



SEMINARIO TALLER INTERNACIONAL

ESPACIOS PARA LA BIOENERGÍA EN CHILE

23 de Agosto de 2012
Coyhaique, Región de Aysén,
Patagonia, Chile

EDITOR
CHRISTIAN HEPP K.

COYHAIQUE, CHILE, SEPTIEMBRE DE 2012

ISSN 0717-4818

SERIE ACTAS INIA N° 47

Editor: Christian Hepp Kuschel
Ingeniero Agrónomo MPhil PhD
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
INIA Tamel Aike
e-mail: chepp@inia.cl

Coordinación seminario: María Paz Martínez y Verónica González

Representante legal: Hernán Felipe Elizalde Valenzuela, Director (I) INIA-Tamel Aike

ACTA N° 47

Hepp, C., 2012. Espacios para la Bioenergía en Chile. Seminario Internacional.
23 de agosto 2012, Coyhaique, Patagonia, Chile. Acta INIA N° 47 67 p.

ISSN 0717 -4818

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTA OBRA SIN PERMISO DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, MINISTERIO DE AGRICULTURA, CHILE.

Diseño y diagramación	:	Felipe Geoffroy Mansilla
Diseño portada	:	C.Hepp
Impresión	:	Imprenta América Ltda.
Cantidad de ejemplares	:	200

ÍNDICE

SUSTAINABLE BIOMASS POTENTIALS FOR FOOD-FEED-FUELS IN THE FUTURE <i>Jens Bo Holm-Nielsen & Simas Kirchovas</i> <i>Head of Centre for Bioenergy and Green Engineering, Department of Energy Technology</i> <i>Aalborg University, Dinamarca</i>	3
EXPERIENCIA Y POTENCIALES DE ESPECIES FORESTALES PARA PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA EN CHILE <i>Juan Carlos Pinilla, Mauricio Navarrete y María Paz Molina</i> <i>Instituto Forestal, Chile</i>	15
UTILIZACION COMBINADA DE CULTIVOS FORRAJEROS CON FINES PECUARIOS Y ENERGÉTICOS: UN MODELO DE ESCALA LOCAL <i>Christian Hepp, Daniel Cross, Pier Barattini y Noé Carrillo</i> <i>Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA – Chile</i> <i>Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Aysén, Patagonia</i>	31
EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA MEDIANTE LA ADAPTACIÓN Y VALIDACIÓN DE JATROPHA EN CHILE <i>Manuel Paneque</i> <i>Laboratorio Bioenergía y Biotecnología Ambiental</i> <i>Facultad de Ciencias. Agronómicas. Universidad de Chile, Santiago, Chile</i>	49
PLAN DE ACCIÓN PARA LAS BIOENERGÍAS EN CHILE <i>Verónica Martínez y Viviana Huerta</i> <i>Centro de Energías Renovables (Corfo, Chile)</i>	57

EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA MEDIANTE LA ADAPTACIÓN Y VALIDACIÓN DE JATROPHA EN CHILE

Manuel Paneque

Laboratorio Bioenergía y Biotecnología Ambiental

Facultad de Ciencias. Agronómicas. Universidad de Chile, Santiago, Chile

mpaneque@uchile.cl

RESUMEN

Chile necesita diversificar su matriz energética, tanto por razones ambientales como estratégicas, entre las opciones posibles, el área de los biocombustibles representa una oportunidad de revalorizar sectores agrícolas actualmente deprimidos, especialmente en la zona norte del país. Estos nuevos sistemas deberán responder a los requerimientos que tendrá la nueva industria energética: ser compatibles con los objetivos ambientales del país e idealmente aprovechar agro-ecosistemas actualmente degradados o subutilizados. La producción de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas*, está llamado a ser la nueva alternativa energética. Para ello se establecieron parcelas experimentales ubicadas en diferentes condiciones agroclimáticas, entre la II y VIII Región. Se evaluó adaptabilidad del cultivo y comportamiento de materia genético salvaje de semillas de jatropha no toxica, durante dos años, lo que permitió la selección de ecotipos adaptados a diferentes condiciones agroclimáticas. La Región de Ovale es la de mejor actitud agroclimática, mientras que la Región de Antofagasta se perfila como el territorio con mayor disponibilidad de tierras para cultivar la oleaginosa.

INTRODUCCIÓN

Jatropha curcas L. es considerada una materia prima de gran potencial para la producción de bioenergía, pero faltan conocimientos básicos referente a la tecnología agronómica e industrial. A pesar de eso, hay registros de más de 41 proyectos sobre *Jatropha* en América Latina, 97 en África, y 104 en Asia, componiendo una considerable área ya plantada con cultivos, estimados en cerca de 5 millones de hectáreas. La industria mundial de la *Jatropha* está dominada por el apoyo de programas de gobiernos y un pequeño número por transnacionales de capital privado. Sin embargo, se observa una tendencia de las principales compañías petroleras y los conglomerados de la energía entrar en el campo con planes de inversiones a gran escala.

El esfuerzo del gobierno de Chile en el tema de la *Jatropha* contempla el financiamiento de programas de investigación para la introducción y adaptación del cultivo. El Programa *Jatropha* que desarrolla la Universidad de Chile pretende además, de la selección de clones elites, la identificación de la base genética, y definición de tecnología agronómica, la valorización de sus residuos y co-productos.

La estrategia utilizada para la obtención de esos resultados está centrada en las acciones que están siendo desarrolladas y que se resumen en (a) ampliación adecuada de la red de investigación y desarrollo, considerando socios estratégicos de la red pública y privada; (b) alineamiento a políticas públicas, con soporte de resultados de investigación y desarrollo; (c) acuerdos de cooperación público-privado, en investigación técnico-científica y en arreglos productivos sostenibles.

CARACTERÍSTICAS Y POTENCIAL DE LA JATROPHA

Jatropha curcas L. es una especie perenne, monoica y que pertenece a la familia de las Euforbiáceas, la misma del higuera (*Ricinus communis*), yuca (*Manihot esculenta*) y caucho (*Hevea brasiliensis*). Se cree que la *Jatropha* es originaria de América Central (Schultes, 1987; Pascual y Correal, 1992).

Es un arbusto de crecimiento rápido, caducifolio -según la latitud donde se encuentre la plantación-, puede alcanzar más de 5 m de altura. Los frutos son del tipo cápsula ovoide, con 1,5 a 3,0 cm de diámetro, trilobular, conteniendo generalmente 3 semillas, siendo una semilla por lóculo (Dehgan y Webster, 1979; Singh *et al.*, 2006;). Las semillas tienen de 1,5 a 2,0 cm de largo y de 1 a 1,3 cm de ancho, presentan una proporción de aceite que varía entre un 33 y 38%, y representa entre 53 a 79% del peso del fruto (Saturnino *et al.*, 2005; Peixoto, 1973).

Cuando es plantada en el principio de la estación lluviosa, la *Jatropha* inicia la producción de frutos el primer año de cultivo, aunque alcanza su clímax productivo a partir del 4º año, con capacidad productiva potencial de más de 40 años. De acuerdo con informaciones más actuales, la planta produce, en promedio, 100, 500, 2.000 y 4.000 g/planta de semillas en el 1º, 2º, 3º y 4º año de cultivo, respectivamente (Tominaga *et al.*, 2007). Dependiendo de la distancia de plantación, la productividad puede pasar de los 6.000 kg/ha de semillas por cosecha. Con esta productividad es posible producir más de 2.000 kg/ha de aceite. Sin embargo, con el mejoramiento genético y el perfeccionamiento del sistema de producción, se cree que el *Jatropha* puede producir por encima de 4.000 kg/ha de aceite.

La adopción del *Jatropha* como un cultivo potencial para producción de bioenergía se debe a algunas peculiaridades del cultivo, tales como: elevado potencial de rendimiento de semillas; cultivo perenne, no necesitando renovación anual de las plantaciones; cultivo no utilizado para alimentación, no presentando competencia con la agricultura de alimentos; los espaciamientos permiten la producción de cultivos intercalares en la fase inicial de establecimiento, permitiendo la producción de energía y alimentos en una misma área; opción potencialmente interesante para agricultura familiar; posibilidad de diversificación de las actividades agrícolas tradicionales en algunas regiones, siendo además de una alternativa de renta; un cultivo poco mecanizable y altamente dependiente de mano de obra, generando empleo en el campo.

PROBLEMAS Y RIESGOS DE LA JATROPHA

A pesar de ser considerada una planta rústica, adaptada a las condiciones edafoclimáticas marginales, la *Jatropha* necesita de aplicación de tecnologías de cultivo (abonos, control de plagas y enfermedades, prácticas de manejo, etc.) para presentar niveles económicos de producción de frutos. La planta tolera condiciones de cultivo con bajo nivel tecnológico pero, en este caso, la productividad es baja, lo que puede inviabilizar económicamente su cultivo. En Chile aun no existen plantaciones comerciales, no conociéndose la real perspectiva de producción al cultivo. A pesar de la carencia de informaciones técnicas básicas, los cultivos vienen siendo difundidos e implementados en diversas regiones del país.

Los materiales de *Jatropha* plantados son genéticamente desconocidos, no existiendo aún cultivares mejorados sobre los cuales se tengan informaciones y garantías del potencial de producción, en las diversas regiones. Los sistemas de producción aún no están validados para las diversas regiones con potencial de producción, necesitándose información sobre producción de semillas, sistemas de propagación, densidades de plantaciones, sistemas de podas de formación y mantenimiento, nutrición mineral y abono y manejo de los cultivos. *Jatropha* es particularmente susceptible a plagas y enfermedades y se carece de estrategias eficaces de manejo y control fitosanitario. La maduración de frutos es desuniforme, siendo necesario más de 4 cosechas anuales, lo que aumenta el coste de producción. Aún no se dispone de índices técnicos confiables y de estudios de la viabilidad económica del cultivo de la *Jatropha* para atender el mercado de biodiesel a corto, medio y largo plazo.

PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

Hay una significativa oleada de utilización del *Jatropha* como materia prima para producción de bioenergía, en Chile y en el mundo. Se destaca como una oleaginosa promisoría para las regiones centro-norte de Chile, con perspectivas de presentar alta producción de semillas y aceite por unidad de área, siendo necesario acelerar al máximo la formación de un consenso técnico-científico y empresarial acerca del cultivo.

El gobierno de Chile ha financiado tres proyectos para la ejecución de acciones de investigación con el

propósito de desarrollar y validar tecnologías de cultivo de la *Jatropha*, en lo que se refiere a producción de semillas y podas, nutrición mineral, espaciamientos, control de plagas y enfermedades y manejo de los cultivos. Dos de estos proyectos son de carácter regional y fueron ejecutados por la Universidad de Tarapacá (XV Región) y el INIA-Centro Regional Intihuasi (IV Región), y uno de carácter nacional desarrollado por la Universidad de Chile (entre la II y VIII Región).



Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales de *Jatropha curcas* en Chile, e imágenes del estado de las plantas en las distintas parcelas.

La Universidad de Chile trabaja en una colección base de germoplasma de *Jatropha*, con accesos de clones elites originarios de diversos países, e incluye genotipos tóxicos y no tóxicos. También, desarrolla acciones para dar soporte técnico-científico a la caracterización botánica y molecular de especies y cultivares de *Jatropha spp.*, y acortar la obtención de una genética mejorada. La colección caracterizada y normalizada servirá de base para los programas de mejoramiento genético de los cultivos en Chile. En este sentido se trabaja en técnicas para la propagación *in vitro*, mejoramiento genético tradicional y no tradicional e hibridación intraespecífica del género *Jatropha*.

Siendo la *Jatropha* un cultivo perenne, se estima que serán necesarios entre 3 a 5 años para que se tengan los primeros cultivares mejorados e informaciones basadas científicamente sobre el sistema de producción de los cultivos para las diversas regiones de Chile donde es un potencial cultivo comercial. Parte considerable de este esfuerzo de caracterización fenotípica servirá también para sostener una estrategia genómica, como medida auxiliar del programa de mejoramiento asistido por marcadores moleculares.

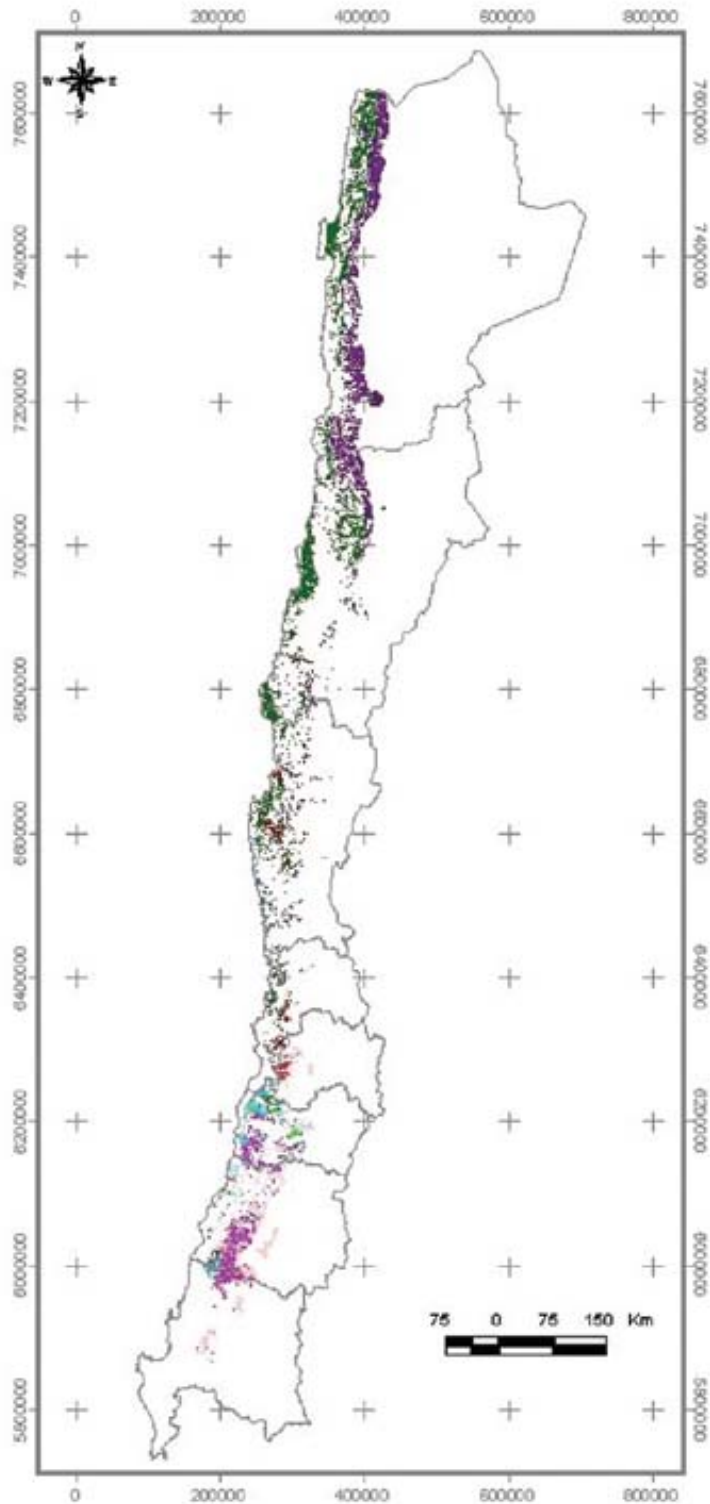


Figura 2. Zonas potenciales para el cultivo de *Jatropha curcas* en Chile.

La Universidad de Chile se ha involucrado, estimulado y participado de la formación de redes de instituciones y del desarrollo de proyectos de investigación, entendiendo que en esta forma de actuación se encuentran oportunidades que permiten perfeccionar y potencializar la capacidad de generación del conocimiento técnico y científico de forma organizada.

ZONIFICACIÓN DE JATROPHA EN CHILE

Para la zonificación agroclimática de jatropha en Chile, entre las regiones de Antofagasta y del Biobío, se utilizó la metodología establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 1997) y se consideraron variables climáticas, edáficas y de usos de suelo para evaluar los territorios que presentan mayores posibilidades para la producción. Entre las variables consideradas críticas para la adaptación y desarrollo se jatropha, se trabajó con los días-grados, temperatura media del mes más frío y más cálido, precipitación media mensual y evapotranspiración potencial (Labra, 2009; Vásquez, 2009). Los resultados (Figura 2) demuestran que en total 2.833.984 ha están disponibles para la producción de jatropha, de éstas 1.318.906 (46,5%) son territorios evaluados como muy aptos para su adaptación, considerando restricciones térmicas, hídricas y usos de suelo, 240.023 (8,5%) como aptas y 1.275.055 (45%) como marginales (Labra, 2009; Vásquez, 2009).

Las regiones de la zona norte (Antofagasta, Atacama y Coquimbo) cuentan con la mayor cantidad de tierra disponible, y muy apta para la producción de jatropha, con 1.230.724 ha en conjunto (Cuadro 1). Así como, la región de Antofagasta es la que posee mayor cantidad de ha a disposición para el cultivo de jatropha, con 1.163.146 ha, aunque el 54% es catalogada como marginales.

Sin embargo, las regiones Metropolitana y del Biobío son las que poseen menor cantidad de tierra habilitada para la producción de jatropha, en conjunto ambas regiones sólo disponen de 99.140 ha (Cuadro 1). Inclusive en la región del Biobío no existen territorios considerados como muy aptos, y sólo 10.366 ha están categorizadas como aptas. La región Metropolitana, a pesar de tener menor cantidad de tierra disponible, existen tierras catalogadas como muy aptas y aptas, siendo más factible la producción que en la región del Biobío.

POTENCIAL DE EXPANSIÓN DEL CULTIVO

Según proyecciones de la Comisión Nacional de Energía, Chile requerirá de 10.890.000 m³ de diesel al año 2019 para suplir la creciente demanda energética del país (CNE, 2009). Debido a este aumento en el consumo se ha hecho necesario buscar alternativas que permitan disminuir la dependencia energética de Chile de las importaciones de los combustibles fósiles, se importa alrededor de 98% de petróleo diesel y 60% del gas natural (CNE, 2010).

Regiones	Categoría			Total
	Muy Apta	Apta	Marginal	
Antofagasta	502.515	30.268	630.363	1.163.146
Atacama	497.514	6.051	206.480	710.045
Coquimbo	230.695	38.269	33.403	302.367
Valparaíso	38.107	31.077	10.462	79.646
Metropolitana	3.373	22.256	10.660	36.289
O'Higgins	39.975	55.601	153.692	249.268
Maule	6.727	46.135	177.510	230.372
Biobío	0	10.366	52.485	62.851
Total	1.318.906	240.023	1.275.055	2.833.984

Cuadro 1. Estimación de la superficie (ha) que presenta niveles de aptitud climática (hídricas y climáticas) para el establecimiento del cultivo de Jatropha entre las regiones de Antofagasta y Biobío (Labra, 2009; Vásquez, 2009).

En Chile no existe ninguna normativa que obligue el uso de diesel en mezcla con biodiesel, aunque durante el año 2008 el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción publicó el decreto N° 11 donde se autoriza la mezcla de diesel con 2 y 5%, pero no es vinculante, por lo que sigue siendo una alternativa a la demanda por combustibles.

Jatropha se presenta como una alternativa real para la producción de semillas para aceite, el que es susceptible de transformarse en biodiesel. Las semillas de *jatropha* poseen entre 28 y 50% de aceite en su composición (Pramanik, 2003; Román *et al.*, 2009), el que tiene una densidad de 0,933 g cm⁻³ (Pramanik, 2003). En la actualidad no existen variedades para cultivos, por lo que se emplean ecotipos silvestres en su producción (Achten *et al.*, 2008). Al utilizar ecotipos silvestres, es muy variable la productividad que puede alcanzar, la que oscila entre 2 y 4 kg semillas árbol⁻¹ (Gour, 2006), o 12.000 kg semillas ha⁻¹ año⁻¹ (Openshaw, 2000; Achten *et al.*, 2008). Las densidades de plantación más comunes oscilan entre 1.100 y 3.300 árboles ha⁻¹ (Openshaw, 2000; Román *et al.*, 2009).

Considerando las características de productividad que posee *jatropha* y los porcentajes de sustitución más comunes -de diesel por biodiésel (2, 5 y 10%), se confeccionaron diferentes escenarios, donde se mezclan el contenido de aceite, la productividad -por árbol- y la densidad de plantación, de esta manera se obtuvo cuatro escenarios diferentes (Cuadro 2).

Al ser *jatropha* una especie sin cultivares, es difícil estimar las productividades que puede alcanzar, en el Cuadro 2, se observa la demanda de tierra que sería necesaria para abastecer la demanda proyectada de diesel desde el año 2012 hasta el 2019 en Chile. Al evaluar una sustitución del 2%, y en el peor escenario posible (2 kg de semillas y 28% de aceite) se requerirán 101.034 ha para suplir el 2% de demanda, según el Cuadro 1, en Chile no habrían inconvenientes para abastecer esta demanda, ya que el total de tierras disponible supera con creces la cantidad necesaria de tierra para lograr ese porcentaje de sustitución. Con el escenario más favorable (4 kg de semillas y 50% de aceite) se podría sin inconvenientes emplear sólo la tierra disponible en la región Metropolitana, ya que serán necesarias 28.289 ha, mientras que habrían 36.289 ha disponibles, claro serían tierras catalogadas como muy aptas, aptas y marginales.

2500 árboles 2 kg de semillas						
Año	28% aceite			50% aceite		
	2%	5%	10%	2%	5%	10%
2012	101.034	252.585	505.169	56.579	141.447	282.895
2013	106.382	265.954	531.909	59.574	148.934	297.869
2014	111.354	278.386	556.772	62.358	155.896	311.792
2015	117.227	293.067	586.135	65.647	164.118	328.235
2016	123.745	309.363	618.727	69.297	173.243	346.487
2017	130.469	326.173	652.347	73.063	182.657	365.314
2018	137.624	344.060	688.120	77.069	192.674	385.347
2019	145.180	362.949	725.898	81.301	203.251	406.503
2500 árboles 4 kg de semillas						
Año	28% aceite			50% aceite		
	2%	5%	10%	2%	5%	10%
2012	50.517	126.292	252.585	28.289	70.724	141.447
2013	53.191	132.977	265.954	29.787	74.467	148.934
2014	55.677	139.193	278.386	31.179	77.948	155.896
2015	58.613	146.534	293.067	32.824	82.059	164.118
2016	61.873	154.682	309.363	34.649	86.622	173.243
2017	65.235	163.087	326.173	36.531	91.329	182.657
2018	68.812	172.030	344.060	38.535	96.337	192.674
2019	72.590	181.474	362.949	40.650	101.626	203.251

Cuadro 2. Demanda proyectada de tierra para suplir la demanda proyectada de diesel, considerando 2, 5 y 10% de sustitución y una densidad de plantación de 2.500 árboles ha⁻¹ (Roman et al 2012).

De todos modos, además de evaluar el territorio disponible para la producción de biodiesel, también es necesario evaluar el lugar donde se produce, ya que lo más conveniente es que la biorefinería sea abastecida por materias primas que se no se encuentren a más de 80 km a la redonda (Ekşioğlu *et al.*, 2009; Luo *et al.*, 2010), por lo que sería imprescindible la producción a nivel regional de biodiesel.

CONCLUSIONES

Chile dispone de áreas con aptitud agroclimática que favorecen el desarrollo y producción de la *Jatropha*. El mejoramiento genético y la domesticación de *Jatropha* la convertirá en un proyecto económicamente viable. Por su impacto ambiental positivo, *Jatropha* se transformará en un proyecto sostenible. El crecimiento del mercado global de biodiesel y de biocombustibles es seguro.

BIBLIOGRAFIA

Schultes, R.E. 1987. *Botanical Journal of the Linnean Society* 94(1-2): 79-95.

Labra, F. 2009. Zonificación agroecológica preliminar para el establecimiento de áreas potenciales de cultivo de *Jatropha curcas* L. con fines bioenergéticos entre las regiones de Antofagasta y Valparaíso. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 138 pp. Tutor: Manuel Paneque y Andrés de la Fuente

Pascual, M.J. y E. Correal. 1992. La familia Euphorbiaceae como fuente de aceites vegetales para la industria tecnquímica. *Grasas y Aceites* 43(1): 39-44.

Dehgan, B. y G.L. Webster. 1979. Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). Volume 74. University of California Press, United States. 73 pp.

Singh, L., S.S. Bargali y S.L. Swamy. 2006. Production practices and post-harvest management in *Jatropha*. Pp. 252-267. *In*: B. Singh, R. Swaminathan y V. Ponraj (eds). Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence – focus on *Jatropha*. Rashtrapati Nilayam, Hyderabad, India, June 9-10, 2006. New Delhi, India.