectáreas de plantación producirían 7.100.000 barriles anuales de biodiesel, es decir alrededor de 1100 litros de biodiesel por hectárea.

El objetivo del presente trabajo fue identificar el área geográfica en el que se cumplen mínimamente las necesidades bioclimáticas que permiten el desarrollo de las tres especies del genero *Jatropha*, aptas para la producción de biodiesel, en el sector sudamericano limitado por los 0° L a - 40° L S

Materiales y métodos

Debido a que *Jatropha curcas* se trata de una especie muy plástica, que puede vivir en ambientes tropicales, subtropicales y templados, húmedos, semiáridos a áridos, fue difícil definir sus límites térmicos e hídricos. Como base se tomaron los datos publicados por Héller (1992) para diferentes biotipos que existen en el mundo.

Para buscar la probable zonificación en Argentina, Falasca y Ulberich (2008) delimitaron, en base a los datos climáticos para el período 1961-90, las áreas con temperatura media anual superior a 18°C y con precipitación media anual que excede los 500 mm.

Se tomó el límite de 18° C, que estaría indicando el límite sur del área de dispersión por temperatura y la isoyeta de 500 mm que marca el límite para hacer el cultivo de *Jatropha curcas* en condiciones de secoano (Héller, 1996). Se agregó la isoyeta de 250 mm, correspondiente a la mínima necesidad de agua, que requiere la variedad Cabo Verde (Héller, 1992) y las especies autóctonas de Argentina, Bolivia y Paraguay: *Jatropha macrocarpa* y *Jatropha hieronymi* (Falasca y Ulberich, 2008).

Del mismo modo se procedió con los otros países sudamericanos involucrados en el análisis: Bolivia,

Perú, Brasil, Paraguay, Chile, Ecuador y Uruguay. Se trabajó sobre las isotermas de 18 °C e isoyetas de 250 mm, 500 mm y 750 mm de cada país, para luego enlazar el mapa regional. Se buscó la zonificación dando énfasis a los sectores subhúmedo-secos, semiáridos y áridos, es decir áreas marginales.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se visualiza el límite hídrico, definido por las isoyetas de 250 mm, 500 mm y 750 mm, imponiendo su límite sur y oeste y definiendo los regímenes de humedad árido, semiárido, subhúmedo y húmedo.

Si bien la mayor superficie del continente sudamericano estudiada muestra un clima húmedo con precipitaciones anuales que superan los 750 mm, resulta interesante señalar la presencia de otros ecosistemas diferentes que presentan cierta similitud a lo largo de la costa oeste sobre el Océano Pacífico, con precipitaciones que aumentan hacia el interior del continente, en líneas generales, pasando de climas áridos a semiáridos a subhúmedos y finalmente a húmedos. Las franjas que interesan son las comprendidas entre: 0 - 250 mm; 251 - 500 mm y 501 - 750 mm.

procedencia	altitud	temperatura media anual	precipitación media anual
Cabo Verde	150/1600	18.0-25.0	250-1000
Senegal	15	28.0	700
Ghana	183	27.8	1080
Benin	7	25.3	1330
Kenya	1020	28.0	790
Tanzania	430	20.0	670
India	556	11.0-38.0	672
Costa Rica	10	27.5	2000
México	16	24.8	1623

Tabla 4. Límites climáticos a que está sometida *Jatropha curcas*, según su procedencia

Fuente: Heller, 1992

En la Figura 2 se muestra el límite térmico, definido por la isoterma media anual de 18° C. Esta área abarca en Argentina la totalidad de las provincias de Chaco, Formosa, Misiones, Corrientes y Santiago del Estero. Cubre además el sector oriental de Jujuy, centro y este de Salta, gran parte de Tucumán, parte de La Rioja, Catamarca y San Juan, norte y centro de Córdoba, de Santa Fe y Entre Ríos. A nivel sudamericano comprende solo la parte norte de Uruguay; casi todo Brasil (quedando fuera el sector más austral); gran parte de Bolivia excluyendo el sector cordillerano y del altiplano; el norte de Chile y la mayor parte de los territorios de Ecuador y de Perú.

La Figura 3 resulta de la superposición de las anteriores. Está indicando la zona de Sudamérica donde podrían potencialmente cultivarse estas especies con probabilidad de éxito en condiciones de secano y con riego. Hay que destacar que no se incluyeron en el mapa, lagunas, lagos ni salares. Las áreas que más interesan a los fines del presente trabajo, son las que están coloreadas en amarillo (zonas semiáridas) y en marrón (zonas áridas).

Las regiones áridas que se visualizan en la Figura 3 (0-250 mm) de Ecuador, Perú, Chile y Argentina

podrían incorporarse a la producción de *Jatropha curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa* con el aporte de agua suplementaria.

Las regiones semiáridas (251-500 mm) señaladas en el mapa y correspondientes a Ecuador, Perú y Argentina permiten realizar el cultivo de *Jatropha curcas* con riego y la variedad Cabo Verde, sin riego. *Jatropha hieronymi* y *J. macrocarpa* también se podrían cultivar con éxito en condiciones de secano.

En esta figura se aprecia en color verde la posibilidad de producción de *Jatropha curcas* en condiciones de secano. Esta categoría fue dividida en dos: una que comprende las regiones con condiciones subhúmedas secas (501-750 mm), marcadas con el número 2 que representa los lugares donde en realidad podrían explotarse las tres especies de *Jatropha*, fundamentalmente *J. curcas*, de la que se conoce que el rendimiento responde a la disponibilidad de humedad edáfica. Abarca un sector al sur de Ecuador; el área central de Perú; una zona al NE de Brasil, el centro y sur de Bolivia y una franja paralela al límite internacional con Paraguay; el NW de Paraguay; parte del norte y del centro de Argentina.

(Continúa en la página 112)

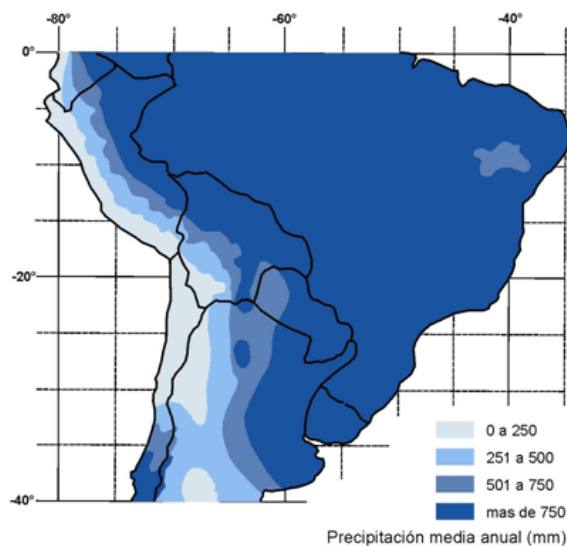


Figura 1. Precipitación media anual

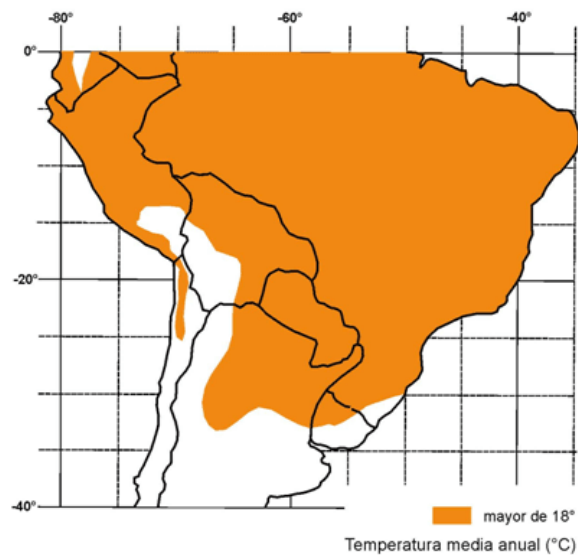


Figura 2. Temperatura media anual mayor de 18°C

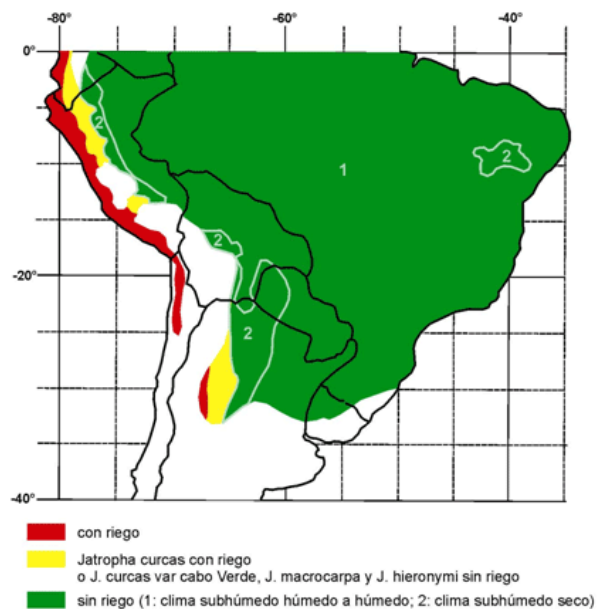


Figura 3. Zona potencial de cultivo de *Jatropha curcas*

(Viene de la página 110)

La otra categoría se marcó con el número 1. Entraría dentro de esta categoría el resto de Sudamérica que está pintada con verde en la Figura 3, con climas subhúmedo-húmedos a húmedos (>750 mm), ubicados al este del área delimitada anteriormente. Sin embargo, la mayor parte de estas tierras está destinada a la producción de alimentos, que gozan de mayor precio internacional que los biocombustibles, por lo que no recomienda incluir allí forestaciones con *Jatropha curcas*, a menos que se trate de suelos con problemas de erosión o con severas limitaciones para la agricultura o microclimas locales, con diferentes condiciones, que no se aprecian a la escala del mapa presentado.

En toda el área de estudio es posible que existan climas locales que presentan características similares a las que permitieron definir la zona potencial de cultivo pero que no aparecen en la Figura 3 por la escala reducida que presenta el mapa resultado. Por lo tanto, si bien este trabajo permitió visualizar a grandes rasgos, las zonas potenciales a ser forestadas con *Jatropha* sp, se recomienda realizar estudios a mayor escala de detalle, para definir las áreas óptimas de cultivo dentro de cada país.

Habría que hacer esfuerzos para mejorar esas tierras secas (áridas y semiáridas delimitadas en la Figura 3), zonas que constituyen el asentamiento de muchos pueblos pobres de Sudamérica, condenados a vivir con hambre, enfermedades, analfabetismo, desempleo, sin acceso al agua potable y saneamiento ambiental, sin una alimentación adecuada, sin educación, salud y energía.

En este mundo de libre mercado, hay una diferencia que marca a los pueblos. En muchas partes del mundo cuando hay inversiones y tecnología, se superan no todos pero si muchos de los problemas que limitan la vida en estas zonas adversas. Lo que se necesitan son inversiones con carácter de igualdad social y económica que permitan el desarrollo armonioso de estas poblaciones, sin imposiciones, con mucho diálogo y que satisfagan razonablemente las necesidades de las partes. Las personas pobres no tienen capacidad, no tienen recursos, no tienen cono-

cimientos y por lo tanto necesitan ser integrados. Una forma de inclusión social se lograría forestando grandes extensiones con *Jatropha* sp. y que ellos realicen el cuidado de las plantaciones incluyendo la cosecha, para luego industrializar la producción in situ.

Existen tecnologías disponibles para desalinizar las aguas salobres de pozos. En el noreste de Brasil por ejemplo es común la instalación de desalinizadores para obtener agua dulce para garantizar el suministro de las demandas en comunidades rurales dispersas. Sería una alternativa válida para sacar agua dulce de las capas freáticas profundas de los desiertos y semi-desiertos con fines de la irrigación. La decisión es una cuestión político-filosófica que determina una relación costo / beneficio social. La tecnología existe pero el costo y el manejo deberán ser bien evaluados.

Será necesario efectuar ensayos agronómicos con estas especies para obtener datos de rendimiento en diferentes provincias de nuestro país y en los diferentes estados sudamericanos, aunque habría que trabajar los aspectos genéticos, la búsqueda de clones de mejor calidad sobre la base de rendimiento de aceite, lograr mayor adaptabilidad a suelos pobres o marginales, mayor resistencia a la sequía y a las heladas, uniformidad floral, estudios mecanizados de cosechas, aspectos fitosanitarios, etc.

La investigación en los procesos de transesterificación, los catalizadores y procesos óptimos son problemas optimizables que demandarán la colaboración de las diferentes ramas de las ciencias químicas y las ingenierías.

El análisis de las condiciones económicas y los modelos de negocios para comercializar, no sólo el biodiesel sino también la glicerina, y los otros productos derivados, constituirán potenciales campos de análisis para los investigadores de economía, administración de empresas y comercio exterior.

A partir de toda la investigación aplicada y del análisis de los resultados de los ensayos que se hagan, depende el futuro de la expansión sudamericana del cultivo de *Jatropha curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*.

Consideraciones generales para una estrategia de promoción del cultivo de *Jatropha* sp.

Es crucial el factor económico para ponderar el alcance que puede llegar a tener esta alternativa propuesta. Deberán considerarse:

- El costo de la materia prima, ya que el precio de los aceites depende de los precios internacionales.
- Los costos del procesamiento, de la producción y del almacenamiento del biodiesel, que dependen de la tecnología empleada.
- Los costos de distribución y de comercialización.
- La carga impositiva aplicada al biodiesel.

Una estrategia encaminada al desarrollo de estos cultivos como fuente de energía y productos renovables podría permitir:

- Reducir la pobreza creando empleos y elaborando nuevos productos, como combustibles, medicinas, insecticidas, lubricantes, jabones, fertilizantes, etc.
- Solucionar problemas ambientales, como la erosión y la deforestación, además de mejorar microclimas y mitigar los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global.
- Incrementar la calidad de vida en el campo.
- Reducir el consumo de leña en zonas rurales.
- Disminuir la vulnerabilidad alimentaria y la volatilidad de precios.
- Desarrollar tecnologías descentralizadas, en especial mitigar una parte de los problemas energéticos.

Desde el punto de vista ambiental cada árbol puede contribuir a fijar 6 kg de CO₂ (disminución de las emisiones de gases contaminantes) y 9 kg de O₂, además de contribuir a la reforestación de zonas semiáridas y secas, y ayudar a incrementar la biodiversidad,

evitar la erosión, restablecer el ciclo hídrico y formar suelos. (Sotolongo López *et al.*, 2007).

A esto se añaden las potencialidades que ofrecen estos cultivos energéticos vinculados a un sistema agroforestal, intercalando el cultivo de especies hortícolas o una pastura integrando un sistema silvopastoril, criando ganado ovino o caprino, o implantando arroz, maíz, garantizando la producción de alimentos en la explotación a nivel familiar.

Los indígenas que poblaron nuestra América aplicaron un sistema de conocimientos con un propósito determinado, en un entorno territorial limitado, transmitido de generación en generación, a fin de conservar y hacer un uso sostenible de los recursos naturales. Una adecuada planificación de ocupación y uso del territorio, que no es otra cosa que el respeto que merece la naturaleza y su aprovechamiento sostenido, entre otras cosas, puede ayudar significativamente a disminuir los efectos climáticos sobre estas poblaciones vulnerables que habitan en los climas áridos, semiáridos y subhúmedo-secos sudamericanos.

En la Costa Norte del Perú, donde existen más de 2 millones de hectáreas de bosques de algarrobo (*Prosopis* sp.), podría forestarse con cualquiera de estas tres especies de *Jatropha* para contener la desertificación y el avance de las dunas.

Las tres especies de *Jatropha* no son las únicas oleaginosas que están adaptadas a vivir en condiciones subúmedas a semiáridas.

Existen otras especies oleaginosas no convencionales que estarían adaptadas a estos países, que se pueden cultivar orientando su producción al sector energético y siendo a la vez no competitivos con el sector alimentario.

Diversificar la producción de cultivos con fines energéticos permitiría maximizar sus rendimientos de producción de aceite en condiciones de mayor rusticidad y además, conseguir disminuir los costos de producción de semillas, obteniendo aceites más baratos que se adecuen al proceso de producción y normas de calidad del biodiesel. Entre estos cultivos se

pueden citar varias especies de la familia de las crucíferas (entre ellas diversas variedades de *Brassicas* y *Thlaspi arvense*) y otros como *Cynara cardunculus* y *Camelina sativa*.

En general se trata de especies con un alto potencial productivo, tanto en rendimiento a campo como en contenido de aceite de las semillas, pero cuyo desarrollo no está completado y requieren tanto de selección genética de semillas, como de desarrollo y adaptación de técnicas de cultivo, por lo que no está prevista su entrada en el mercado industrial para biodiesel a corto plazo. En cualquier caso, existe una necesidad de desarrollo de especies alternativas que mejoren los costos de la materia prima para biodiesel y que no estén sujetos a las fluctuaciones del mercado alimentario, mejorando la rentabilidad del negocio.

Hasta ahora, los cultivos que se han considerado para la producción de materias primas destinadas a la fabricación del biodiesel han sido básicamente cultivos tradicionales producidos con fines alimentarios. El costo de producción del biodiesel fabricado con este tipo de materias primas es varias veces superior al costo del gasoil y de las naftas, por lo que para lograr viabilidad económica es preciso obtener subvenciones del estado. Actualmente se está pidiendo a los gobiernos europeos que desalienten la producción de biocombustibles, acusándolos de haber generado un tercio del aumento de precios de los alimentos durante el primer semestre de 2008.

El desarrollo de cultivos oleaginosos alternativos necesita de una política de apoyo en I+D, ya que en

este campo existe un gran potencial de producción que, además representa una nueva actividad para el sector agrario. De esta manera, se podrían ocupar varios cientos de miles de hectáreas de tierras agrícolas que hoy en día están abandonadas, se potenciaría el desarrollo rural y posibilitaría que los agricultores pudieran obtener las rentas de dichas tierras como consecuencia de su trabajo productivo.

A nivel gubernamental, se podría promover el cultivo en los sectores sociales marginales haciendo campañas de extensión, regalándoles la semilla, asistiéndolos durante la implantación y primer año de cultivo, con un compromiso de compra de la cosecha por parte del estado.

Los pequeños productores agropecuarios podrían reunirse para vender la semilla a una cooperativa para procesar las semillas, obtener el aceite y el biodiesel, para abastecimiento propio y venta en el mercado nacional, mientras que el excedente podría exportarse.

Desde los gobiernos nacionales deberían fomentarse líneas de I+D para la búsqueda de cultivos oleaginosos óptimos para la producción de biodiesel, tanto desde un punto de vista agronómico, como de adecuación de sus aceites para la producción de biodiesel que cumpla los parámetros de calidad establecidos. Con ello, se pretende posibilitar una nueva alternativa de cultivo rentable para el sector agrario, a la vez que se garantizará un suministro de calidad a la industria del biodiesel a un costo competitivo.

Referencias

- Anon. 1986. The useful plants of India. The useful plants of India. Publications and Information Directorate CSIR; New Delhi, India.
- Augustus, G.S, Jayabalan, M. and Seiler, G.J. 2002. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. Biomass and Bioenergy. 23:161-164.
- Calle, J; Coello, J y Castro, P. 2005. Opciones para la producción de biodiesel en Perú. Mosaico Científico. V 2, Nº 2. Lima.
- Cortesao, M. 1956. Culturas tropicais: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica. 231 pp.

- Cruz y Victoria, M.T; Contreras Tinoco, K.E y Anaya Sosa, I. 2006. Aceite de la *Jatropha curcas*; análisis de su composición. REPSYN. Universidad Autónoma Nueva León. México. Edición Especial Nº 16. Artículo 81.
- de Arruda, F.P.; De Macedo Beltrao, N.; Pereira de Andrade, A.; Pereira, W. e Soares Severino, L. 2004. Cultivo de Pinhao manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semiárido nordestino. Rev. Bras. ol. fibros. Campina Grande. V 8 Nº 1, 789-799.
- Falasca, S. y Bernabé, M.A. 2006. Impacto regional en la zona semiárida argentina implantando cultivos para biodiesel. IX Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra. Santiago de Chile. Publicado en CD-ROM.
- Falasca, S. y Ulberich, A. 2006. Distribución potencial del cultivo de piñón manso (*Jatropha curcas* L) en Argentina. S. Actas XI Reunión Argentina de Agrometeorología. P 38-39. U. N. La Plata.
- Falasca, S y Ulberich, A. 2008. Las especies del género *Jatropha* para producir biodiesel en Argentina. Revista Virtual REDESMA. Bio-combustibles. Área Investigación. V 2 (1)(2008). ISSN 1995-1078. La Paz. Bolivia.19pp.
- Font, F. 2003. Las especies del género *Jatropha* L (Euphorbiaceae, Crotonoideae) en Argentina. Revista del Círculo de Coleccionistas de Cactus y Crasas de la República Argentina. V 2 Nº 1. 4-20.
- Heller, J. 1992. Untersuchungen über genotypische Eigenschaften und Vermehrungs- und Anbauverfahren beider PurgiernuB (*Jatropha curcas* L). Dr Kovac, Hamburg.
- Heller, J. 1996. Physic nut, *Jatropha curcas*. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.
- Jones N. and Miller J.H. 1992. *Jatropha curcas*: A multipurpose Species for Problematic Sites. The World Bank, Washington DC USA.
- Kiefer, J. 1986. Die PurgiernuB (*Jatropha curcas* L.) – Ernteprodukt, Verwendungsalternativen, Wirtschaftliche Überlegungen. Diploma thesis University Hohenheim, Stuttgart.
- Mac Laughlin, S.P. 1985. Economics prospects for new crops in the south western United States. Economic Botany 39:473-481.
- Makkar, H.P.; Becker, K and Schmook, B. 1998. Edible provenance of *Jatropha curcas* from Quintana Roo State of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. 4 pp.
- Martinez Herrera, J; Siddhuraju, P; Francis, G; Davila Ortiz, G and Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic / antimetabolic constituents, and effects of different treatment on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. Food Chemistry 96: 80-89.
- Münch, E. 1986. Die PurgiernuB (*Jatropha curcas* L.) – Botanik, Ökologie, Anbau. Diploma thesis University Hohenheim, Stuttgart.
- Peixoto, A.R. 1973. Plantas oleaginosas arbóreas. Sao Paulo: Nobel. 284 pp.
- Saxena M.C. 2006. *Jatropha curcas*, an excellent source of renewable energy in the dry areas. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Silva Noelli, F. 1996. Múltiplos Usos de Espécies Vegetais pela Farmacologia Guarani a través de Informações Históricas. I Simpósio de Etnobiologia e Etnoecologia. Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia.
- Sotolongo Pérez, J.A ; Beatón Delgado, P.A.; Díaz García, A.; Montes de Oca López, S; del Valle Atala, Y. y García Pavón, S. 2007. Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L en las condiciones edafoclimáticas de la región semi-árida de la provincia de Guantánamo. Tecnología Química. Vol 27. Nº 2.