Las especies del género Jatropha para producir biodiesel en Argentina

Silvia Falasca [1] y Ana Ulberich [2]

Nota.- El presente artículo fue enviado por las autoras expresamente para el presente número de la *Revista Virtual de REDESMA.*

[1] 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. Pinto 399, Tandil, Pcia de Buenos Aires. sfalasca@conicet.gov.ar

[2] PREMAPA – CINEA. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina. ulberich@fch.unicen.edu.ar

Resumen

La distribución de los cultivos en el mundo está marginada por los límites climáticos, por defecto o por exceso de las necesidades vitales para los individuos que conforman los distintos biotipos. Desde que se efectúa la siembra, las plantas están sometidas a las variaciones asincrónicas de los elementos componentes del clima y es el clima el principal factor determinante de la probabilidad de éxito del cultivo.

El objetivo de este trabajo fue la delimitación del área geográfica argentina donde es posible la producción económica de Jatropha curcas, Jatropha macrocarpa y Jatropha hieronymi en condiciones de secano.

A partir de los datos extraídos de las Estadísticas Climáticas editadas por el Servicio Meteorológico Nacional se calcularon los índices climáticos que definen al agroclima para cada una de las especies para el período 1961-1990 contando con todas las estaciones meteorológicas y agrometeorológicas distribuídas en el país.

Luego se elaboraron los mapas correspondientes a cada uno de los índices climáticos y el mapa resultante de la superposición de todos los anteriores fue el que definió al agroclima para Jatropha curcas, Jatropha macrocarpa y Jatropha hieronymi.

Abstract

The distribution of cultivations in the world is restricted by the climatic limits, for defect or for excess of vital necessities for the individuals that conform the different biotypes. Since sow is made, plants are subjected to asynchronous variations of component elements of climate and it is the climate the main decisive factor of probability of success of cultivation.

The objective of this paper was the delimitation of the Argentinean geographical area where it is possible the economic production of Jatropha curcas, Jatropha macrocarpa and Jatropha hieronymi without watering.

Since extracted data of the Climatic Statistics published by the National Meteorological Service it was sketched the climatic indexes that define the agroclimatic zone of the specie for the period 1961-1990 for meteorological and agrometeorological stations distributed in the country.

Then, the maps corresponding to each one of the climatic indexes were elaborated and the resulting map of the overlapping of all previous ones defined the agroclimatic zone of Jatropha curcas, Jatropha macrocarpa and Jatropha hieronymi.

I. Introducción

El uso de combustibles obtenidos a partir de diferentes tipos de biomasa, y en especial de cultivos, se viene utilizando desde tiempos remotos.

El biodiesel fue el primer combustible en ser usado cuando Rudolf Diesel presentó su motor en Augsburgo, Alemania el 10 de Agosto de 1893. Por esta razón, se ha declarado este día como el Día Internacional del Biodiesel. En la Exposición Mundial de París en 1900, Diesel presentó un motor funcionando con aceite de maní. Siendo un visionario, él vaticinó que "el uso de los aceites vegetales puede parecer insignificante hoy, pero estos aceites se pueden volver, en el transcurso del tiempo, tan importantes como los productos del petróleo y la brea del presente" (Calvo, 2006).

En virtud del creciente aumento del precio del barril de crudo, la posibilidad de que se agoten las reservas en un futuro mediato y la contaminación que genera el uso de combustibles fósiles, resulta necesario el vuelco hacia el uso de otro tipo de energías renovables.
El biodiesel es el combustible del mañana, para motores vehiculares de ignición por compresión o de generadores diesel-eléctricos. Se lo puede usar puro o en mezcla y se obtiene a partir de la transesterificación de aceites vegetales.

Presenta con respecto al gasoil varias ventajas ambientales: 1) Reducción total de las emisiones de azufre; 2) Reducción del 50% de las emisiones de CO2; 3) El CO2 liberado es incorporado al ciclo de Carbono; 4) Reducción del 65% de la emisión de partículas sólidas; 5) Es biodegradable (98.3% en 21 días); 6) No es tóxico (DL 50<sal de mesa) y 7) Es renovable en cada ciclo de cultivo. Como desventaja ambiental hay que sañalar que produce un leve aumento de la emisión de NOx (Naciones Unidas, 2004).

En los últimos años se está prestando demasiada atención a esos productos debido a varios factores, tales como las alzas en el precio de los hidrocarburos que han obligado a buscar fuentes de energía alternativas y las expectativas de reducción de los gases de efecto invernadero para mitigar los efectos del cambio climático. Estos combustibles alternativos generan mucha expectativa en los países de América Latina y el Caribe, tanto a nivel de gobiernos, como empresarios, productores y la opinión pública en general.

La ley de biocombustibles fue sancionada en Argentina, el 19 de abril de 2006. Entre otras cosas, la ley prevé una serie de beneficios impositivos para esos combustibles (biodiesel y bioetanol), beneficios que no son más que los que tienen otros combustibles derivados del petróleo. Además, incluye la obligatoriedad, a partir del cuarto año de su sanción, de la mezcla con gasoil y naftas en el país.

El creciente interés en combustibles obtenidos a partir de cultivos agrícolas se debe no solo a la inestabilidad del mercado petrolero, sino a la creciente demanda mundial de energía y las presiones internacionales para cumplir los compromisos asumidos por el Protocolo de Kyoto.

Todos los aceites naturales, tanto de origen vegetal como animal, triglicéridos en general, pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de biodiesel, pero no todos producen biocombustible de similar calidad. Ello quiere decir que en muchos casos para lograr un producto final según las especificaciones técnicas requeridas, se torna inviable desde el punto de vista económico.

En nuestro país se están utilizando fundamentalmente aceites de soja y girasol, y en menor escala colza, ajustándose a las Normas de la Comunidad Europea.

Los aceites de girasol, soja y colza canola son utilizados prioritariamente como aceites comestibles y su demanda creciente para biodiesel hará que el precio aumente por lo menos en el corto y mediano plazo, y será finalmente más caro para el consumidor de aceites comestibles y para el usuario de biocombustibles. A ésto hay que sumarle que está ocurriendo un vuelco de las tierras destinadas a la producción de alimentos que están comenzando a utilizarse para la producción de biocombustibles, con todas las implicancias socioeconómicas que traerá aparejado.

II. Oleaginosos alternativos

En América Latina, los principales productores de agrocombustibles son Brasil y Argentina. En Brasil, se produce el etanol a partir de la caña, con una concentración importante de tierras. Se prevé en los años que vienen, la utilización de 21 millones de hectáreas. La destrucción de los suelos por el monocultivo y de las selvas por expandir el área de cultivo son consecuencias inevitables.

En Argentina, el biodiesel se produce fundamentalmente a partir de la soja, y el etanol a partir de la caña de azúcar. Todas estas producciones son dirigidas, no solamente al consumo interno, sino a la exportación, aprovechando del boom de la economía mundial, especialmente encabezado por China y que exige siempre más producción de energía.

Hasta ahora, los cultivos que se han considerado en Argentina para la producción de materias primas destinadas a la fabricación de biodiesel han sido básicamente cultivos tradicionales producidos con fines alimentarios. El costo de producción de biodiesel fabricado con este tipo de materias primas supera con creces el costo del gasóleo, por lo que para lograr viabilidad económica es preciso subvencionarlos o darles ventajas impositivas.

Sin embargo, con objeto de lograr una producción sostenible y estable del biodiesel y, a su vez, no quemar materias primas que pueden ser destinadas al mercado alimentario, es necesario desarrollar cultivos oleaginosos alternativos, con costos de producción más bajos que los alimentarios y que produzcan aceites aptos para la producción de biodiesel.

El desarrollo de cultivos oleaginosos alternativos necesita de una política de apoyo en Investigación y Desarrollo, 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 tierras de gran parte del territorio nacional que hoy en día son incultas, por su bajísima fertilidad o por poseer un régimen pluviométrico que las torna ineptas para la agricultura tradicional en condiciones de secano. Su explotación potenciaría el desarrollo rural y posibilitaría que los agricultores pudieran obtener una renta de dichas tierras como consecuencia de su trabajo productivo.

En países de África, India y otros del sudeste asiático y de Centroamérica se ha estudiado particularmente el uso de *Jatropha curcas*, cuyo aceite cumple con las exigencias necesarias, y posee la gran ventaja de que no es comestible, al contener una concentración apreciable de sustancias tóxicas (curcina y ácidos de forbol).

Jatropha curcas L, conocida también con otros nombres como Ricinus jarak, Ricinus americanus, Jatropha acerifolia y Jatropha edulis es un arbusto perteneciente a la familia de las euforbiáceas. Según el país en que fue reconocida ha recibido diferentes nombres triviales, tales como Pinhao manso (Brasil), tempate (México), Physic nut (países de habla inglesa), curi-i- vai (Paraguay), piñón de leche o piñón botija (Cuba), fagiola de la India (Italia), purgueira (Portugal), etc.

Los indios guaraníes, quienes conocían muy bien las propiedades de la planta, la denominaron Kuty jyva y Turuvi (Silva Noelli, 1996).

La distribución actual de *Jatropha curcas* muestra que la introducción humana ha sido muy satisfactoria en las regiones más secas de los trópicos.

Figura 1. Detalle de la hoja y flores de

Figura 2. Plantación de *Jatropha curcas*.

Según datos científicos, el piñón es una oleaginosa de porte arbustivo, perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, que tiene más de 3.500 especies agrupadas en 210 géneros (Heller, 1992 y 1996).

Esta oleaginosa, si bien es originaria de Centroamérica y México, habría llegado a África en las galeras portuguesas que traficaban con esclavos hacia Brasil. Este arbusto, sólo se utilizaba como cerca viva ya que sus frutos venenosos ahuyentan el ganado.

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.

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).

El aceite puede usarse como combustible para motores, lámparas y cocinas; la planta entera, sobre todo los frutos pueden emplearse como combustible sólido y el aceite se utiliza en Malí, además, como lubricante de motores (Wiesenhütter, 2003).

Las cáscaras de frutos y cáscaras de semillas pueden ser utilizados como combustible. Las semillas secas se sumergen en el aceite de palma para usarse como antorchas, que se mantendrán encendidas incluso con fuertes vientos. La madera se utiliza como combustible, aunque de mala calidad, en Cabo Verde (Wiesenhütter, 2003).

Augustus et al., (2002) determinaron el poder calorífico bruto (P.C.B) del petróleo y derivados y lo compararon con el aceite de *Jatropha curcas*. Así encontraron que el P.C.B del petróleo fue de 9036 cal/g, valor superior al de la antracita y del carbón. El P.C.B de las semillas de *Jatropha curcas* fue de 4980 cal/g, superior al del carbón mineral, lignito y deyecciones animales.

La pasta que queda luego de prensar la semilla no puede destinarse al consumo de animales porque también es tóxica para ellos, pero si se destoxifica es muy buena ya que posee un 55-58% de proteína. Puede usarse directamente como abono orgánico ya que posee un 3-4% de nitrógeno (Perry, 1980).
Dado que su vida útil es de 30-50 años y está adaptada a vivir bajo condiciones de humedad subhúmedas y semiáridas, *Jatropha curcas* se presenta como un cultivo alternativo para esas regiones, promoviendo el desarrollo local a través de la producción de biodiesel (Falasca y Bernabé, 2006). Hay reportes que citan casos de una longevidad de 100 años (Cortesao, 1956; Peixoto, 1973).

La cáscara tiene un valor calórico de aproximadamente 2651 kcal/kg (15% de humedad), por lo que también puede ser empleada como combustible. La cáscara también puede transformarse, mediante un proceso de digestión anaerobia, en biogás y biofertilizante (efluente del digestor), lo que podría optimizar los rendimientos energéticos. En Nicaragua fue investigada la bioconversión de este material en digestores anaerobios de flujo ascendente, a temperatura ambiente, con tiempos de retención de tres días y se alcanzaron producciones de biogás adecuadas (Sotolongo Pérez et al, 2006).

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 Pérez et al, 2006).

Estudios internacionales de varios países del trópico arrojan que si el nivel de nutriente suministrado es suficiente (en especial nitrógeno), el desarrollo de la planta depende de la disponibilidad de agua y la producción primaria neta de biomasa (NPP); es decir, la producción de todos los tipos de biomasas en un período anual (hojas del árbol, biomasa de la madera, frutos, etc.), puede alcanzar un rango promedio de 1,2 t/ha/año de materia seca al aire seco con precipitaciones anuales de 200 mm hasta 11,8 t/ha/año de materia seca al aire donde las lluvias alcanzan 1500 mm (Sotolongo Pérez et al, 2006).

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). El piñón 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 ocurrido en la ciudad de Buenos Aires durante 2007 produjo la caída de sus hojas, aunque sus tallos se mantuvieron verdes a la espera de temperaturas primaverales para producir su rebrote. Las hojas se cayeron en invierno, formando un mulch que luego fertilizó la zona de la raíz.

Existen 11 especies del género *Jatropha* reconocidas en Argentina como endémicas (Font, 2003), pero no todas son aptas para obtener biodiesel.

En la Tabla 1, se aprecian todas la especies del género *Jatropha* que fueron reconocidas como autóctonas en la República Argentina.

Después de un exhaustivo trabajo de investigación y desarrollo, Font (2003) ha reconocido dos especies autóctonas pertenecientes al género *Jatropha*: *Jatropha macrocarpa (*Grisebach) y *Jatropha hieronymi* (Kuntze), denominadas comúnmente higuerilla o higuera del zorro, sacha higuera, ortigón bravo macho, piñón, etc., que son potencialmente productoras de aceites para ser usadas como materia prima para producir biodiesel.

Jatropha macrocarpa y *Jatropha hieronymi*, 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.

La combinación de mecanismos de autocoria y zoocoria se observa en semillas provistas de excrecencias carnosas como arilos en *Jatropha macrocarpa* que atraen a agentes de dispersión bióticos. Las semillas de estas especies caen al suelo y las hormigas consumen os arilos o carúnculas. Aparentemente los omponentes volátiles del tipo e ácidos grasos libres no saturados atraen a estos insectos (Roth, 1987). La dispersión de semillas o frutos con la intervención de las hormigas se define como mirmecocoria y se presenta tanto en la Región Chaqueña como en otras regiones templadas (Abraham de Noir, et al., 2002).

Las principales características botánicas de las tres especies se resumen en la Tabla 2. En la misma se visualizan entre otras, la distribución geográfica en los países limítrofes.

Jatropha	*Distribución en América*	*Provincias argentinas*
breviloba	Brasil, Noreste de Argentina	Corrientes, Formosa.
curcas	Desde México hasta Argentina	Corrientes, Misiones, Jujuy, Salta.
chacoana	Paraguay Bolivia y N Argentina	Chaco, Formosa, Salta, Santiago del Estero.
excisa	Norte de Argentina	Catamarca, Córdoba, Corrientes, Formosa, La Rioja, Salta, Santiago del Estero, San Juan, San Luis, Tucumán.
grosidentata	Bolivia, Argentina	Chaco, Formosa, Salta
isabelliae	W y Centro de Brasil, Noreste de Argentina	Corrientes, Misiones
hieronymi	Argentina, Bolivia, Paraguay	Catamarca, Jujuy, La Rioja, Santiago del Estero, Salta, San Juan, Tucumán
macrocarpa	Argentina, Bolivia	Catamarca, Chaco, Jujuy, La Rioja, Salta, Santiago del Estero, San Luis, Tucumán
matacensis	Paraguay Argentina	Formosa, Córdoba
pedersenii	Argentina	Corrientes
peranoi	Argentina	Catamarca, Salta, Tucumán

Tabla 1. Diferentes especies del género *Jatropha* autóctonas (Fuente: Adminstración de Parques Nacionales, 2007; Font, 2003; ITIS, 2007, Prado, 1993)

En las Figuras 3 y 4 se muestran fotografías de *Jatropha macrocarpa*.

Jatropha	***macrocarpa***	***hieronymi***	***curcas***
Altura (m)	3	5	5-8
Color flores	Amarillas y rojas	Amarillas y rojas	amarillo-verdosas
Nº Estambres	10 (5 + 5)	7 - 10	10 (5+5)
Glándulas disco femenino	Libres	En anillo	Libres
Fruto (cm)	2	2,50	3-5
Semillas (cm)	1,50	2	2.5-3.0 (1.5)
Color	Castaño claro	Castaño claro	Negra
Diseño	Marmoladas	Marmoladas	Lisas
Forma semilla	Subesférica	Subesférica	Oblonga
Carúncula	Grande	Grande	pequeña
Países limítrofes	Bolivia	Bolivia y Paraguay	Brasil, Paraguay, Bolivia, Chile

Tabla 2. Diferencias botánicas entre las 3 sp de *Jatropha* (Fuente: Casotti y Font, 2006)

Acido graso (%)	**Jatropha macrocarpa Jatropha hieronymi (%)**	*Jatropha curcas*
Mirístico	0,01- 0,04	0.06
Palmítico	11 - 14	14.24
Palmitoleico	1 - 2	0.95
Margárico	0,05 – 0,08	0.12
Margaroleico	0,10 – 0,15	0.06
Esteárico	3 - 4	7.84
Oleico	42 - 55	47.66
Linoleico	27 - 39	28.90
Linolénico	0, 3 – 0,5	0.24
Araquídico	0,10 – 0,20	0.25
Gadoleico	0,12 – 0,18	0.07
Behénico	0,12 – 0,15	0.06

Tabla 3. Porcentaje de ácidos grasos presentes en el aceite (Fuente: Casotti y Font, 2006; Heller, 1996)

El color del aceite de *Jatropha curcas* es amarillo claro, inoloro con un ligero sabor a nuez. El índice de saponificación determinado por Cruz y Victoria et al, (2006)fue de 196, el índice de yodo de 99.06, el de acidez 13.86, el de ésteres de 182.1, el de hidroxilo 8.53, el de acetilo 8.48, la materia insaponificable de 0.82%, el índice de refracción a 25ºC fue de 62 cp.

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

Especifica-ciones del Aceite	***Jatropha hieronymi* y *J. macrocarpa***	***Jatropha curcas***	**Especificaciones del Biodiesel**	***Jatropha hieronymi* y *J. macrocarpa***	***Jatropha curcas***
Densidad	0,905 - 0,915	0.920	Densidad metilester	0,865 - 0,870	0.879
ppm Azufre	25 - 35	10-14	Densidad etilester	0,875 - 0,880	0.886
% de humedad	4 - 6	7	Nº cetano metilester	52	51
% aceites	32 - 35	48.5	Nº cetano etilester	58	59
Índice de Iodo	108 – 114	97.5	Carbon Conradson metilester	0,028	0.018-0.025
% cáscara / % pepita	45 / 55	42.7/56.5			

Tabla 4. Especificaciones del aceite y del biodiesel (Fuente: Casotti y Font, 2006; Heller, 1996)

Casotti y Font, (2006) analizaron el biodiesel obtenido a partir de *Jatropha hieronymi y J. macrocarpa*. De los ensayos físico químicos efectuados, sacaron como conclusión el excelente rendimiento tanto en la cantidad y calidad de los aceites obtenidos, ácidos grasos en particular el porcentaje muy alto de ácido oleico, índice de iodo, así como la relación de insaturados / saturados (82,8% / 17,2%), como también sus muy bajos porcentajes de azufre.

El número de cetanos obtenido tanto en los ésteres metílicos como etílicos, están muy por encima de los mínimos exigidos, así como los valores de Carbón Conradson correspondientes, y se puede afirmar categóricamente que el biodiesel obtenido a partir de estas dos especies de *Jatropha* es de similar calidad a los de soja, girasol y colza, siendo comparables a los fabricados con aceite de *Jatropha curcas* (Casotti y Font, 2006).

Habiendo justificado la calidad de los aceites de estas 3 especies para obtener biodiesel, resta zonificar el área óptima para el desarrollo del proyecto agroforestal. El objetivo del presente trabajo fue identificar el área geográfica que permite el desarrollo óptimo de las tres especies del genero *Jatropha* en Argentina, aptas para la producción de biodiesel.

III. Materiales y métodos

La distribución de los cultivos en el mundo está marginada por los límites climáticos, por defecto o por exceso de las necesidades vitales para los individuos que conforman los distintos biotipos.

Para buscar una probable zonificación en Argentina, se extrajeron los datos climáticos de las Estadísticas Climáticas para el período 1961-90 (SMN, 1996).

Para ello se mapearon las variables: temperatura media anual y precipitación media anual para 118 estaciones meteorológicas y agrometeorológicas presentes en la República Argentina. Se trabajó primero con *Jatropha curcas* porque es la especie más estudiada por las autoras y también, a nivel mundial.

Dado 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 los diferentes biotipos que existen en el mundo.

Procedencia	**Altitud**	**Temperatura media anual**	**Precipitación media anual**
Cabo Verde	150/1600	18.0-25.0	200-1000
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
Burma	80	27.0	825
India	556	11.0-38.0	672
Costa Rica	10	27.5	2000
México	16	24.8	1623

Tabla 5. Límites climáticos a que están sometidos diferentes biotipos de *Jatropha curcas,* según su procedencia (Fuente: Héller, 1992)

Se tomó el límite de 18º C, que estaría indicando el límite sur del área de dispersión por temperatura y las isoyetas de 480 mm (Héller, 1996) y de 200 mm, correspondiente a la mínima necesidad de agua que requiere la variedad Cabo Verde (Héller, 1992). Así se definió el bioclima de *Jatropha curcas*. Sólo las variedades Cabo Verde y Malí crecen con 250-300 mm de precipitación anual (Henning, 1996).

Para las otras especies, que son silvestres en la actualidad, se verificó que crecen en áreas de muy escasa precipitación pluvial, del orden de los 200 mm anuales, por lo que se tomó ese límite hídrico para la delimitación del agroclima.

IV. Resultados

En la Figura 5 se visualiza el límite hídrico para *Jatropha curcas*, definido por la isoyeta de 480 mm, imponiendo su límite sur y oeste. Esta área comprende la totalidad de las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Santa Fe, Córdoba y Tucumán, gran parte de las provincias de San Luis, La Pampa, Buenos Aires, además de Jujuy, Salta, Catamarca y La Rioja. Sin embargo, al considerar la isoyeta de 200 mm, correspondiente al requerimiento hídrico mínimo de *Jatropha curcas Variedad Cabo Verde*, el área se extiende aún más hacia el sur y el oeste. Este límite hídrico es coincidente con el requerimiento mínimo de agua de las *Jatropha hieronymi* y *macrocarpa*.

En la Figura 6 se muestra el límite térmico para *Jatropha curcas*, definido por la isoterma media anual de 18 ºC. Esta área, que es más reducida que la anterior, comprende la totalidad de las provincias de Chaco, Formosa, Misiones, Corrientes y Santiago del Estero. Abarca 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.

La Figura 7 resulta de la superposición de las figuras 5 y 6. Está indicando la zona del país donde podrían potencialmente cultivarse estas especies con probabilidad de éxito en condiciones de secano. Al considerar la variedad Cabo Verde de *Jatropha curcas* al igual que las *Jatropha hieronymi* y *macrocarpa*, el área potencial de cultivo se extiende más al oeste, es decir abarcando una mayor superficie en las provincias de la Rioja y Catamarca e incorpora una parte de San Juan.

Para evitar confusiones, debemos considerar que el área que aparece en la Figura 7 como *Jatrophas* autóctonas no es excluyente, eso quiere decir que existe superposición de áreas, superposición con el área de cultivo de *Jatropha curcas*, definida en el mapa.

Para corroborar lo dicho anteriormente, basta con citar las provincias en que han sido reconocidas estas especies. Así, *Jatropha curcas* fue reconocida en Salta, Misiones y Corrientes; *Jatropha hieronymi* en San Juan, La Rioja, Catamarca, Salta, Jujuy y Santiago del Estero; y *Jatropha macrocarpa* en San Juan, La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta, Jujuy y Santiago del Estero, como se señaló en la Tabla 1. No se descarta la posibilidad que puedan ser reconocidas estas especies en otras provincias.

Estas tres especies pueden ser trabajadas a nivel familiar, es decir sin necesidad de contratación de personal, como sucede en países africanos y en algunos sectores de Brasil.

Están comenzando a hacerse plantaciones de índole comercial en Argentina de estas especies autóctonas de *Jatropha*.

Según bibliografia consultada (Riqué et al, 1963) se cita la existencia en forma natural en diversas regiones del noroeste de nuestro país de plantaciones naturales y una muy pequeña plantación con fines ornamentales de *Jatropha macrocarpa*, en el Parque de Crasas y Suculentas CHIRAU MITA, en Chilecito, provincia argentina de La Rioja.

En la región delimitada por la Figura 7, en general no existen industrias ni emprendimientos agroforestales de cierta envergadura, razón por la cual los habitantes de las mismas, en general vive padeciendo problemas de desempleo, lo que los obliga a emigrar a otras ciudades o provincias, o a vivir con altos niveles de indigencia y desnutrición.

La posibilidad de poder concretar estos proyectos agroforestales, con todas las tareas que lleva aparejadas, es decir, la limpieza del terreno, la siembra, los riegos (hasta que se afirmen las plantas en el terreno), el control de insectos, las podas y otras labores culturales, y la posterior cosecha con la consiguiente recolección de frutos y semillas, todas tareas manuales en un principio, se presenta como una gran oportunidad laboral para paliar esta grave situación socio-económica.

Además, en algunos sectores del área potencial de explotación, existen olivares, destinados a la elaboración de aceite. La misma maquinaria de extracción del aceite de olivo podría ser aprovechada para la obtención de aceite de *Jatropha macrocarpa, hieronymi y curcas*.

Figura *3. J. macrocarpa* silvestre en la Rioja.

Figura 4. Plantación ornamental de *Jatropha macrocarpa* en Parque CHIRAU -MITA (La Rioja)

V. Conclusiones

- Se delimitó la zona del país donde podrían potencialmente cultivarse estas especies con probabilidad de éxito en condiciones de secano.

- Al considerar la variedad Cabo Verde de *Jatropha curcas* al igual que las *Jatropha hieronymi* y *macrocarpa*, el área potencial de cultivo se extiende más al oeste, es decir abarcando una mayor superficie en las provincias de la Rioja y Catamarca y agrega parte de la provincia de San Juan.

- El mapa resultante de la Figura 7 es casi idéntico al obtenido por Font (2003) quien graficó la distribución geográfica de las distintas especies de *Jatropha* que fueron reconocidas y descriptas botánicamente en Argentina. Esta figura 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) lo describió como distribución geográfica aproximada.

Proponemos la implantación de estas especies: *Jatropha curcas, hieronymi y macrocarpa* porque:

- Son de fácil propagación por semilla o por estacas.
- Crecen en todo tipo de suelos.
- No tienen ningún agente biótico (insecto, enfermedad o predador) que representen una amenaza total que puedan hacer fracasar al cultivo.
- Pueden sobrevivir largos períodos de sequedad.
- Pueden fructificar en áreas con sólo 200 mm anuales de precipitación.

- Producen frutos después del primer año, se estabiliza en su producción en el quinto año y continúa durante 25-30 años produciendo frutos de buena calidad.
- Producen muchos productos y subproductos que pueden ser aprovechables (insecticidas, molusquicidas, glicerina, tintas y tinturas, purgantes y otros usos medicinales).
- Permiten el intercropping, pudiendo realizarse cultivos hortícolas para consumo familiar o forrajeros para alimentar ganado.
- Genera empleo para mejorar la calidad de vida de los pobladores residentes en la región subhúmeda a semiárida argentina.
- Permitirá emplear maquinaria ociosa gran parte del año que actualmente se utiliza para la extracción de aceite del olivo.

El rendimiento obtenido por hectárea y el porcentaje de aceite de la semilla son factores cruciales determinantes del precio del biodiesel obtenido.

Consideramos que aunque el rinde de estas *Jatropha* sea inferior, creciendo en condiciones de clima subhúmedo a semiárido, la forestación con *Jatropha* 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 manual de los frutos.

El proyecto de las *Jatropha* comienza a tener importancia a nivel local y luego hacerse extensivo a nivel regional y si alcanza la envergadura como para generar combustible para exportar, cobrará importancia a nivel país, compitiendo nuestro país dentro del Mercosur con Brasil. El biodiesel de *Jatropha* podría exportarse a la Comunidad Europea y a Estados Unidos.

Los beneficios de la explotación de cualquiera de las 3 especies serán

- *Económicos*: ya que la región semiárida argentina podrá disponer de nuevos combustibles renovables (cáscara, cascarilla, leña y el aceite vegetal para producir biodiésel), lo que contribuirá en el mejoramiento de la matriz energética, así como posibilitará una mayor diversificación de los combustibles que participan en la economía energética, en especial la biomasa (al aportar nuevos combustibles renovables). Estas materias primas y sus subproductos (residuos) de los procesos industriales (aceites, glicerol, torta, cáscara, etc.) pueden tener otros empleos económicos (insecticidas, abono, alimento animal, y otros), de acuerdo con la factibilidad económica, así como generar empleos, desarrollo de agroindustrias y reducción de las importaciones de combustibles y otras materias primas, y generar nuevos rubros exportables.

- *Sociales*: Puede contribuir a la solución de problemas como la erradicación de la pobreza o al menos bajar los niveles de indigencia y de desnutrición, lo que influye en una elevación de la calidad de vida.
- *Medioambientales*: El desarrollo de un agrosistema en base a plantaciones de *Jatropha curcas, macrocarpa y hieronymi* y el aprovechamiento de su biomasa pueden propiciar un incremento de las áreas boscosas y frenar la deforestación y el sobrepastoreo en los ecosistemas más frágiles, en especial en las regiones semiáridas y secas no aprovechadas por la agricultura tradicional, la regeneración de esos suelos, el incremento de la biodiversidad, la disminución de las emisiones de gases contaminantes, etc.

Los datos que aporta la bibliografía sobre rendimiento de *Jatropha curcas* son muy variables, ya que dependen del clima del lugar, fundamentalmente del aporte hídrico. Si bien Gaydou (1982) reporta un rendimiento de 2100 a 2800 kg de aceite por ha, consideramos que son demasiado altos y que en Argentina podrán obtenerse de 800 a 1600 kg de aceite por hectárea.

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, en un kg de semilla entran 1600-2000 y el rendimiento de aceite por planta es de 400 a 600

gramos. Ellos realizan riego discontinuo y estiman que cada arbusto adulto consume 70 litros de agua por mes.

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.

Rendimientos de *J. hieronymi* se tendrán a finales del verano de 2008, pero suponemos que serán similares.

Dado que la vida útil es de 30 - 50 años y están adaptadas a vivir bajo condiciones de humedad subhúmedas a semiáridas, *Jatropha curcas, macrocarpa e hieronimy* se presentan como cultivos alternativos para esas regiones, ya que el aceite que se pueda obtener no es comestible y se transformaría en biodiesel, no compitiendo por superficie con los oleaginosos tradicionales. Incluso estas especies se las podría utilizar para recuperar suelos erosionados y para producir biodiesel bajo condiciones de clima húmedo.

VI. Consideraciones finales

Es obvio que la producción final, se verá influída por varios factores entre los que se destacan, las condiciones ambientales, temperaturas medias mensuales y extremas,

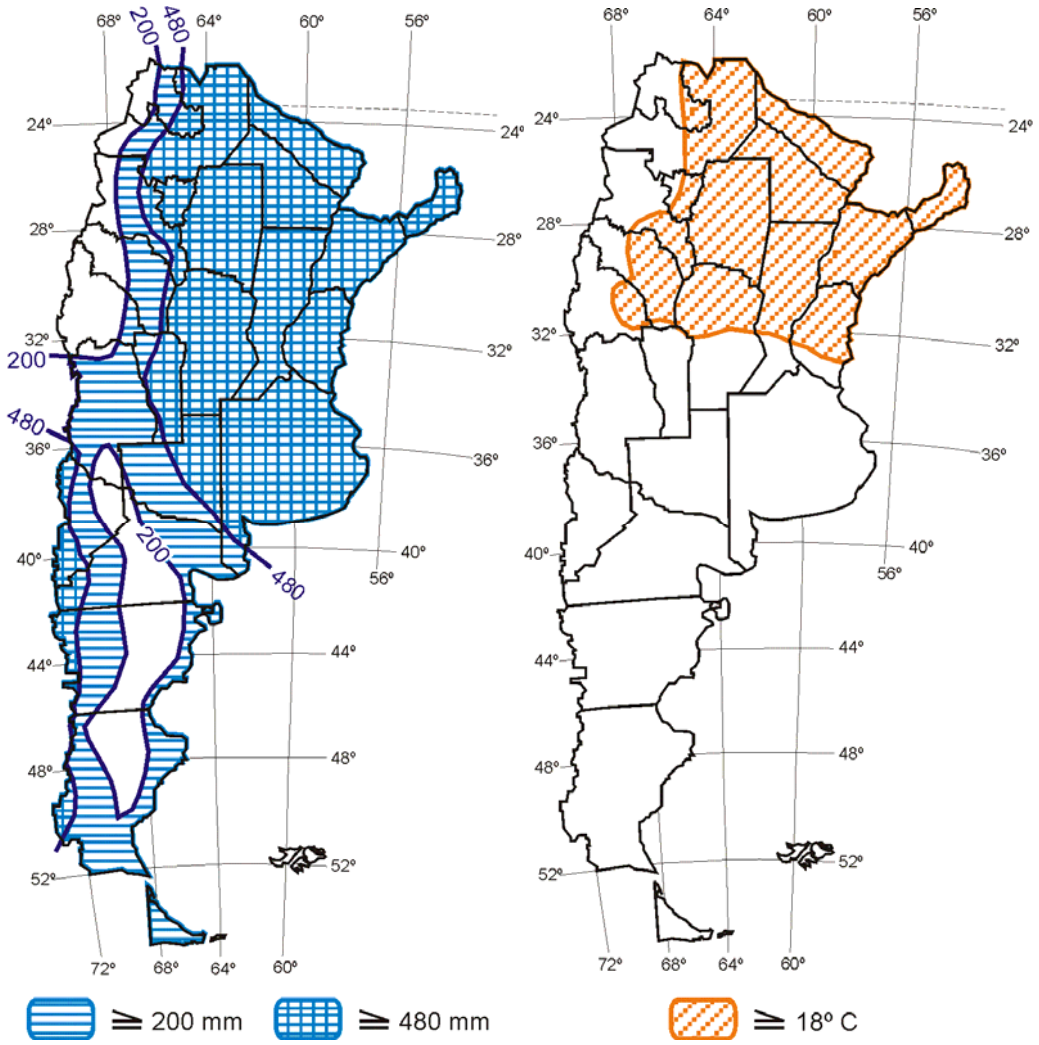

Figura 5. Límites hídricos

Figura 6. Límite térmico

régimen de lluvias y variabilidad, calidad de suelos, labores culturales, riego artificial, uso de insecticidas, plaguicidas y fertilizantes, etc.

Considerando el alto costo que demandará la importación de hidrocarburos, el alto nivel de desocupación existente en el país, la necesidad de reforestación, la gran cantidad de tierras disponibles semiáridas y desertizadas por la tala indiscriminada de bosques y el sobrepastoreo, resulta de vital importancia el desarrollo de una alternativa de fuente energética como los cultivos de *Jatropha* para la extracción de aceite y su procesamiento a biodiesel, ampliando el nivel de ocupación para el nivel rural y la mejora en el ingreso de los agricultores involucrados (Falasca et al, 2006).

Hemos delimitado el área de explotación de estas 3 especies, pero resulta indispensable llevar a cabo mayores investigaciones para generar indicadores de sostenibilidad y productividad antes realizar plantaciones a gran escala.

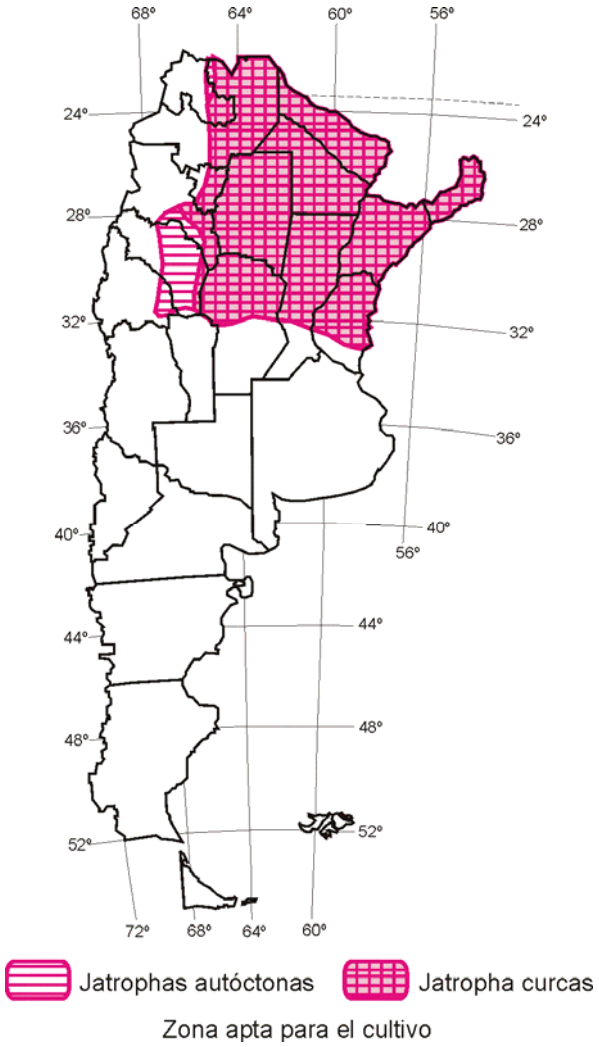

Figura 7. Agroclima de Jatropha curcas, hieronymi y macrocarpa

También haría falta un programa de mejoramiento genético para el desarrollo de cultivares adaptados a las condiciones de cada región, validar un sistema de producción, forma de propagación (semillas, estacas, plantines), densidad de plantación, fertilización, podas.

Además, se precisa investigar sobre la incidencia y severidad de plagas y enfermedades, trabajar sobre sistemas de cosecha y posibilidad de mecanización.

El costo de producción de estos aceites vegetales es inferior al precio internacional del aceite de soja, el aceite tributa el 32% de retenciones (a diciembre de 2007) y el biodiesel sólo el 5% con un 2.5% de reintegro, por lo tanto, forestar con estas especies en los sectores semiáridos de Argentina, resulta una inversión atractiva y de inmediata posibilidad de concreción. A estos beneficios habrá que sumarles los sociales y ambientales, como se expresó en un párrafo anterior.

Para concluir, se presentan a continuación algunas fotografías argentinas de las tres especies analizadas.

Figura 8. Semillas de *Jatropha curcas y J. macrocarpa*

Figura 9. *Jatropha hieronymi*

Referencias

Becker, B and Nair, P.K. 2004. Cultivation of medicinal plants in an Alley Cropping System with *Moringa Oleifera* in the united states Virgin Islands. 1st World Congress of Agroforesty. Orlando, Florida, USA.

Bodner, C.C. and Gerau Roy, E.1988. A contribution to Bontoc ethnobotaniy. Economic Botany. 42(3):307-369.

Both, F. and Wickena, G.E. 1988. Non-timber uses of selected arid zone trees and srubs in Africa. FAO Conservation Guide 19. Rome: Food and Agriculture Organization. 176 pp.

Dahot, M.U.1988. Vitamin contents of the flowers of *Moringa oleifera.* Pakistan Journal of Biochemistry. 21 (1-2): 21-24.

Dastur, J.F. 1964. Useful plants of India and Pakistan. Bombay: D.B. Taraporebala Sons and Co. 185 pp.

Duke, J.A. 1983. Handbook of Energy Crops. (unpublished).

Foidl, N ; Mayorga, L y Cásquez, W. 2003. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".

Folkard, G. and Sutherland, J. 1996. *Moringa oleifera*. Agroferesty Today. 8(3): 5-8.

Food and Agricultural Organization. 1982. Fruit-bearing forest trees: technical notes. FAO. Pap. 34 Rome: Food and Agriculture Organization. 177 pp.

Francis, J.K. and Liogier, H.A. 1991. Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-82. New Orleans, La: U.S Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 12 pp.

Gopalan, C.; Rama Sastri; B.V. and Balasubramanian. 1971. Nutritive value of Indian foods. Hyderabad, India (National Institute of Nutrition). Revised and updated by B.S. Narasinga Rao; Y.G. Deosthale and K.C. Pant, 1989).

Jahn, S; Musnad, H. and Burgstaller, H. 1986. The tree that purifies water: cultivating multipropose Moringaceae in the Sudan. Unasylva. 38(2): 23-28.

Jothi, P.V; Atlura, J.B and Reddi, C.S. 1990. Pollination ecology of *Moringa oleifera* (Moringaceae). Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Plant Sciences. 100 (1): 33-42.

Köeppen, W. 1918. A Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag and Jahreslauf. *Petermanns Geogr*. *Mitt*. 64:193-203.

Little, E. L; Wadsworth, F.H. 1964. Common trees of Puerto Rico and Virgin Islands. Agric. Handb. 249. Washington, D.C: US. Department of Agriculture. 548 pp.

Lizzy, K.S; Narashima Rao, P.L. and Puttaswamy, T.L. 1968. Chemotherapy of bacterial infections. Part 4: Potential anticholera agents. Indian Journal of experimental Biologgy. 6 (3): 168-169.

Mahajan, S and Sharma, Y.K. 1984. Production of rayon grade pulp from *Moringa oleifera*. Indian Forester. 110(3): 303-306.

Mohammed, A.S; Lai, O.M; Muhammad, S.K.S; Long, K. and Ghazali, H.M. 2003. Moringa oleifera, Potentially a New Source of Oleic Acyd-type oil for Malaysia. Investing in Innovation. V3. Bioscience and Biotechnology. Universiti Putra Malaysia. 137-140.

Morton, J.F.1991. The horseradish tree, *Moringa pterigosperma* (Moringaceae) A bon to arid lands? Economic Botany. 45 (3) 318-333.

Nasir; E; Ali, S.I. eds. 1972. Flora of West Pakistan: an annotaded catalogue of the vascular plants of West Pakistan and Kashmir Karachy, Pakistan: Fakhri Printing Press.1028 pp.

Nautiyal, B.P and Venhataraman, K.G. 1987. Moringa an ideal tree for social forestry. 1: Growing conditions and uses. Myforest. 23 (1): 53-58.

Parrota, J. 2003. *Moringa oleifera* Lam. Resedá, horseradish tree. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA: US. Department of Agricultural. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 pp.

Ramanchandran, C; Peter, K.V; and Gopalakrishman, P.K. 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*) a multiporpose Indian vegetable . Economic Botany, 34 (3) 276-283.

Serra, T.M; da Silva, J. P; dos Santos, I. C, Meneghetti, M; Meneghetti, S.M; Wolf, C; e Gossmann, M. 2007. Obtençao do Biodiesel metílico a partir de óleo de Moringa oleifera em presença de catalisador básico e ácido. Anais. 30 º Reuniao Anual da Sociedae Brasileira de Quimica.

Sharma, G.K. and Rains; V. 1982. Propagation techniques of *Moringa oleifera* Lam: En: Khosia, P.K, ed. Improvement of forest biomass: Proceedings of a Symposium. Solan, India. Indian Society of Tree Scientist: 175-181.

Singh, U; Wadhwani, A.M; and Johri, B.M. 1983. Dictionary of economic plants in India. 2 ed . New Delhi: Indian Council of Agricultural Research. 288 pp.

Sutherland, J.P; Folkard, G.K; and Grant, W.D. 1989. Seeds of moringa species as naturally occurring flocculants for water treatment. Science, Technology and Development. 7 (13) 191-197.

Szolnoki, T.W.1985. Food and fruit trees of the Gambia. Hamburg, Germany: Bundesforschungsanstalt fur Forstund Holzwirtschaft. 132 pp.

Troup, R.S. 1921. The silviculture of Indian trees. Oxford, UK: Clarendon Press. 1195 pp. 3 vol.

Verma, A.N and Khurana, A.D. 1974. Further host records of Indarbela sp (Lepidoptera: Matarbelidae). Harayana Agricultural University Journal and Research. 4(3) 253-254.

Verma, C.S. 1973. Studies on the factors affecting seed germination of Moringa. Plant Science. 45 (21): 769-770.

Vivien, J. 1990. Wild fruit trees of Cameroon. Fruits (Paris) 45 (2): 149- 160.