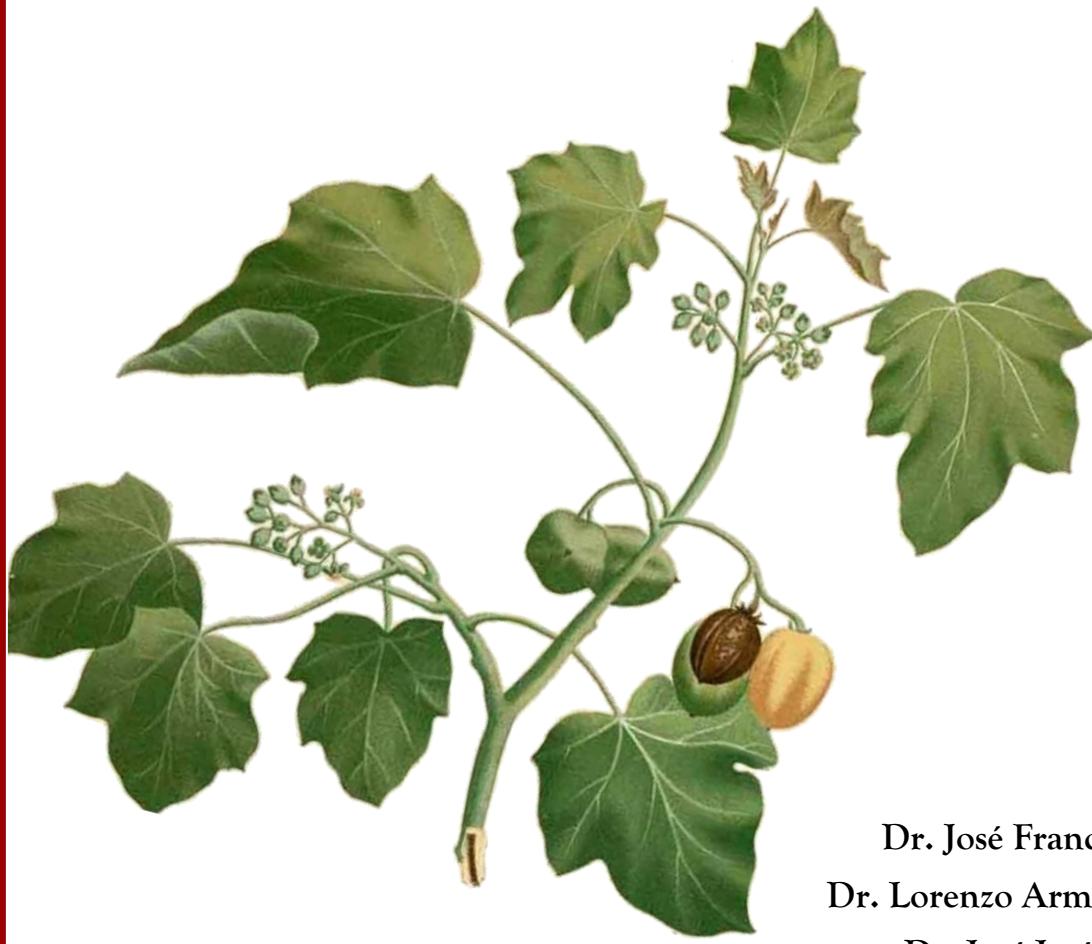




SDR

**ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA
POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE JATROFA O PIÑÓN
(*Jatropha curcas L.*) EN EL ESTADO DE CAMPECHE**



Dr. José Francisco Juárez López

Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro

Dr. José Jesús Obrador Olán

M.C. Rigoberto González Mancillas

M.C. Nubia Nitzel Torres Rosas

Ing. Matías Hernández Gómez



Campus Tabasco

Jatropha Curcas L.



**ESTUDIO PARA DETERMINAR ZONAS DE ALTA
POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE JATROFA O PIÑÓN
(*Jatropha curcas*L.) EN EL ESTADO DE CAMPECHE**



GOBIERNO DEL ESTADO DE CAMPECHE

DIRECTORIO

LIC. FERNANDO EUTIMIO ORTEGA BERNÉS
Gobernador Constitucional del Estado de Campeche

LIC. JORGE HUMBERTO SHIELDS RICHAUD
Secretario de Coordinación

LIC. MARÍA LUISA SAHAGÚN ARCILA
**Secretaria de Administración e Innovación
Gubernamental**

DR. EVERARDO ACEVES NAVARRO
Secretario de Desarrollo Rural

ARQ. MARIO HURTADO ESCALANTE
Responsable de la Unidad de Inversión

MC. CÉSAR BARRIOS PACHECO
**Coordinador Ejecutivo y Apoderado Legal
de FIDESUR**



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

DIRECTORIO

Dr. JESÚS MONCADA DE LA FUENTE
Director General

Dr. RAÚL GERARDO OBANDO RODRÍGUEZ
Secretario Académico

Lic. ROLANDO RAMOS ESCOBAR
Secretario Administrativo

Dr. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ
Director de Educación

Dr. JUAN ANTONIO VILLANUEVA JIMÉNEZ
Director de Investigación

Dr. MIGUEL CABALLERO DELOYA
Director de Vinculación

CAMPUS TABASCO

DIRECTORIO

Dr. CARLOS FREDYORTIZ GARCÍA
Director

DR. CÉSAR JESÚS VÁZQUEZ NAVARRETE
Subdirector de Educación

DR. ÁNGEL MARTÍNEZ BECERRA
Subdirector de Investigación

DR. JOSÉ FRANCISCO JUÁREZ LÓPEZ
Subdirector de Vinculación

CPA. MARÍA GABRIELA MARTÍNEZ QUINTANA
Subdirectora de Administración



CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS	2
III.	ORIGEN DE LA JATROFA.....	3
IV.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA JATROFA.....	4
V.	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA JATROFA	6
5.1	Raíz	7
5.2	Tallo.....	7
5.3	Hojas	7
5.4	Flores.....	8
5.5	Frutos y semillas.....	8
5.6	Material genético y variedades de jatrofa	9
VI.	PRODUCCIÓN DE JATROFA A NIVEL MUNDIAL.....	11
VII.	PRODUCCIÓN DE JATROFA A NIVEL NACIONAL	12
VIII.	REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE JATROFA.....	15
IX.	REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS DEL CULTIVO DE JATROFA.....	16
X.	TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE JATROFA.....	17
10.1	Propagación y establecimiento del cultivo	17
10.2	Siembra	19
10.3	Intercalado de cultivos.....	20
10.4	Mantenimiento del cultivo	21



10.5	Nutrición	22
10.6	Requerimientos de agua.....	23
10.7	Plagas y enfermedades	23
10.8	Rendimientos.....	24
XI.	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA JATROFA	26
XII.	MERCADO DE LA JATROFA.....	28
XIII.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA.....	30
XIV.	SELECCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE JATROFA (<i>Jatropha curcas L.</i>).....	32
14.1	Inventario climático	33
14.1.1	División climática	33
14.1.2	Período de crecimiento	33
14.2	Inventario edafológico.....	34
14.2.1	División edafológica.....	34
14.3	Fuentes de información	34
14.3.1	Información climática	34
14.3.2	Información edafológica.....	35
14.3.3	Información cartográfica	35
XV.	ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE JATROFA	35
XVI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
XVII.	CONCLUSIONES.....	43
XVIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
XIX.	ANEXOS	56



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características físicas y composición química de las semillas de jatrofa (<i>J. curcas</i> L.) provenientes de diferentes regiones de México.....	10
Cuadro 2.	Requerimientos agroclimáticos óptimos y absolutos para el desarrollo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.).....	15
Cuadro 3.	Requerimientos edafológicos óptimos y absolutos para el desarrollo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.).....	16
Cuadro 4.	Ventajas y desventajas de los métodos de propagación de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.).	18
Cuadro 5.	Escala de la actividad comerciales del cultivo de la jatrofa a nivel mundial.	28
Cuadro 6.	Variables seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.) en el estado de Campeche.....	32
Cuadro 7.	Superficie con potencial agroclimático, edafológico y edafoclimático para el cultivo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L) en el estado de Campeche.	40
Cuadro 8.	Superficie (ha) de las subunidades de suelos con potencial para el cultivo jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.) en el estado de Campeche.....	41
Cuadro 9.	Superficie (ha) con alto potencial edafoclimático para el cultivo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.) en los distintos municipios del estado de Campeche	42
Cuadro 10.	Rendimiento potencial (t ha ⁻¹) estimado para el cultivo jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.) en los municipios del estado de Campeche.....	43



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas con condiciones climáticas favorables para el crecimiento de la <i>Jatropha curcas</i> L. (30°N, 35°S).....	3
Figura 2. Componentes de la jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.): [a] rama en floración, [b] corteza, [c] venas de la hoja, [d] flores pistiladas (macho), [e] flores estaminadas (hembra), [f] corte transversal de la fruta inmadura, [g] frutas, [h] corte longitudinal de los frutos, [i] semillaha	6
Figura 3. Producción y países productores de jatrofa en el mundo.....	11
Figura 4. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.).....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Campeche.	56
Anexo 2. Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de jatrofa, (<i>Jatropha curcas</i> L).....	58
Anexo 3. Requerimientos Edafológicos del cultivo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L).....	58
Anexo 4. Zonas con alto potencial agroclimático para el cultivo de jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L) en el estado de Campeche.....	59
Anexo 5. Zonas con alto potencial edafológico para cultivar jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L.) en el estado de Campeche.....	59
Anexo 6. Zonas con alto potencial edafoclimático para cultivar jatrofa (<i>Jatropha curcas</i> L) en el estado de Campeche.....	60



I. INTRODUCCIÓN

La jatrofa (*Jatropha curcas*L.) posee cualidades que la convierten en un importante recurso filogenético en el mundo dado que contribuye en la ganancia del carbono orgánico del suelo y mejora la estructura edáfica del mismo favoreciendo el control de la erosión. Además la jatrofa actualmente se erige como una alternativa para sustituir al diesel, ante la necesidad de encontrar nuevas alternativas de energía que sustituyan a los combustibles fósiles, debido a los altos contenidos de aceite en sus semillas con potencial para la producción de biodiesel de buena calidad(Bruinsma, 2009; Pabón-Garcés, 2009; Ogunwole et al., 2008; Martínez-Herrera, 2007; Francis et al., 2005; Heller, 1996).

El cultivo de esta especie se adapta a suelos pobres y tolera períodos de sequía, aunque su producción es favorecida con aporte de agua, fertilización y un manejo apropiado (Villalta, 2009). También, al no interferir con la producción de productos básicos, ser una fuente de energía renovable no convencional y generar amplios beneficios sociales y ambientales, hacen de ésta un cultivo compatible con proyectos de desarrollo sustentable (Pabón-Garcés, 2009; Raswant et al., 2008).

En México desde 1991, el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI-IPN) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2008, 2009) han realizado diversas actividades para generar conocimientos y desarrollar tecnología de producción de materia prima para la elaboración de biodiesel a partir de la jatrofa y otras especies oleaginosas (Zamarripa-Colmenero et al., 2008; Martínez-Herrera et al., 2007a). Aunque también es posible su empleo en la alimentación humana y animal dado que algunas variedades mexicanas son no tóxicas, al no presentar ésteres de forbol (compuestos responsables de la toxicidad), por su alto contenido en proteínas (25-30%), por su perfil de aminoácidos azufrados superior al patrón FAO/OMS y por presentar una digestibilidad “*in vitro*” mayor al 80% (Martínez-



Herrera *et al.*, 2004a; Martínez-Herrera *et al.*, 2006; Martínez-Herrera *et al.*, 2007b).

La jatrofa se encuentra en forma silvestre en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Puebla, Hidalgo y Morelos, siendo utilizada principalmente en la preparación de diferentes platillos y cercas vivas (Martínez-Herrera, 2007b). Sin embargo, aun cuando existe una amplia distribución de la jatrofa en México, existen pocos estudios sobre su caracterización fisicoquímica, nutricional, toxicidad, aspectos asociados al aprovechamiento agrícola-industrial; así como en el estudio de la identificación de zonas óptimas para su cultivo y con una alta aptitud productiva para obtener rendimientos potenciales.

Por ello, el gobierno del estado de Campeche en conjunto con las instituciones de investigación se planteó el objetivo de identificar las zonas de alto potencial para el establecimiento del cultivo del Jatrofa (*Jatropha curcas* L.) en el Estado. Para tal propósito, en el presente estudio se realizó una Zonificación Agroecológica con el objeto de identificar las áreas con el mayor potencial productivo para el establecimiento e inversión en el cultivo de la jatrofa (*Jatropha curcas* L.) en el estado.

II. OBJETIVOS

- ❖ Determinar las Zonas con Alta Potencialidad Productiva del cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas* L.) en el estado de Campeche.
- ❖ Elaborar un mapa de Zonificación de Alta Potencialidad Productiva para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas* L.) en el estado de Campeche.



III. ORIGEN DE LA JATROFA

La jatrofa es nativa de México y Centroamérica, fue difundida probablemente por comerciantes portugueses en el siglo XVII a través de las Islas Cabo Verde y Guinea-Bissau a otros países de África y Asia; actualmente se encuentra ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales de estos continentes (Figura 1), y ha sido cultivada para su uso medicinal, elaboración de jabón y como fuente de energía, además de utilizarla en cercas vivas y como plantas de cobertura (Da Schio, 2010; Henninget *et al.*, 1995; Jongschaap *et al.*, 2007; Wilbur, 1954; Dehgan y Webster, 1979; Aponte, 1978; Makkaret *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006; Baldrati, 1950).



Figura 1. Zonas con condiciones climáticas favorables para el crecimiento de la *Jatrophacurcas* L. (30°N, 35°S). Fuente: Jongschaap *et al.*, 2007.



IV. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA JATROFA

El género *Jatropha* pertenece a la familia Euphorbiaceae y contiene aproximadamente 170 especies conocidas. Dehgan y Webster (1979) distinguen dos subgéneros (*Curcas* y *Jatropha*) con 10 secciones y 10 subsecciones para incluir a las especies del viejo y nuevo mundo. Se considera que *J. curcas* es la especie más primitiva del género cuya clasificación taxonómica es la siguiente (Cronquist, 1981):

Reino: Plantae (Plantas)

División: Magnoliophyta (Plantas con flores)

Clase: Magnoliopsida (Plantas dicotiledóneas)

Orden: Euphorbiales

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Jatropha* L.

Especie: *Jatropha curcas* L.

Filogenéticamente The Angiosperm Phylogeny Group (APG, 1998), la clasifica de la forma siguiente:

Angiospermas

Eudicots

Core Eudicots

Rosids

Eurosids I

Orden: Malpighiales

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Jatropha* L.

Especie: *Jatropha curcas* L.

Jatropha Curcas L.



De acuerdo con Dehgan y Webster (1979), y Schultze-Motel (1986), la sinonimia de *J. curcas* es la siguiente:

- *Curcas purgans* Medik., Ind. Pl. Hort. Manhem. 1: 90. 1771; Baill. Étud. Gen. Euphorb. 314, 1858.
- *Ricinus americanus* Miller, Gard. Dict. ed. 8. 1768.
- *Castiglionialobata* Ruiz & Pavon, Fl. Peruv. Prodr. 139, t. 37. 1794.
- *Jatropha edulis* Cerv. Gaz. Lit. Mex. 3: supl. 4. 1794.
- *J. acerifolia* Salisb., Prodr. ChapelAllerton 389. 1796.
- *Ricinus jarak* Thunb., Fl. Javan. 23. 1825.
- *Curcas adansonii* Endl., ex Heynh. Nomencl. 176. 1840.
- *Curcas indica* A. Rich. in Sagra, Hist. Fis. Pol. Nat. Cuba 3: 208. 1853.
- *Jatropha yucatanensis* Briq. Ann. Cons. Jard. Genève 4: 230. 1900; Standley, Contr.U.S. Nat. Herb. 23: 640. 1923; McVaugh, Bull. Torrey Bot. Club 72: 35. 1945.
- *Curcas curcas* (L.) Britton & Millsp., Bahama Fl. 225. 1920.

Existen numerosos nombres comunes para referirse a la jatrofa: physic nut, purgingnut (Inglés); pourghère, pignond'Inde (Francés); purgeernoot (Holandés); Purgiernuß, Brechnuß (Alemán); purgeira (Portugués); fagiola d'India (Italiano); dandbarrî, habelmeluk (Arabe); kanananaeranda, parvataranda (Sanskrito); bagbherenda, jangliarandi, safedarand (Hindú); kadam (Nepal); yu-lu-tzu (Chino); sabudam (Tailandés); túbang-bákod (Las Filipinas); jarakbudeg (Indonesia); bagani (Costa de Marfil); kpoti (Togo); tabanani (Senegal); mupuluka (Angola); butuje (Nigeria); makaen (Tanzania); piñoncillo, piñón, achsi, piñón de aceite, piñón mexicano (México); coquillo, tempate (Costa Rica); tártago (Puerto Rico); mundubi-assu (Brasil); piñol (Perú) y piñón (Guatemala) (Münch 1986; Schultze-Motel 1986; Martínez-Herrera et al., 2010).



V. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA JATROFA

La jatrofa es un arbusto o árbol pequeño perenne y cotiledóneo, resistente en un alto grado a la sequía cuyo ciclo productivo se extiende de 45 a 50 años (Figura 2). Es de crecimiento rápido y con una altura normal de 2 a 6 metros. La planta muestra un crecimiento articulado, con una discontinuidad morfológica en cada incremento. La latencia es inducida por las fluctuaciones en la precipitación y temperatura/luz (Heller, 1996; Martínez-Herrera *et al.*, 2007a; Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010).

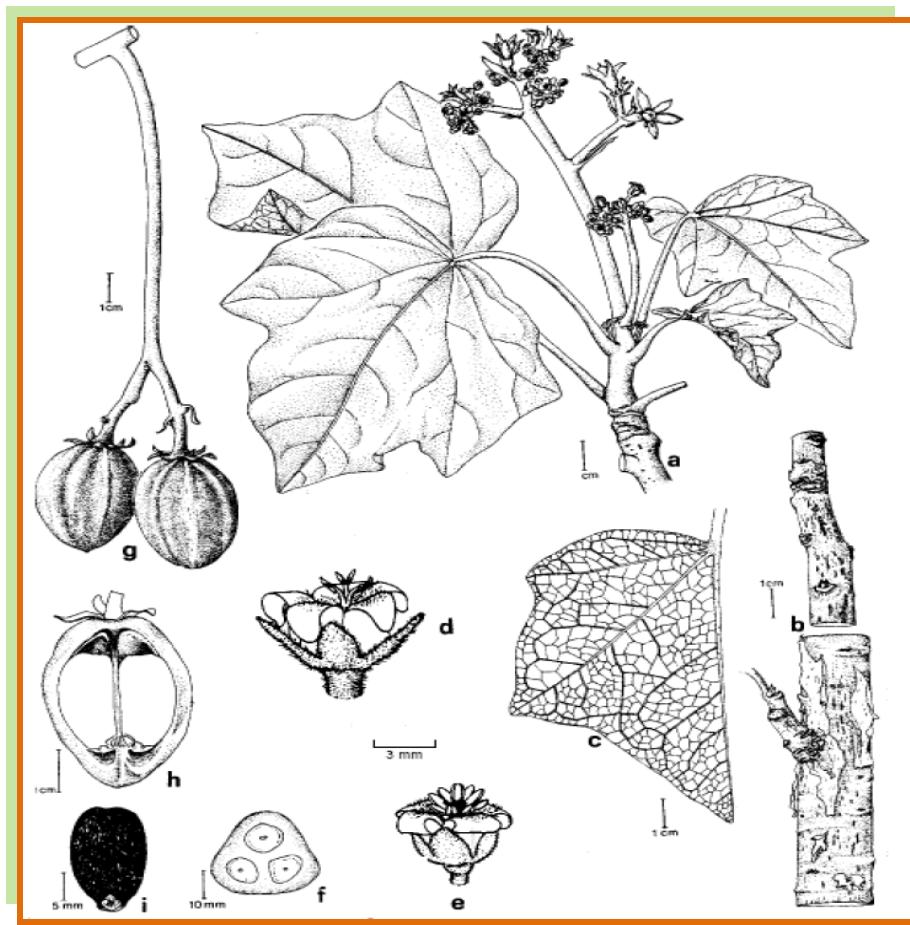


Figura 2. Componentes de la jatrofa (*Jatropha curcas* L.): [a] rama en floración, [b] corteza, [c] venas de la hoja, [d] flores pistiladas (macho), [e] flores estaminadas (hembra), [f] corte transversal de la fruta inmadura, [g] frutas, [h] corte longitudinal de los frutos, [i] semilla. Fuente: Jongschaap *et al.*, 2007.



5.1 Raíz

El sistema radicular está muy desarrollado, con raíces que crecen tanto lateral como verticalmente en las capas más profundas del suelo, formándose por lo particular cinco raíces a partir de plántulas, una central y cuatro periféricas (Heller, 1996; Pabón-Garcés, 2009). En plantas de reproducción vegetativa generalmente no se forma una raíz pivotante (Kobilke, 1989).

5.2 Tallo

Los tallos crecen con discontinuidad morfológica en cada incremento. La corteza es de color verde amarillenta o marrón pálido y casi lisa, delgada como papel, con desprendimientos en tiras horizontales. La corteza interna es blanca con bandas rojas, exuda una savia o látex acuoso y es de sabor astringente. Las ramas también contienen látex. El grosor del tronco es de 20 cm con crecimiento desde la base en distintas ramas (Heller, 1996; Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010).

5.3 Hojas

Las hojas son alternas, palmeadas, pecioladas y estipuladas, normalmente se forman con 3 a 7 lóbulos acuminados, poco profundos, agudos o cortamente acuminados en el ápice. Tienen una longitud de 2 a 20 cm, los bordes son enteros u ondulados. El haz es verde, el envés verde claro, glabro o este último con pelillos finos. Presenta de 7 a 9 venas basales prominentes y venación reticulada. Las hojas son caducas (Heller, 1996; Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010).



5.4 Flores

La planta es monoica y las flores son unisexuales; de vez en cuando se producen flores hermafroditas (Dehgan y Webster, 1979). Las inflorescencias se forman en posición terminal y en las axilas formadas entre hojas y ramas. Ambas flores, masculinas y femeninas se forman en la misma planta y son pequeñas (6-8 mm). Las flores femeninas son 4-5 veces más numerosos que los masculinos. Cada inflorescencia rinde un manojo de aproximadamente 10 frutos ovoides (Heller, 1996; Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010).

La polinización se lleva a cabo por los insectos (Heller, 1992). En condiciones de invernadero, donde existe un ambiente sin insectos, la producción de semillas no se producen sino se realiza polinización manual. En ocasiones puede presentarse en las plantas flores hermafroditas que pueden ser autógamas. La apertura de flores es variable, pudiendo hacerlo primero las masculinas y después las femeninas o viceversa; este mecanismo de apertura de las flores está influenciado por el medio ambiente.

5.5 Frutos y semillas

El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla. Después de la polinización, se forma una fruta trilocular elipsoidal de 2.5 a 3 cm de largo por 2 a 3 cm de diámetro. El fruto es una cápsula drupácea verdosa-amarillenta y carnosa, pero café oscuro o negro y dehiscente cuando están secas. El exocarpo carnoso permanece hasta que las semillas están maduras. La fruta produce de dos a tres semillas negras, cada una aproximadamente de 2 cm de largo y 1 cm de diámetro. La jatrofa presenta tres meses de floración y fructificación, siendo en el primer mes donde hay mayor rendimiento de fruto. En México los meses de mayor cosecha son en julio, agosto y septiembre (Martínez-Herrera *et al.*, 2007a; Martínez-Herrera *et al.*, 2007b; FAO-ECOCROP, 2010).



Colocada la semilla en el sustrato adecuado y con una buena humedad la germinación toma cinco días. Se abre la cáscara de la semilla, sale la radícula y se forman cuatro raíces periféricas pequeñas. La germinación es epigea (los cotiledones surgen sobre la tierra). Poco después que las primeras hojas se han formado, los cotiledones marchitan y se caen. La planta comienza a producir a los 4 o 5 meses y alcanza productividad plena en alrededor de 3 años (Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010).

5.6 Material genético y variedades de jatrofa

A pesar de que existen algunos estudios sobre las variedades de jatrofa en México (Martínez, et. al., 2006; Makkar, et. al., 2008) aún existe poca información sobre su sistemática, condiciones agroclimáticas, características morfológicas, físicas, nutricionales, etc. Generalmente se reconoce que existen variedades “tóxicas” y “no tóxicas”, de las cuales sólo en México existen representantes (Martínez et al. 2004b).

En México la jatrofa se distribuye de forma silvestre en 15 estados. En Guerrero, Michoacán y Chiapas más del 90% de las variedades son tóxicas, mientras que las variedades comestibles no tóxicas se distribuyen mayormente en el norte de Puebla y Veracruz. Dichas variedades crecen en diferentes condiciones agroclimáticas que van desde los 10 a 1, 430 msnm, con precipitaciones anuales entre los 621 y 2, 500 mm y climas cálidos húmedos y sub-húmedos (Martínez-Herrera et al., 2010). Un análisis de semillas de 18 diferentes regiones del país muestran que el peso promedio de las semillas es de 0.60 gramos. Un kilogramo de semillas se compone de entre 1, 200 y 1, 400 semillas. Las semillas provenientes de Chiapas son las más grandes y de mayor peso en comparación con las de las otras regiones. Los contenidos de proteína cruda varían entre 18% y 33%, los de aceites entre 46% y 64%, y los de fibra entre 3.5 y 5.3%. Es de destacar que existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de proteína y de aceite (Cuadro 1).



Cuadro 1. Características físicas y composición química de las semillas de jatrofa (*J. curcas*L.) provenientes de diferentes regiones de México.

Origen de la semilla	Peso promedio de la semilla (g)	Peso del núcleo (% de la semilla)	Proteína cruda (% del núcleo de la semilla)	Contenido de aceite (% del núcleo de la semilla)	Contenido de fibra (% del núcleo de la semilla)	Contenido de esteres de forbol (mg/g de harina de la semilla)
San José Acateno, Veracruz	0.73	68.9	27.6	58.3	5.1	ND
Tenampa, Veracruz	0.74	65.9	28.9	57.4	3.8	ND
Coatzacoalcos, Veracruz (No tóxica)	0.79	69.7	31.9	52.6	3.8	ND
Huitzilán, Puebla	0.68	66.9	18.8	64.5	5.3	ND
Xochitlán, Puebla	0.72	67.2	29.9	57.1	3.5	ND
Suchiapa, Chiapas	0.83	74.4	24.3	60.4	4.2	2.03
Villaflores, Chiapas	0.67	73.7	33.3	45.9	4.0	0.60
Tlaxmalac, Guerrero	0.73	61.7	23.2	57.7	4.1	1.88
Cuautla, Morelos	0.61	65.9	29.7	58.7	4.0	ND
Comalcalco, Tabasco	0.71	66.5	24.6	56.3	4.2	ND
Costa Chica, Guerrero	0.74	62.8	24.2	58.7	3.9	ND
Tlapacoyan, Veracruz	0.83	69.5	28.2	56.1	4.3	ND
Chiapas de Corzo, Chiapas	0.72	67.2	26.4	55.3	4.8	4.05
Tejabán, Nuevo Urecho, Michoacán	0.68	64.0	25.8	53.5	3.8	ND
La Ordeñita, Tepalcatepec, Michoacán	0.64	63.2	30.5	51.4	4.1	ND
Corona, Peribán, Michoacán	0.46	63.8	29.2	51.3	4.2	ND
San Isidro, Tepalcantepec, Michoacán	0.67	63.9	30.5	48.9	3.9	ND
La Cortina, Gabriel Zamora, Michoacán	0.70	67.1	24.3	51.1	3.9	ND

ND= No detectados. Fuente: Martínez-Herrera et al., 2010



VI. PRODUCCIÓN DE JATROFA A NIVEL MUNDIAL

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), difunde sus estadísticas en producción de jatrofa dentro del grupo de las semillas oleaginosas (semileagin u oilseeds), en el que se encuentran aquellas semillas, frutas y nueces oleaginosas de escasa importancia a nivel internacional; quizás porque aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo la producción de biodiesel a base de aceite de jatrofa.

El cultivo de jatrofa abarca actualmente una superficie global estimada de aproximadamente 900,000 ha; de las cuales alrededor del 85% de plantaciones se localizan en Asia, principalmente en Myanmar, India, China e Indonesia (ver Figura 3). En África se concentra un 12%, estando las principales plantaciones en Madagascar y Zambia, seguidas de Tanzania y Mozambique. Mientras que América Latina cuenta con aproximadamente 20,000 ha de jatrofa (2.2% mundial), sobre todo en Brasil (Brittaine y Lutaladio, 2010).

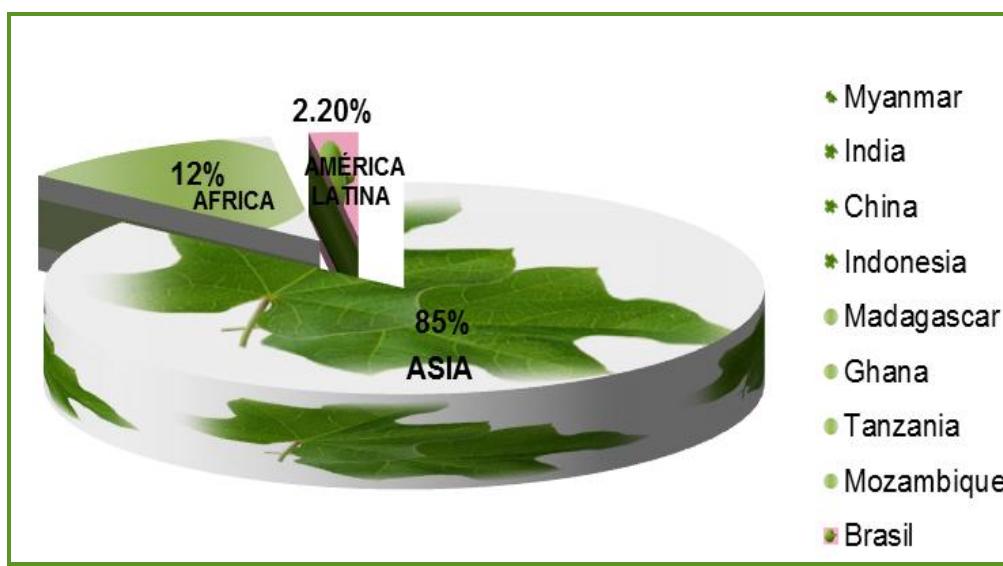


Figura 3.Producción y países productores de jatrofa en el mundo. Fuente: Brittaine y Lutaladio, 2010.



El Global Exchange for Social Investment (GEXSI), en el año 2008, estimó que para el 2015 existirá una superficie de 12.8 millones hectáreas cultivadas con jatrofa, para entonces, se espera que Indonesia sea el mayor productor en Asia (5.2 millones de ha), Ghana y Madagascar (1.1 millones de ha) en África y Brasil en América Latina con 1.3 millones de ha.

VII. PRODUCCIÓN DE JATROFAA NIVEL NACIONAL

El SIAP (2011) reporta para el año 2010, una superficie de 1800 ha sembrada con jatrofa en el estado de Yucatán, de la cual el 89% se siembra bajo la modalidad temporal y el resto bajo riego. En años recientes en México, se han venido realizando plantaciones piloto de varios genotipos de jatrofa con la finalidad de evaluar su capacidad de producción, e identificar las más adecuadas y con alto potencial para cada región del país.

Las primeras plantaciones de jatrofa en México se establecieron en el estado de Morelos en 2005, a partir de entonces se continuó con una colecta de semillas en diversas regiones del país con el apoyo de la Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania (Martínez-Herrera *et al.*, 2007a). En 2006, el CEPROBI-IPN, estableció el primer lote experimental en el municipio de Chiapas de Corzo con semilla "no tóxica" proveniente de Morelos y Veracruz, conjuntamente en Michoacán se inicia con el cultivo de jatrofa de forma extensiva por iniciativa del Gobierno del Estado de Michoacán-Daimler-Chrysler (México)-Propalma-CEPROBI-IPN. Por su parte, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) comenzó a evaluar la adaptación del cultivo en el Campo Experimental de Hualauises. Para 2007 se inició el proyecto productivo de cultivo de jatrofa en el estado de Sinaloa, con el establecimiento del primer lote demostrativo auspiciado por Fundación Produce Sinaloa, A.C., ubicado en el Campo Experimental de Sinaloa de Leyva (Martínez-Herrera, 2007).



En cuanto a los recursos destinados por el Gobierno Federal, del 2007 a la fecha, CONAFOR ha destinado apoyos para la siembra de 28 mil ha, la mayoría de ellas en Chiapas, y recientemente en la Península de Yucatán (SAGARPA-SICDE, 2009).

En México existe una superficie potencial entre 2-6 millones de ha para el cultivo de jatrofa; principalmente en los estados de la Costa del Pacífico, costa del Golfo de México y algunos estados del centro del país (INE, 2009; Zamarripa y Díaz, 2008). Por su parte, Zamarripa y Díaz (2008) reportan los estados de la República Mexicana que registraron mayor superficie óptima para este cultivo: Sinaloa con 557,641 hectáreas, Tamaulipas (317,690 hectáreas), Guerrero (282,158 hectáreas), Chiapas (230,273 hectáreas) y Michoacán (197, 288 hectáreas).

En 2008, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) inicio un programa que apoyó con \$570 U.S. por hectárea, a cada productor que cultivara jatrofa con una densidad de 1,660 plantas por hectárea (Martínez-Herrera et al., 2010). Para 2009, la CONAFOR tenía previsto apoyar cerca de 20 mil ha de jatrofa en Campeche, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (SAGARPA-SICDE, 2009; SEMARNAT-CONAFOR, 2011).

Algunos estados que actualmente han plantado más de 3,000 hectáreas de jatrofa son Michoacán, Veracruz, Chiapas, Puebla y San Luis Potosí (Martínez-Herrera et al., 2010). En el sureste, el Instituto de Energías Alternativas, Renovables y Biocombustibles del Estado de Chiapas cuenta con dos Bancos de Germoplasma de jatrofa ubicados en los municipios de Villa Flores y Chiapas de Corzo. De igual forma en Chiapas se encuentran establecidas alrededor de 10,000 ha en diferentes municipios, siendo la más sobresaliente una plantación de 24 ha en el municipio de Arriaga. Dichas plantaciones fueron establecidas con un 80% de semillas importadas de la India y 20% con semilla colectada en el estado (SAGARPA-SNICS, 2010).

Jatropha Curcas L.



En México se pueden obtener con el adecuado manejo agrícola rendimientos de 5 toneladas/hectárea/año de semilla, 2000 litros/hectárea/año de biodiésel, 2000 litros/hectárea/año de aceite y entre 1 y 2 toneladas de pasta residual (Martínez-Herrera, 2007).

En 2007 se inauguró una Planta industrial de Biodiesel con una capacidad de 1,500 toneladas/año, y se creó la Comisión de Bioenergéticos de Chiapas con el objetivo principal de obtener biodiesel a partir de la jatrofa (Martínez-Herrera, 2007). También se planeó instalar una Planta Educativa Piloto de Biodiésel, con una inversión de 14.5 millones de pesos que contará con la asesoría técnica del INIFAP (INIFAP, 2009).

Los paquetes tecnológicos validados de jatrofa se encuentran a cargo del INIFAP y se consideró que estarían concluidos para el finales del año 2010 (INE, 2010). Entre los avances de investigación se encuentran la colecta y caracterización de genotipos de *J. curcas* en el estado de Chiapas; más de 200 accesiones con gran diversidad genética (variación en precocidad, vigor, adaptación, contenido de aceite), la formación de un banco de germoplasma nacional y la evaluación de diferentes densidades de población para su cultivo (INIFAP, 2008). Para el estado de Campeche, la SAGARPA- CONAFOR(2011) han contemplado los municipios de Calakmul, Calkiní, Campeche, Candelaria, Hecelchakán Hopelchén como municipios elegibles para establecer plantaciones forestales comerciales de *Jatropha curcas L.*



VIII. REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE JATROFA

Climáticamente la jatrofa se encuentra en los trópicos y subtrópicos, no tiene problemas de altitud y resiste el calor y soporta bajas temperaturas (Pabón-Garcés, 2009); sin embargo las temperaturas muy altas pueden disminuir los rendimientos (Gour, 2006). No es sensible a la longitud del día (la floración se presenta de forma independiente de la latitud) y puede tener flores a lo largo de todo el año (Heller, 1996). Los requerimientos agroclimáticos óptimos y absolutos para su desarrollo se listan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Requerimientos agroclimáticos óptimos y absolutos para el desarrollo de jatrofa (*Jatropha curcas L.*).

REQUERIMIENTO	OPTIMO		ABSOLUTO	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	11	28	7	36
Temperatura critica (durante el reposo)			-1	
Temperatura critica (durante el crecimiento temprano)			0	
Precipitación anual (mm)	500	1500	300	2000
Zona climática (clasificación de Köppen)	Tropical húmedo (Ar), Estepa o semiárido (Bs), Subtropical con verano lluvioso (Cs)			
Latitud	28° N y 35° S			
Fotoperiodo	No sensible			
Intensidad de la luz	Muy brillante	Muy brillante	Cielos despejados	Muy brillante
Altitud (m)	---	---	---	1600

Fuente: Brittain y Lataladio, 2010; FAO-ECOCROP, 2010.



IX. REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS DEL CULTIVO DE JATROFA

Para su desarrollo, la Jatropha prefiere suelos bien drenados con una estructura abierta, bien aireada; en altitudes que van desde los 0 a 1600 msnm, con pendientes que no superen los 30° y con al menos 45 cm de profundidad. Se desarrolla normalmente en suelos áridos y semiáridos, aunque se adapta muy bien a diferentes tipos de suelos, los suelos más adecuados son los frances, franco arenoso arcilloso y el limo (Gour, 2006; Martínez-Herrera *et al.*, 2007a; Van der, 2009).

Responde muy bien a suelos con pH no neutros, ya que tiene la capacidad de crecer en suelos alcalinos (FACT, 2007; Martínez-Herrera *et al.*, 2007a). Crece casi en cualquier parte, tanto en terrenos áridos como húmedos, incluso en las tierras pedregosas, arenosas y salinas más pobres; aunque el rendimiento en condiciones salinas no está documentado (Dagaret *et al.*, 2006). Sin embargo, la capacidad de supervivencia en tierras magras de la jatrofa no significa que se pueda obtener una alta productividad en estas condiciones. Los requerimientos óptimos y absolutos para su desarrollo se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos edafológicos óptimos y absolutos para el desarrollo de jatrofa (*JatrophacurcasL.*).

REQUERIMIENTO	ÓPTIMO	ABSOLUTO
pH del suelo	5.5 a 7.5	5 a 8
Profundidad del suelo	Profundos (mayor a 150 cm)	Profundos (mayor a 150 cm)
Textura del suelo	Mediana	Mediana, ligera
Fertilidad del suelo	Moderada	Baja
Salinidad del suelo	Baja (<4 dS/m)	Baja (<4 dS/m)
Drenaje del suelo	Bueno (periodos secos)	Bueno (periodos secos), Excesivo (seco / moderadamente seco)

Fuente: FAO-ECOCROP, 2010



X. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE JATROFA

10.1 Propagación y establecimiento del cultivo

La selección del material de siembra debe hacerse a partir de varetas o semillas de plantas que han demostrado, a lo largo de varias temporadas, tener un alto rendimiento y contenido de aceite en las semillas principalmente bajo las mismas condiciones de irrigación y fertilización propuestas para la nueva plantación. Se debe seleccionar el material vegetativo de árboles capaces de producir más de 2 toneladas de semillas secas por hectárea, con 30% de contenido de aceite (Achtenet al., 2008).

Sobre utilizar varetas o semillas para establecer las plantaciones hay opiniones divididas. Utilizar semillas permite que las plantas desarrollen sus raíces primarias (Heller, 1996), mientras que usar varetas permite la producción de clones con mejores rendimientos (Brittaine y Lutaladio, 2010). La obtención de varetas suficientes para establecer una plantación es un punto a considerar. La formación de viveros para obtener plántulas a partir de semillas o varetas de material silvestre representa la mejor opción hasta la fecha para contar con material adecuado y suficiente.

En cuanto a los rendimientos, Heller (1996) encontró que usar varetas permite obtener mejores rendimientos iniciales que al utilizar semillas, pero no se observó una diferencia significativa en cosechas posteriores. Sin embargo, las varetas seleccionadas de plantas con altos rendimientos probablemente mantengan esa característica. Las plántulas obtenidas en vivero para luego ser trasplantadas tienen una tasa de sobrevivencia de 80%, mientras que sembrar directamente el material silvestre tiene una tasa del 50%. Un resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de propagación se muestra en el Cuadro 4.

Jatropha Curcas L.



Cuadro 4.Ventajas y desventajas de los métodos de propagación de jatrofa (*Jatrophacurcas L.*).

MATERIAL DE PROPAGACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Semillas (sembradas directamente en campo)	Método más económico. Buen desarrollo de raíz principal.	Baja tasa de sobrevivencia de las plántulas. Método de propagación menos exitoso. Poca uniformidad en el crecimiento y productividad. Requiere más trabajo de control de malezas.
Semillas (plantadas en bolsas de polietileno)	Control del ambiente de las plántulas. Menos pérdidas. Plantas más uniformes.	Mayores costos que con la siembra directa. Poca uniformidad en la productividad. El desarrollo de la raíz principal limitado por la bolsa plástica.
Semillas (plantadas en camas de germinación)	Igual que el anterior. No se limita el desarrollo de la raíz principal. Menores costos de transporte.	Mayores costos que con la siembra directa. Productividad variable. Mayores pérdidas de plántulas en el trasplante.
Varetas (plantadas directamente en campo)	Clones con mayor uniformidad en la productividad y con rendimientos por hectárea potencialmente más altos. Producción temprana que al utilizar semillas.	Conseguir suficiente material de calidad puede ser difícil y costoso. La falta de una raíz principal no permite un buen anclaje en el suelo, además de restringir la capacidad de extraer agua y nutrientes del suelo. Menos adecuadas para intercalarse con otros cultivos. Vida productiva de la plantación más corta. Varetas de mayor tamaño se necesitan para asegurar la sobrevivencia.
Varetas (plantadas en bolsas de polietileno)	Igual que el anterior. Menos pérdidas y mayor uniformidad en las plantas. Se pueden utilizar varetas pequeñas cuando el material es escaso.	Igual que el anterior. Mayores costos que con la plantación de varetas directamente en campo.
Varetas (plantadas en camas de germinación)	Igual que el anterior. Menores costes de transporte desde la guardería al campo.	Igual que el anterior. Mayores pérdidas en el trasplante.
Cultivo de tejidos	Clonal. Productividad uniforme. Desarrollo de raíz principal. Multiplicación rápida de nuevas plantas.	Altos costos. Protocolos de desarrollo recientes aún no están disponibles en el mercado.

Fuente: Brittaine y Lataladio, 2010.



En el caso de las semillas, el almacenamiento de éstas no debe exceder de 10 a 15 meses, supervisando la calidad en las semillas durante todo este tiempo. La germinación tiene una duración de 15 días, y comienza entre el tercer y quinto día de humedecer la semilla. El porcentaje de germinación oscila entre 60 y 90%. Las plántulas se desarrollan durante tres meses y se trasplantan al campo cuando tienen una altura entre 40 y 50 cm. Para la siembra por estacas se requiere que estos provengan de madera semisólida (ramas) con longitud de 15 a 50 cm, y diámetro entre 1 y 3 cm, a plantarse en bolsas de plástico dentro de un vivero, o bien se colocan directamente en el suelo húmedo dejando 15 centímetros o más de la rama por encima del suelo. El crecimiento de las raíces comienza en 8 a 15 días con alrededor de 80% de viabilidad, y normalmente los brotes aparecen por primera vez a las 3 o 4 semanas. Las varetas pueden plantarse también directamente en el campo cuando las condiciones son favorables (Pabón-Garcés, 2009; Van der, 2009).

10.2 Siembra

La jatrofa se siembra en densidades que van desde 1,100 a 2,500 plantas por hectárea. El rendimiento por árbol probablemente aumente con una mayor distancia de siembra, pero con una disminución en el rendimiento por hectárea (Achten, 2008; Van der, 2009). La decisión del espaciado de los árboles deberá sustentarse en las condiciones ambientales de la zona donde se ubicará la plantación, es decir que los factores de agua, luz y nutrientes influirán en la competencia entre árboles (Brittaine y Lutaladio, 2010).

En regiones semiáridas, los sistemas de bajos insumos deben utilizar un mayor espaciamiento como 3 x 2, 3 x 2.5 o 3 x 3 metros. Alternar las plantas en las filas permite reducir el sombreado mutuo. También debe considerarse dejar un acceso. Los menos callejones de 2.5 metros deben considerarse entre los árboles para facilitar el paso de los recolectores de frutas; callejones de 5 metros cada cuatro filas facilita el acceso a carros (Brittaine y Lutaladio, 2010; Van der, 2009).



Para la siembra de las plántulas se deben abrir agujeros de 30 a 50 cm de ancho y 45 cm de profundidad. Los agujeros deberán ser llenados con una mezcla de tierra y materia orgánica (compost) en una proporción de 1:1; y también se agregan fertilizantes artificiales o naturales (estiércol). La cantidad de fertilizante debe ser de 10 a 20 g de fertilizantes comunes de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) de 6:6:6 hasta 15:15:15 o variaciones dentro de estos límites. El fertilizante deberá ser mezclado uniformemente.

En el caso del estiércol de animales se deberá aplicar una cantidad de 0.5 kg por agujero. La cantidad de materia orgánica puede variar entre 20% y 50%. En suelos con alto contenido de arcilla deberá agregarse arena a la mezcla de suelo en una proporción de 1:1:2 de suelo, arena y materia orgánica. La fórmula de la mezcla se transforma en suelo, abono y estiércol en una proporción 2:1:1. Puede incorporarse un insecticida como medida de precaución contra termitas. Las plántulas pueden requerir riego durante los primeros dos o tres meses después de la siembra (Brittaine y Lutaladio, 2010; Van der, 2009).

10.3 Intercalado de cultivos

Intercalar otros cultivos con la jatrofa durante los cinco primeros años de su desarrollo es una práctica común, pero existen pocos estudios sobre sus rendimientos, espaciado de las plantas y prácticas de manejo. Lo mismo aplica para cultivos con un intercalado permanente y con la agroforestería (Brittaine y Lutaladio, 2010). Los cultivos que pueden ser considerados para asociarse con la Jatrofa deben ser anuales o bianuales, de altura baja para que no den sombra a las plantas de jatrofa. El uso de especies fijadoras de nitrógeno pueden representar una gran ventaja ya que la Jatrofa no tiene esta capacidad (Van der, 2009).

Determinadas pruebas en la India muestran que los cacahuetes pueden cultivarse de forma exitosa entre las líneas de árboles de jatrofa espaciados a 3 m y



podados hasta una altura de 65 cm. Este sistema ayudo a controlar las malezas de la plantación y el crecimiento de las plantas de jatrofa fue mayor (Singh *et al.*, 2007). En algunos lugares de México, la jatrofa se ha intercalado con frijol, cacahuate, chile, café, plantas medicinales y aromáticas durante los dos primeros años, dando buenos resultados y rendimientos (Martínez-Herrera *et al.*, 2010).

10.4 Mantenimiento del cultivo

Una vez establecido el cultivo el crecimiento es rápido. El brote principal puede llegar a tener un metro de alto después de cinco meses, siendo crecimiento vegetativo completamente durante la temporada de lluvias. Los árboles suelen cargar sus primeros frutos después de la floración en la segunda temporada de lluvias (Brittaine y Lutaladio, 2010), incluso en el primero en condiciones favorables (Pabón-Garcés, 2009). La producción de semilla se estabiliza a partir del cuarto o quinto año. Antes de que el suelo este sombreado por el dosel de hojas en desarrollo, es importante realizar un control de las malezas para evitar la competencia por recursos. Si las malezas se eliminan de forma manual, una vez cortadas pueden dejarse en el suelo como cobertura. En las regiones semiáridas se pueden cavar canales alrededor de cada planta individual para ayudar en la captura de agua e infiltración de la misma (Brittaine y Lutaladio, 2010).

La poda durante la estación seca o de dormancia de la planta es importante para aumentar la ramificación y el número de inflorescencias, así como para formar correctamente la estructura del árbol; manteniéndolo bajo y frondoso para facilitar la cosecha. Los tallos y ramas pueden ser recortados después de los primeros seis meses para fomentar el desarrollo de las ramificaciones, y el tallo principal puede ser recortado de nuevo a 30 o 45 cm. Las puntas de las ramas se podan de nuevo al final del primer año. En el segundo año y los posteriores, las ramas deben podarse para eliminar alrededor de dos tercios de su longitud. Después de diez años, se recomienda recortar los árboles hasta 45 cm para mejorar los rendimientos. El rebrote es rápido y los árboles empezarán a producir de nuevo al



siguiente año (Gour, 2006). Las flores requieren de la presencia de insectos polinizadores, por lo que ubicar colmenas de abejas en las proximidades puede resultar beneficioso (Brittaine y Lataladio, 2010).

10.5 Nutrición

Normalmente se considera que la jatrofa tiene un bajo requerimiento de nutrientes debido a su adaptabilidad a suelos pobres. Sin embargo, para su explotación productiva requiere de una fertilización correcta y suficiente agua de riego. Igualmente hay que considerar que altos niveles de fertilización y excesivo riego provocaran una alta producción de biomasa, a expensas del rendimiento de semilla. Desafortunadamente, aun no existen dosis de fertilización recomendadas para diferentes condiciones de crecimiento, con las cuales se podrían hacer recomendaciones específicas para la nutrición óptima del cultivo (Brittaine y Lataladio, 2010).

En un estudio de fertilización realizado en el desierto de la India, con 3.2% de N, 1.2% de P₂O₅ y 1.4% de K₂O, se reporta que 3 tha⁻¹ de la pasta obtenida de las semillas de jatrofa aumentó significativamente los rendimientos dedos plantaciones con diferentes densidades de árboles de 93% a 120%, principalmente cuando se aplica a plantas jóvenes (Ghoshet al., 2007).

En cuanto a los niveles óptimos de fertilizantes inorgánicos, se ha visto que los requerimientos de la planta varían con su edad (Achten, 2008). Se necesitan realizar pruebas de sitio específicas para determinar las necesidades de fertilizantes para los árboles en diferentes edades. Igualmente, un análisis de la fruta cosechada indicará la tasa de aplicación de nutrientes necesarios para mantener los niveles de fertilidad del suelo (Brittaine y Lataladio, 2010). De la composición de nutrientes calculada por Jongschaap et al. (2007), la fruta equivalente a una tonelada de semilla seca por hectárea remueve del suelo 14.3 a 34.3 kg de N, 0.7 a 7 kg de P y 14.3 a 31.6 kg de K por hectárea.



Las micorrizas del suelo son conocidos por mejorar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes minerales y agua del suelo, además de aumentar la resistencia a la sequía y las enfermedades. En este respecto, el Instituto de Energía y Recursos (TERI) en la India, ha desarrollado inóculos de micorrizas de jatrofa que favorecen la germinación, y aplicadas antes de la fructificación inducen un mayor rendimiento (Brittaine y Lutaladio, 2010). En Brasil, estudios sobre la inoculación con micorrizas son prometedores, ya que se está trabajando en mejorar la absorción de P y K (Parsons, 2008).

10.6 Requerimientos de agua

Hay pocos datos cuantitativos disponibles sobre las necesidades de agua, su relación con la productividad y su uso eficiente en la jatrofa. Se cree que la precipitación requerida para su crecimiento óptimo es entre 500 y 1, 500 mm al año (FACT, 2007; FAO-ECOCROP, 2010). Por otra parte, su floración se presenta en respuesta directa a las lluvias, ya que después de un corto periodo de sequía (un mes) la lluvia induce la floración. De esta forma, la floración puede inducirse mediante irrigación (FACT, 2007). Sin embargo, el crecimiento vegetativo puede ser excesivo, en detrimento de la producción de semillas, si la cantidad de agua aplicada es demasiada, por ejemplo, con riego por goteo continuo.

10.7 Plagas y enfermedades

Se considera que las plagas y enfermedades no representan una amenaza significativa para la jatrofa debido a las características insecticidas y tóxicas de todas las partes de la planta. Observaciones hechas en árboles viejos parecen confirmar esta idea, pero la incidencia de plagas y enfermedades ha sido reportada en las plantaciones de monocultivo, y pueden llegar a tener importancia económica (Pabón-Garcés, 2009; Brittaine y Lutaladio, 2010). Entre las enfermedades que se han observado están la pudrición del cuello del tronco



(collar rot), las manchas foliares (leaf spots) y las pudriciones y marchitamiento de las raíces (rootrot and damping-off), las cuales pueden controlarse mediante una combinación de técnicas culturales y con el uso de fungicidas.

La chinche rojo y negro o chinche escutelera es considerada como una plaga clave en las plantaciones jatrofa establecidas en Nicaragua (*Pachycorisklugii*) y la India (*Scutelleranobilis*), ya que causa la caída de las flores, frutos y malformación en las semillas. Otras plagas importantes son las larvas de la palomilla *Pempeliamorosalis*; que dañan las flores y los frutos jóvenes, el barrenador de la corteza *Indarbelaquadrinotata*, el minador *Stomphastisthraustica*, el defoliador *Achaeajanata, Podagricaspby* el escarabajo de las flores *Oxycetoniaversicolor*. Las termitas pueden causar daños a plantas jóvenes (Pabón-Garcés, 2009; Brittaine y Lataladio, 2010).

Sin embargo, las variedades de jatrofa tóxica son menos susceptibles a plagas dada su misma toxicidad (Pabón-Garcés, 2009). Entre los agentes de control biológico conocidos se pueden mencionar a *Pseudotelenomuspachycoris* y el díptero *Pempelia* spp., que parasitan huevos de *Pachycorisklugii* en plantaciones de Nicaragua y la India. Es importante mencionar que la jatrofa es un hospedero conocido del virus del mosaico de la yuca por lo que no debe sembrase en asociación con este cultivo (Achten, 2008).

10.8 Rendimientos

El registro sistemático de rendimiento no comenzó hasta hace relativamente poco tiempo, por lo que existen pocos datos disponibles de rendimientos de semilla de plantaciones maduras de jatrofa. Anteriormente se contaba con datos incompletos y probablemente los cálculos se hacían mediante extrapolaciones de árboles aislados de edad avanzada y altos rendimientos (Jongschaap *et al.*, 2007). En cuanto a rendimientos de árboles individuales, Francis (2005) reporta que la jatrofa produce entre 0.2 y 2.0 kg de semilla al año.



En función de la superficie, Openshaw (2000) reporta rendimientos de semilla de entre 0.4 a 12 toneladas por hectárea, y Heller (1996) informa de rendimientos entre 0.1 y 8.0 toneladas por hectárea. En la mayoría de los casos, estas cifras son acompañadas por poca o ninguna información sobre la procedencia genética y edad de la planta, condiciones de precipitación de la zona, tipo de suelo, fertilidad del suelo, el método de propagación, métodos de manejo agronómico y espaciamiento entre árboles.

Heller (1996) y Tewari (2007) sugieren que la producción en regiones semiáridas puede estar alrededor de 2 a 3 toneladas por hectárea, aunque parece probable que estos promedios están calculados en relación a condiciones de crecimiento por debajo del nivel óptimo. En Andhra Prades (India) se obtienen rendimientos de una tonelada por hectárea (Waniet *et al.*, 2008), y 1.25 toneladas por hectárea en Nashik (India) (Ghokale, 2008). Por otra parte, con un buen suelo, buenas precipitaciones y prácticas óptimas de labranza se reportan rendimientos de 5 a 7 toneladas por hectárea (FACT, 2007; Achten, 2008).

En plantaciones piloto de jatrofa en Morelos (Méjico), al quinto año se obtuvo un rendimiento de 5 t/ha/año con una densidad de 2,500 plantas, este rendimiento se puede esperar en excelentes tierras y precipitaciones de 900 a 1200 mm (Martínez-Herrera *et al.*, 2007a, 2007b). Desde el primer año (9 a 10 meses) se obtiene semilla con rendimientos de 1.2 t/ha, que se incrementan en 2.6, 3.1 y 4.3 t/ha en los siguientes años hasta alcanzar las 5.0 t al quinto año. Los rendimientos de la jatrofa, en cuanto a producción de frutos se refiere, están entre los 4 o 5 kg por planta. En cuanto a producción de aceite y biodiesel se consiguen 2000 L/ha/año de cada uno a partir del cuarto año; quedando entre 1 y 2 t de pasta residual, rica en proteína (60%) (Martínez-Herrera *et al.*, 2004a; Martínez-Herrera, 2007; Pabón-Garcés, 2009).



XI. PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA JATROFA

Esta planta tiene un amplio uso en la medicina tradicional, de la cual se aprovechan las raíces, tallos, hojas, semillas y frutos (Kiefer, 1986; Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010). Entre las propiedades medicinales que se le conocen está su aplicación local como antihemorrágico en heridas no graves, como antimicótico, antibiótico, laxante, diurético, antirreumático, antiparasitario y para el tratamiento de la tos y el dolor de muelas (Heller, 1996; Makkar *et al.*, 1998; Pabón-Garcés, 2009).

También tiene otros usos potenciales en la industria, entre los que destacan los siguientes:

- Potencialmente, puede ser utilizada para producir biocombustibles en zonas semiáridas sin competir con la producción de alimentos (Lutz, 1992; Heller, 1996; FAO-ECOCROP, 2010).
- La cáscara del fruto y las semillas pueden usarse para extraer petróleo y producir jabón de tocador (Esteves, 1960; Andrade, 1978; Cosselet *et al.*, 1982).
- La savia de las hojas produce colorantes que tiñen de color rojo y negro indeleble. La corteza tiene un 37% de taninos que dan un colorante azul oscuro. El látex también tiene un 10% de tanino y se puede usar como tinta (Pabón-Garcés, 2009).
- La pasta sobrante de extraer sus aceites, después de pasar por un proceso de destoxicación, puede usarse sin problema para alimentar a vacas, cerdos, aves y peces (tilapia) pues contiene altos niveles de proteína (55 a 60%, superior al encontrado en cereales y algunas leguminosas) (Martínez-Herrera *et al.*, 2007a; 2007b; Pabón-Garcés, 2009).
- Sin destoxicificar, puede usarse como abono orgánico ya que tiene un alto contenido en nitrógeno, similar al del estiércol de gallina (Vöhringer 1987; Henning *et al.*, 1995; Pabón-Garcés, 2009).



- Los extractos de todas sus partes vegetativas tienen propiedades insecticidas, fungicidas (Grainge y Ahmed, 1988) y molusquicidas (García y Lawas, 1990).

Como fuente de alimento, Duque (1985) menciona que sus hojas jóvenes pueden comerse después de ser cocidas al vapor, al igual que las semillas al eliminarse el embrión (Levingston y Zamora, 1983), dicha práctica se realiza en algunas regiones de México ya que las especies nativas tienen un menor contenido de esteres de forbol (Aponte, 1978; Panigrahi et al., 1984; Delgado y Parado, 1989). En Veracruz y Puebla se utiliza en la preparación de tamales, pollo en pipán, con huevo o simplemente tostada en comal (Martínez-Herrera et al., 2007a).

Con respecto a la sustentabilidad y protección al ambiente, esta especie puede ser utilizada en planes de reforestación, principalmente para suelos marginales, ociosos y agotados, con una vida útil de 30 a 50 años (Martínez-Herrera et al., 2007a; Pabón-Garcés, 2009; FAO-ECOCROP, 2010). Como no son usadas para alimento del ganado sino para controlar la erosión del suelo (Heller, 1996), son ampliamente cultivadas en los trópicos como setos y cercos vivos (Zan, 1985; Van den Bergh, 1985; Sherchan et al., 1989; Spaak 1990; Lutz, 1992; Diallo, 1994).



XII. MERCADO DE LA JATROFA

En el año 2008 existían aproximadamente 242 proyectos que involucraban el cultivo de la jatrofa, de los cuales 104 se desarrollaban en Asia, 97 en África y 41 en Latinoamérica (GEXSI, 2008). En el Cuadro 5 se enlistan los países con actividad comercial en el cultivo de jatrofa.

Cuadro 5. Escala de la actividad comerciales del cultivo de la jatrofa a nivel mundial.

América	África			Asia y Polinesia
Brasil	Ghana	República del Congo	Bangladesh	
México	Madagascar	Egipto	China	
Argentina	Mozambique	Gambia	India	
Belice	Suazilandia	Guinea	Indonesia	
Colombia	Tanzania	Guinea-Bissau	Lao	
Costa Rica	Zambia	Liberia	Myanmar/Burma	
Rep. dominicana	Camerún	Sierra Leona	Tailandia	
Ecuador	Costa de marfil	Togo	Vietnam	
Guatemala	Etiopía	Algeria	Camboya	
Honduras	Kenia	Chad	Filipinas	
Perú	Mali	Djibouti	Malasia	
Bolivia	Malawi	Eritrea	Sri Lanka	
Haití	Namibia	Gabón	Taiwán	
Nicaragua	Nigeria	Guinea Ecuatorial	Pakistán	
Panamá	Senegal	Lesoto	Polinesia	
Paraguay	Uganda	Libia	Arabia saudita	
Chile	Zimbabue	Marruecos	Emiratos árabes Unidos	
Cuba	Angola	Mauritania	Israel	
Estados Unidos	Burundi	Ruanda	Maldivas	
Guyana	Burkina-Faso	Santo Tomé y Príncipe	Nepal	
Jamaica	Botsuana	Somalia	Omán	
Surinam	Cabo Verde	Sudáfrica	Papua Nueva Guinea	
Uruguay	Rep. Centro Africana	Sudan	Timor	
Venezuela	Rep. Dem. del Congo	Túnez	Yemen	

█ Fuerte actividad (>5000 ha)
█ Iniciando actividad (100 a 5000 ha)
█ Baja actividad reportada
█ Sin actividad reportada

Fuente: GEXSI (2008).



En el Estudio sobre el Mercado Global de la jatrofa (GEXSI, 2008), se menciona que a partir de 2008 se esperaba una inversión global anual de mil millones de dólares, un promedio de 300 a 500 dólares por hectárea, dicho recurso provendría principalmente de apoyos gubernamentales y un contado número de empresas privadas. Actualmente, dos tercios de todos los proyectos de jatrofa son manejados por pequeños productores locales, a menudo en combinación con asesoría técnica por parte de instituciones de investigación; en América Latina y Asia este esquema se presenta en el 50% de las plantaciones.

El apoyo político para cultivar jatrofa es alto y se considera que aumentará con los años, especialmente en Asia. Además, el aumento de los precios del petróleo está creando una fuerte demanda de biocombustibles, por lo tanto, las grandes compañías petroleras y de recursos energéticos han comenzado a implementar proyectos de jatrofa a gran escala. Así, el enfoque de la regulación gubernamental se desplazará hacia una mayor regulación para el sector de los biocombustibles. En América, sólo en México existe una legislación y programas específicos para el aprovechamiento de los biocombustibles basados en jatrofa, ya que en el resto de los países solo existe legislación y programas generales sobre biocombustibles o están en proceso de elaboración.

Debido a la etapa temprana en la que se encuentra la industria de la jatrofa, la producción para los mercados locales es más importante que la exportación, especialmente en Asia, donde se están realizando la mayor parte de los proyectos de investigación sobre este cultivo. Las empresas privadas con superficies cultivadas con jatrofa son: D1-BP Fuel Crops (con presencia preponderante en Asia y África), MissionBiofuels (Asia), Sunbiofuels (Etiopia, Tanzania y Mozambique) y GEM Biofuels (Madagascar). En México el 33% de las plantaciones de jatrofa establecidas son de inversión privada y el restante 67% corresponde a plantaciones piloto (GEXSI, 2008).



XIII. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

En la identificación de zonas potenciales para el cultivo de la jatrofa (*Jatropha curcas L.*) en el estado de Campeche se empleó la metodología propuesta por Tijerina *et al.* (1990) en su obra “El Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de Cultivos Básicos en Condiciones de Temporal”, en la cual se expone que la producción sustentable de alimentos es determinada por factores ambientales (suelo y clima) y factores socio-económicos, culturales y tecnológicos complejos. Por ello, para la determinación de zonas de alta potencialidad para el cultivo de jatrofa en Campeche se consideró sólo los factores ambientales (clima y suelo).

Se utilizó el procedimiento de Zonificación Agroecológica propuesto por la FAO (1981), quién en colaboración con el *International Institute for Applied Systems Analysis*(IIASA) este procedimiento expandió sus capacidades al incorporar una herramienta de ayuda en la toma de decisiones con múltiples criterios para optimizar el uso del recurso suelo, analizando diferentes escenarios en función de un objetivo (Fischer *et al.*, 1998). La zonificación agroecológica (ZAE) se refiere a la división de la superficie de la tierra en unidades más pequeñas, que poseen características similares relacionadas con su aptitud, con la producción potencial y con el impacto ambiental (FAO, 1994).

Derivado de ello la FAO desarrolló el programa de computo AEZWIN que integra todo lo anterior y que se puede adquirir en el portal de la FAO (www.fao.org). En la Figura 4 se esquematiza de manera sucinta la metodología empleada para la zonificación agroecológica (FAO, 1981) del cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas L.*) en el estado de Campeche.

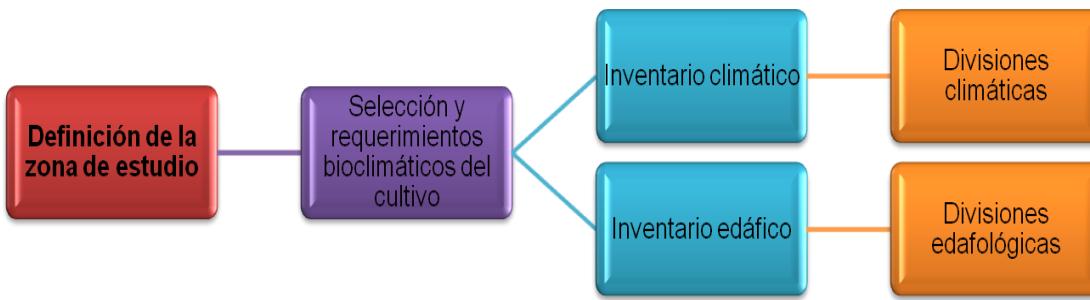


Figura 4.Metodología simplificada de la zonificación agroecológica para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas L.*).

El esquema de la Figura 4 se basa en el análisis del marco biofísico (ambiental), y trata de responder las siguientes preguntas:

- ◆ ¿Existe la posibilidad de expandir o introducir con éxito un cultivo?,
- ◆ ¿Dónde sembrarlo o establecerlo?,
- ◆ En cultivos anuales de secano: ¿Cuándo es la época propicia para sembrarlo o establecerlo?, y
- ◆ ¿Cuánto rendimiento se puede esperar?

Una vez que ha sido definida la zona de estudio, en este caso el estado de Campeche, el procedimiento en general, comprende ocho etapas que corresponden a:

1. Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo.
2. Acopio de datos climatológicos y estimación de elementos faltantes.
3. Análisis agroclimático, para definir el inventario climático y las divisiones climáticas.
4. Análisis fisioedáfico para definir el inventario edáfico y las divisiones edafológicas.
5. Elaboración de los mapas componentes.
6. Síntesis cartográfica sucesiva.
7. Presentación de resultados.
8. Verificación en campo (siempre y cuando el cultivo exista en el campo).



XIV. SELECCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS BIOCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE JATROFA(*Jatropha curcas*L.)

Las variables principales que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivo en el cultivo de jatrofa fueron: clima y suelo por la relación directa que guardan con el rendimiento del cultivo, dentro de las variables climáticas se analizaron cinco elementos climáticos y ocho propiedades edafológicas (físicas y químicas), las cuales se listan en el Cuadro 6. Estos requerimientos bioclimáticos se tomaron de los reportados por la FAO en el siguiente sitio de Internet:

<http://www.ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm>.

Cuadro 6. Variables seleccionadas para definir áreas de alta potencialidad para el cultivo jatrofa (*Jatropha curcas* L.) en el estado de Campeche.

VARIABLES CLIMATICAS	VARIABLES EDÁFICAS
Precipitación total	Profundidad
Temperatura media anual	Fertilidad
Promedio de la temperatura mínima	Textura
Promedio de la temperatura máxima.	pH
Radiación	Pendiente (%)
	Drenaje
	Salinidad
	Toxicidad por aluminio.

Fuente: FAO, 1994. Disponible en <http://www.ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm>.

Como parte del proceso de selección de la información se utilizó la base de datos del programa ERIC III 2.0. (IMTA, 2009), que permitió analizar los registros diarios de temperatura y precipitación procedentes de las 55 estaciones meteorológicas localizadas en el estado de Campeche (Anexo 1).

Para complementar la información reportada por ERIC III 2.0. (IMTA, 2009), se acudió a la base de datos reportada por García (2004) y SNM (2010) para las variables de precipitación y temperaturas. Se consultó información documental vía



INTERNET, con la finalidad de hacer una investigación más extensa en conocimientos edafoclimáticos del cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas L.*).

14.1 Inventario climático

La elaboración de un inventario climático de acuerdo a los lineamientos de la FAO (1978; 1981) constan de dos etapas: 1) Definición de las divisiones climáticas mayores, y 2) Obtención de los periodos de crecimientos.

14.1.1 División climática

Las divisiones climáticas fueron definidas con base en los requerimientos térmicos del cultivo de jatrofa que limitan su distribución a escala global. Para establecer las divisiones climáticas mayores, como primer paso se considera el efecto de la altitud, en espacio y tiempo, sobre la temperatura media. Para lo cual, las temperaturas medias mensuales se convirtieron a temperaturas a nivel del mar, con un gradiente alto térmico de $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ de elevación y con el trazo de isolíneas. Es importante mencionar que para el estado de Campeche no hubo problemas en la clasificación del clima porque es similar en toda la región.

14.1.2 Período de crecimiento

El periodo de crecimiento se considera como el número de días durante el año en los que existe disponibilidad de agua y temperaturas favorables para el desarrollo del cultivo de la jatrofa. Para calcular el inicio, final y duración en días del periodo de crecimiento de los cultivos, de acuerdo con el método de la FAO (FAO, 1978; 1981), se utilizó el programa AGROCLIM (Aceves-Navarro, 2000), que realiza dicho cálculo a partir de datos mensuales de precipitación y temperatura observados y datos de evapotranspiración potencial que se estiman para cada estación meteorológica.



14.2 Inventario edafológico

14.2.1 División edafológica

La segunda etapa del método consiste en la evaluación del recurso suelo con base en las unidades del sistema FAO/UNESCO, para lo cual se consideraron 8 variables: profundidad, fertilidad, textura, pH, pendiente (5), drenaje, salinidad y toxicidad por aluminio. Posteriormente, se realizó la sobre-posición de los mapas de clima y suelo para delimitar las áreas aptas para el cultivo de jatrofa. Se seleccionaron estas variables por considerar que son los que más están limitando el establecimiento y el comportamiento productivo del cultivo en la región y porque permiten en una primera aproximación delimitar algunas de las áreas productoras.

14.3 Fuentes de información

14.3.1 Información climática

Se usó el Extractor Rápido de Información Climatológica, ERIC III 2.0. (IMTA, 2009), el cual facilita la extracción de la información diaria contenida en la base de datos CLICOM, el banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Así mismo, ésta información se complementó con las normales climatológicas mensuales reportadas por el Servicio Meteorológico Nacional en su página Web (SMN, 2010). Para crear la base de datos climática se recopiló información de series a nivel diario correspondiente a 55 estaciones meteorológicas del estado de Campeche. Estas series contienen información de las variables:

- I. Temperaturas mínimas.
- II. Temperaturas máximas.
- III. Precipitación.



En lo relativo a los datos de radiación solar; ésta información básica para la estimación de los rendimientos potenciales, se obtuvo de la base de datos generada por Contreras, (2000)para el estado de Campeche.

14.3.2 Información edafológica

Se recabó información documental sobre el conocimiento de los suelos en el estado de Campeche; que abordan aspectos físicos y químicos, clasificándolos de acuerdo a la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización de la Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (FAO/UNESCO).

14.3.3 Información cartográfica

El Programa ArcView GIS (Demey y Pradere, 1996, ESRI, 2004), se utilizó como herramienta para la elaboración de cartografía. Consiste en un sistema de mapeo computarizado que relaciona lugares con información agroclimática, iguales a las del cultivo de jatrofa, las cuales se denomina áreas con alto potencial productivo.

XV. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO POTENCIAL PARA EL CULTIVO DE JATROFA

En la actualidad existen diferentes procedimientos para establecer el potencial de producción de cultivos para una zona, los cuales en general, consisten en estimar el rendimiento máximo y delimitarlo de acuerdo a los problemas ambientales o de manejo que se presenten.

Uno de esos procedimientos es conocido como el método de Zonas Agroecológicas que fue propuesto por FAO (1978). En el presente trabajo, los



autores utilizaron este procedimiento, adaptándolo y modificándolo para estimar el rendimiento potencial del cultivo de jatrofa (*Jatropha curcasL*) en el estado de Campeche.

La estimación de rendimiento máximo propuesto en el proyecto de Zonas Agroecológicas de la FAO (FAO, 1978; FAO 1981), se obtiene a partir de la ecuación (1):

$$Y = Bn \cdot Hi \quad (1)$$

Donde:

Y = Rendimiento máximo sin restricciones ($t \text{ ha}^{-1}$)

Bn = Producción de biomasa neta ($t \text{ ha}^{-1}$)

Hi = Índice de cosecha (adimensional)

La biomasa neta (**Bn**) se entiende como la materia seca total y el rendimiento (**Y**) como la materia seca económicamente aprovechable que produce plantas sanas, con un suministro adecuado de agua y nutrientes. Siendo el índice de cosecha (**Hi**), por lo tanto, una parte proporcional de la biomasa neta.

La biomasa neta (**Bn**) para un cultivo se estima mediante la ecuación (2).

$$Bn = (0.36 \cdot bgm \cdot L) / ((1/N) + 0.25 \cdot C_t) \quad (2)$$

Expresada en ($kg \text{ ha}^{-1}$)

Donde:

bgm = Tasa máxima de producción de biomasa bruta para un IAF ≥ 5 en ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), éste se obtiene a partir de la ecuación (3).



$$bgm = F * b_0 + (1 - F) * b_c$$

Expresada en (kg ha⁻¹ d⁻¹)

(3)

Donde:

F = Fracción del día cubierta con nubes que se estima con la ecuación (4).

b₀ = Tasa de fotosíntesis bruta en días completamente nublados (kg ha⁻¹ d⁻¹) (**Pm** = 20 kg ha⁻¹ h⁻¹). Se obtiene de Tablas, entrando con el valor de la latitud de la localidad en cuestión.

b_c = Tasa fotosíntesis bruta en días completamente despejados (kg ha⁻¹ d⁻¹) (**Pm** = 20 kg ha⁻¹ h⁻¹). Se obtiene de Tablas, entrando con el valor de la latitud de la localidad en cuestión.

b₀ y **b_c** son valores diarios y en cultivos cerrados (IAF ≥ 5)

$$F = (A_c - 0.5 * Rg) / (0.80 * Rg)$$

(4)

Donde:

A_c= Radiación fotosintéticamente activa en un día totalmente despejado (cal cm⁻² d⁻¹) (Tablas para Pm = 20 kg ha⁻¹ h⁻¹).

Rg= Radiación global medida (cal cm⁻² d⁻¹)

Los valores de (**A_c**), (**b₀**) y (**b_c**) para diferentes latitudes que reporta de manera tabulada la FAO, (1978), para una fotosíntesis máxima (Pm) de 20 kg ha⁻¹ h⁻¹, fueron ajustados a modelos de regresión por Campos (1996). Utilizando éstos modelos, se desarrolló un macro de Excel por los autores del presente trabajo,



que calcula dichos valores a nivel diario, en base solo a la latitud de la localidad.

En la ecuación (4) se asume que la radiación fotosintéticamente activa que se recibe en un día totalmente cubierto es el 20% de la (**Ac**) y que la radiación fotosintéticamente activa equivale aproximadamente al 50% de la radiación global total de onda corta (**Rg**).

Para calcular el coeficiente de tasa máxima de crecimiento (**L**) se requiere primero calcular la temperatura diurna (**T_{foto}**), la cual se obtiene con la ecuación (5)

$$T_{\text{foto}} = T_{\max} - (1/4)(T_{\max} - T_{\min}) \quad (5)$$

Donde:

T_{max} = Temperatura máxima

T_{min} = Temperatura mínima

L = Coeficiente de tasa máxima de crecimiento, que se calcula mediante la ecuación (6)

$$L = 0.3424 + 0.9051 * \log_{10} (\text{IAF}) \quad (6)$$

Donde:

IAF = Índice de área foliar fue de 6.0 (Kalannavar, 2008).

N = Duración del ciclo del cultivo (365 días)

C_t = Coeficiente de respiración (R_m). Este coeficiente se calcula con la ecuación (7).

$$C_t = C_{30} * (0.044 + 0.00019 * T + 0.0010 * T^2) \quad (7)$$



Donde:

C_{30} = 0.0108 para un cultivo como la jatrofa que no es leguminosa.

T = Temperatura media (Celsius).

Para un mayor detalle y exemplificación de la utilización de éste procedimiento de cálculo, se recomienda al lector consultar a Tijerina *et al.* (1990). Así como el Boletín 73 de la FAO (FAO, 1977).

Obtenida la biomasa neta se procede a calcular el rendimiento potencial; el cual se obtiene al multiplicar la biomasa neta total obtenida por el índice de cosecha (Hi) del cultivo de jatrofa(*Jatropha curcas* L.). El Hi del cultivo de jatrofa fue de 0.35, que fue reportado por Jongschaap *et al.* (2007).

Finalmente se elaboran los mapas para zonas con potencial climático, zonas con potencial edafológico y zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de jatrofa(*Jatropha curcas* L) en el estado de Campeche.

XVI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez identificadas las variables climáticas y edáficas con mayor influencia en el crecimiento y desarrollo en el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas* L.), indicadas en la ficha técnica del Anexo 2 y Anexo 3, se realizó el análisis para la zonificación agroecológica de este cultivo en el estado de Campeche.

Como resultado del análisis agroclimático se determinó que el estado de Campeche cuenta una superficie de 5,143,936.71ha con potencial agroclimático

Jatropha Curcas L.



para el cultivo de *Jatropha curcas* L (Cuadro 7). Es decir que el 92.4% de la superficie del estado cuenta con condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo del cultivo de la jatrofa (Anexo 4).

Cuadro 7. Superficie con potencial agroclimático, edafológico y edafoclimático para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas* L.) en el estado de Campeche.

CULTIVOS	SUPERFICIE CON POTENCIAL CLIMÁTICO		SUPERFICIE CON POTENCIAL EDAFOLOGÍCO		SUPERFICIE CON POTENCIAL EDAFOCLIMÁTICO	
	ha	% [†]	ha	% [†]	ha	% [†]
Jatrofa	5,143,936.71	92.4	1,911,678.75	34.3	1,330,498.32	23.9

[†]Porcentaje calculado con relación a la superficie estatal total. Fuente: Elaborado a partir del mapa de zonas con potencial edafoclimático para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas* L.).

Aun cuando esta superficie cumple con los requerimientos de clima para establecer el cultivo de jatrofa, es importante mencionar que dicha superficie no necesariamente cuenta con los requerimientos edafológicos para este cultivar. De esta manera al considerar los requerimientos edafológicos (Anexo 3) del cultivo de jatrofa y realizar el análisis correspondiente se determinó que en el estado existe un área de 1,911,678.75 ha con potencial edáfico para el cultivo de jatrofa, es decir que un 34.3% de la superficie estatal cuenta con suelos que satisfacen los requerimientos de suelo para establecer este cultivo(Cuadro 7, Anexo 5).

El total de dicha superficie edáfica está representado por 24 subunidades de suelo, entre las que destacan por su superficie la subunidad GleysolMólico (Calcárico, Arcílico) con 624,854.48 ha y Vertisol Gléyico (Calcárico) con 216,001.44 ha, que en conjunto representan alrededor del 44% de la superficie edáfica total. Las subunidades con una pequeña superficie corresponden a Luvisol Cutánico Gléyico (Éutrico, Arénico) con 1,867.09 ha y Luvisol Gléyico (Hiperéutrico, Arcílico) con 1,888.49 ha (Cuadro 8).

Jatropha Curcas L.



Cuadro 8. Superficie (ha) de las subunidades de suelos con potencial para el cultivo jatrofa (*Jatropha curcas L.*) en el estado de Campeche.

SUBUNIDADES DE SUELO	SUPERFICIE (ha)
Luvisol Cutánico Gléyico (Éutrico, Arénico)	1,867.09
Luvisol Gléyico (Hiperéutrico, Arcílico)	1,888.49
GleysolHístico (Calcárico, Sódico)	3,389.15
Luvisol Háplico (Férrico, Hiperéutrico)	9,726.10
GleysolHáplico (Calcárico, Húmico, Arcílico)	13,004.00
GleysolHáplico (Húmico, Arcílico, Nótico)	19,059.29
GleysolMólico (Calcárico, Sódico, Arcílico)	20,846.64
Luvisol Cutánico Gléyico (Hiperéutrico, Arcílico)	22,113.24
Luvisol Háplico (Húmico, Hiperéutrico)	35,448.80
Luvisol Háplico (Férrico, Crómico)	37,453.87
Cambisol Gléyico (Húmico, Arcílico)	39,201.72
GleysolMólico (Calcárico, Arcílico, Nótico)	40,982.10
GleysolMólico (Calcárico, Sódico)	43,064.10
GleysolMólico (Éutrico, Arcílico)	51,351.10
Luvisol Nítico (Férrico, Hiperéutrico)	53,783.93
Luvisol Háplico (Hiperéutrico, Esquelético, Arcílico)	57,666.55
Vertisol Gléyico (Calcárico, Húmico)	81,860.56
Vertisol Gléyico (Calcárico, Pélico)	91,579.14
Vertisol Gléyico (Húmico)	103,750.05
GleysolMólico (Calcárico, Húmico, Arcílico)	107,223.02
Vertisol Gléyico (Éutrico)	107,809.87
Luvisol Léptico (Hiperéutrico, Arcílico)	127,754.04
Vertisol Gléyico (Calcárico)	216,001.44
GleysolMólico (Calcárico, Arcílico)	624,854.48

Sin embargo para que el cultivo de jatrofa alcance rendimientos óptimos en el estado de Campeche es necesario que a la par se cumplan con los requerimientos tanto de clima (Anexo 2) como edafológicos (Anexo 3). De esta manera, al considerar los requerimientos de las variables ambientales (clima y suelo) para la zonificación potencial del cultivo de jatrophase identificó una superficie de 1, 330, 498.32 ha con potencial edafoclimático para establecer este cultivar; dicho valor corresponde a un 23.9% de la superficie total del Estado (Cuadro 9, Anexo 6).



Cabe mencionar que además se debe considerar un manejo agronómico adecuado para lograr los rendimientos óptimos y sustentables del cultivo.

Las zonas identificadas con potencial edafoclimático para el cultivo de jatrofa se encuentran distribuidas en 10 de los 11 municipios que conforman el estado de Campeche, concentrándose en mayor proporción en los municipios de Champotón, Escárcega y Candelaria, quienes en su conjunto conforman alrededor del 47% de la superficie potencial (Cuadro 9). Palizada es el único municipio que no presenta zonas con alta potencialidad de clima y suelo para el cultivo de jatrofa.

Cuadro 9. Superficie (ha) con alto potencial edafoclimático para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcas L.*) en los distintos municipios del estado de Campeche

MUNICIPIO	SUPERFICIE (ha)
Tenabo	32,697.02
Hecelchakán	58,614.21
Calkiní	63,021.46
Campeche	107,169.33
Carmen	119,303.13
Hopelchén	154,677.60
Calakmul	168,249.12
Candelaria	195,420.31
Escárcega	205,462.11
Champotón	225,884.03

En el presente trabajo de investigación también se estimaron los valores de rendimiento potencial para el cultivo de jatrofa en los distintos municipios del estado de Campeche, estos valores se muestran en el Cuadro 10. De los 11 municipios pertenecientes al estado destaca el rendimiento estimado de 21.00 t ha⁻¹ de jatrofa (materia seca) correspondiente al municipio de Escárcega, incluso si se compara este valor con el rendimiento promedio estatal estimado de 20.45 t ha⁻¹. Los menores rendimientos potenciales corresponden a los municipios de Calkiní y Champotón con 19.81 t ha⁻¹ y 19.85 t ha⁻¹, respectivamente.



Cuadro 10. Rendimiento potencial ($t \text{ ha}^{-1}$) estimado para el cultivo jatrofa (*Jatropha curcas L.*) en los municipios del estado de Campeche.

MUNICIPIO	RENDIMIENTO POTENCIAL*
	($t \text{ ha}^{-1}$)
Calakmul	20.33
Calkiní	19.81
Campeche	20.64
Candelaria	20.74
Carmen	20.65
Champotón	19.85
Escárcega	21.00
Hecelchakán	20.62
Hopelchén	20.39
Palizada	20.08
Tenabo	20.82
Rendimiento promedio	20.45

*Rendimiento en materia seca

XVII. CONCLUSIONES

Del estudio para determinar las zonas de alta potencialidad del estado de Campeche para el cultivo de jatrofa(*Jatropha curcas L.*), elaborado con base en la metodología propuesta por la FAO (1978) se desprenden las siguientes conclusiones:

- El estado de Campeche cuenta con una superficie con potencial agroclimático de 5, 143,936.71 hectáreas para el cultivar de jatrofa (*Jatropha curcas L.*), cuya superficie representa el 92.4% que satisface los requerimientos de clima óptimos para el desarrollo del cultivo, aunque no necesariamente los elementos del suelo.



- El estado de Campeche cuenta con una superficie con potencial edafológico de 1, 911,678.75 hectáreas para el cultivar de jatrofa (*Jatropha curcasL.*), cuya superficie representa el 34.3% que satisface los requerimientos de suelo óptimos para el desarrollo del cultivo, aunque no necesariamente los elementos del clima.
- El estado de Campeche cuenta con una superficie con potencial edafoclimático de 1, 330,498.32 hectáreas para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcasL.*), cuya superficie satisface tanto los requerimientos de clima y edafológicos para el desarrollo del cultivo.
- En cultivo de jatrofa se puede establecer en al menos el 23.9% de la superficie del estado de Campeche, con la implementación de un manejo agrícola integrado para favorecer su rendimiento óptimo y sustentable.
- Los principales municipios con áreas potenciales tanto de clima y suelo para el cultivar de jatrofa (*Jatropha curcasL.*) son Calakmul, Calkiní, Campeche, Candelaria, Carmen, Champotón, Escárcega, Hecelchakán, Hopelchén y Tenabo. Entre ellos con mayor superficie destacan: Champotón, Escárcega y Candelaria.
- Para el cultivo de jatrofa en el estado de Campeche se estima un rendimiento potencial promedio de 20.45 t ha^{-1} , valor correspondiente a materia seca del cultivo.
- En general los valores de los rendimientos potenciales del cultivo de jatrofa en los 11 municipios del Estado de Campeche son muy cercanos al valor promedio estatal, destacando el estimado para el municipio de Escárcega (21.00 t ha^{-1}).



XVIII. BIBLIOGRAFÍA

Aceves-Navarro, L.A.; A. Arrieta-Rivera y J.L. Barbosa-Olán. 2000. Manual de AGROCLIM 1.0. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 28 p.

Achten, W.M.J., L. Verchot; Y.J. Franken; E. Mathijs; V.P. Singh; R. Aerts& B. Muys. 2008. Jatropha bio-diesel production and use. Biomass and Bioenergy, 32: 1063–1084.

Andrade, F.J.L. 1978. Estudio prévio de industrializaçao da purgueira (*Jatropha curcas* L.) em Cabo Verde. Diploma thesis. Instituto Superior de Agronomia, UniversidadeTécnica de Lisboa.

APG (The Angiosperm Phylogeny Group). 1998. An Ordinal Classification for the Families of Flowering Plants. Annals of the Missouri Botanical Garden. 85:4.

Aponte, C. Hernández. 1978. Estudio de *Jatropha curcas* L. como recurso biótico. Tesis. Universidad Veracruzana, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México.

Baldrati, I. 1950, Trattatodellecoltivazionitropicali e sub-tropicali, Editore Ulrico Hoepli, Milano.

Brittaine, R. y N. Lutaladio. 2010. Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-Poor Development. Integrated Crop Management. VIFAD-FAO . Vol. 8. 96 p. [Versión Electrónica]. [Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i1219e/i1219e00.htm>

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050. By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050? In Session 2: The resource base to 2050: Will there be enough land, water and genetic potential to meet future food and biofuel demands?. Rome, Italy, June 24.



- Campos, A. D.F. 1996. Programa en BASIC para la estimación del rendimiento climático máximo. Agrociencia, 30: 21 – 30.
- Contreras, B. J.A., 2000. Estimación del Índice Hidrotérmico Local (IHT) en la República Mexicana. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. México. 116p.
- Cossel, J.D. von; H.J. Lehmann and H.R. Schütz. 1982. Seifenherstellung auf der Basis von Purgeira-Öl. Integrierte Entwicklungsmaßnahmen für die Inseln Fogo und Brava/Kap Verde. Consultant's report prepared for GTZ, Germany.
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. The New York Botanical Garden. Columbia University Press. New York, USA.
- Da Schio, B., 2010. *Jatropha curcas* L., a potential bioenergy crop. On field research in Belize. M.Sc. dissertation. Padua University, Italy and Wageningen University and Research centre, Plant Research International, the Netherlands. 112 pp.
- Dagar, J., O. Tomar; Y. Kumar; H. Bhagwan; R. Yadav&Tyagi, N. 2006. Performance of some under-explored crops under saline irrigation in a semi-arid climate in North-West India. Land Degradation and Development, 17(3): 285–299.
- Dehgan, B. and G.L. Webster. 1979. Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). University of California Publications in Botany, Vol. 74.
- Delgado, M. J.L. and E. Parado T. 1989. Potential multipurpose agroforestry crops identified for the Mexican Tropics. Pp. 166-173 inNew Crops for Food and Industry (G.E. Wickens, N. Haq and P. Day, eds.). Chapman and Hall, London.



Diallo, N. 1994. Trees and hedges in the agricultural systems in Faranah prefecture. Flamboyant 31:24-29.

Duke, J.A. 1985. CRC Handbook of Medicinal Herbs. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.

ESRI, (Environmental System Research Institute). 2004. ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS. 2004. Sistema de información. USA.

Esteves, B. A. 1960. Anteprojecto de umainstalaçao de extracçao de óleo de purgueiraem Cabo Verde. Missao de EstudosAgronómicos do Ultramar, no. 6.

FACT. 2007. Position Paper on *Jatropha curcas* L. State of the art, small and large scale project development. Fuels from Agriculture in Communal Technology Electronic version available in: <http://www.fact-fuels.org>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1978. Agroecological Zones Project. World Soil Resources. Report Num. 48. Vol. 1, Africa. 158 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1981. Report on the Agro-ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa. World Soils Report No. 48. Rome, Italia.

FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1977. Zonificación Agro-ecológica. Boletín de Suelos de la FAO 73.

FAO-ECOCROP. 2010. Food and Agriculture Organization. Crops Statistical Database. Electronic version available in:
<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>

FAOSTAT. 2010. Food and Agriculture Organization. Corporate Statistical Database. Electronic version available in: <http://faostat.fao.org/>

Jatropha Curcas L.



Figura de portada: Blanco, F. M. (O.S.A.). 2011. En línea:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jatropha_curcas_Blanco2.384.jpg
[22 de agosto de 2011].

Fischer, G.; J. Granat y M. Makowski. 1999. AEZWIN An interactive multiplecriteria analysis tool for land resources appraisal. World Soil Resources Reports 87. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Institute for Applied Systems Analysis. 91 p.

Francis, G.; R. Edinger; K. Becker. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas en India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. Nat. Res. Forum 29, 12-24.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 p.

Garcia, R.P. and P. Lawas. 1990. Note: Potential plant extracts for the control of *Azolla*fungal pathogens. Philipp. Agric. 73(3/4):343-348.

GEXSI (Global Exchange for Social Investment) . 2008. Global Market Study on *Jatropha*. Final Report. Prepared for the World Wide Fund for Nature (WWF). London/Berlin: Global Exchange for Social Investment.

Ghokale, D. 2008. *Jatropha*: Experience of Agro-Forestry and Wasteland Development Foundation, Nashik, India. In: International Consultation on Pro-poor *Jatropha* Development. 10–11 April 2008, Rome, IFAD. Versión electrónica disponible en: <http://www.ifad.org/events/jatropha/>

Ghosh, A., J.S Patolia; D.R. Chaudhary; J. Chikara; S.N. Rao, D. Kumar; G.N. Boricha& A. Zala. 2007. Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *Jatropha* de-oiled cake. The Netherlands: FACT Foundation. Versiónelectrónicadisponible en: <http://www.fact-fuels.org>

Jatropha Curcas L.



Gour, V. K. 2006. Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*. In: Singh, B., Swaminathan, R., Ponraj, V. (eds). *Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence – focus of Jatropha*, Hyderabad, India, June 9–10. New Delhi, Rashtrapati Bhawan, 2006: 223–251.

Grainge, M. and S. Ahmed. 1988. Handbook of Plants with Pest-control Properties. John Wiley & Sons, New York.

Heller, J. 1992. Untersuchungen über genotypische Eigenschaften und Vermehrungsund Anbauverfahren bei der Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) [Studies on genotypic characteristics and propagation and cultivation methods for physic nuts (*Jatropha curcas* L.)]. Dr. Kovac, Hamburg.

Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 66 p.

Henning, R., F. Samaké and I. Thiéro. 1995. La valeur fertilisante du tourteau du pourghère. ProjetPourghère DNHE - GTZ, Bamako, Mali.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. ERIC III. Extractor Rápido de Información Climatológica v.2.0. 2009.

INE (Instituto Nacional de Ecología) 2009. Uso de suelo y biocombustibles.

Versión electrónica disponible en:

http://www.ine.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_biocombustibles_pr es_03_mcervantes.pdf

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2008. La investigación del INIFAP en insumos para la elaboración de biocombustibles. Versión electrónica disponible en: www.biocombustibles.gob.mx/.../Pedro%20Brajcich%20-%20INIFAP.ppt

Jatropha Curcas L.



INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias).

2009. Jatropha. INIFAP, agente técnico para la formación de planta piloto de biodiesel en Chiapas. Versión electrónica disponible en: http://www.inifap.gob.mx/quienes_somos/noticias_html/nota_biodiesel.htm

Jongschaap, R.E.E., W.J. Corré; P.S Bindraban& W.A Brandenburg. 2007. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Wageningen, Plant Research International.

Kiefer, J. 1986. Die Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) - Ernteprodukt, Verwendungsalternativen, wirtschaftliche Überlegungen. Diploma thesis University Hohenheim, Stuttgart.

Kobilke, H. 1989. Untersuchungen zur Bestandesbegründung von Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.). Diploma thesis. University Hohenheim, Stuttgart.

Levingston, R. and R. Zamora. 1983. Medicine trees of the Tropics. Unasylva 35(140):7- 10.

Lutz, A. 1992. Vegetable oil as fuel. An environmentally and socially compatible concept for Mali. gate 4/92:38-46.

Makkar, H. P. S.; K. Becker; B. Schmook. 1998. Edible provenances of *J. curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors en seeds. Plant Food for Humans Nutr. 52, 31-36.

Makkar, H.P.S.; J. Martínez-Herrera & K. Becker. 2008. Variations in seed number per fruit, seed physical parameters and contents of oil, protein and phorbol esters in toxic and non-toxic genotypes of *Jatropha curcas*. Journal of plant Sciences 3,260-265.

Martínez-Herrera J.; A. Martínez-Ayala; H. Makkar; G. Francis y K. Becker, 2010. Agroclimatic Conditions, Chemical and Nutritional Characterization of



Different Provenances of *Jatropha Curcas* L. from Mexico.
European Journal of Scientific Research. 39(3): 396-407.

Martínez-Herrera J.; S Evangelista-Lozano y A. L. Martínez-Ayala. 2007b. Perfil nutricional de semillas de *Jatropha curcas* L. provenientes de Michoacán. CIBIA VI. VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Ambato, Ecuador.

Martínez-Herrera J.; S. Evangelista-Lozano y A. L. Martínez-Ayala. 2007b. Perfil nutricional de semillas de *Jatropha curcas* L. provenientes de Michoacán. CIBIA VI. VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Ambato, Ecuador.

Martínez-Herrera, J. 2007. El piñón mexicano una alternativa bioenergética para México. Revista Digital Universitaria 8,12.

Martínez-Herrera, J., L. Chel-Guerrero; A.L Martínez-Ayala. 2004b. The nutritional potential of Mexican piñon (*Jatropha curcas*). Toxic and antinutritional factors. In Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and oilseeds. (Múzquiz, M., Hill, G.D., Cuadrado, C., Pedrosa, M.M. and Burbano, C., Editors), Wageningen Academic Publisher, The Netherlands. Pp.185-188.

Martínez-Herrera, J., S. Evangelista-Lozano y A. L. Martínez-Ayala. 2004a. El piñon. Una planta nativa de México con potencial alimentario y agroindustrial. Hypatia, No. 12. Revista de Divulgación Científico-Tecnológica del Gobierno del Estado de Morelos. Congreso Nacional de Ciencias Ambientales y V Congreso Internacional de Ciencias Ambientales. Academia Nacional de Ciencias Ambientales y la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Martínez-Herrera, J.; P. Siddhuraju; G. Francis; G. Dávila-Ortíz, & K. Becker. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of



different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. Foodchemistry 96,80-89.

Martínez-Herrera, J.; S. Evangelista-Lozano y A. L Martínez-Ayala. 2007a.

Biocombustible de la nueva era energética. HYPATIA, 22. Revista de Divulgación Científico-Tecnológica del Estado de Morelos.

Münch, E. 1986. Die Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) - Botanik, Ökologie, Anbau.

Diploma thesis. University Hohenheim, Stuttgart.

Ogunwole, J., Chaudhary, D., Ghosh, A., Daudu, C., Chikara, J., Patolia, J. 2008.

Contribution of *Jatropha curcas* to soil quality improvement in a degraded Indian entisol. ActaAgriculturaeScandinavica, Section B – Plant Soil Science, 58(3): 245-251.

Openshaw, K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise.

Biomass and Bioenergy. 19:1–15.

Pabón-Gárces, G. 2009. Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de jatrofa (*Jatropha curcas* L.), p. 25-38. In: Recalde-Posso, E. R. y Durán-Altisent, J. M. (Eds). Cultivos Energéticos Alternativos. CIITOL (Centro Iberoamericano de Investigacion y Transferencia de Tecnología en Oleaginosas. Ecuador. Versión Electronica disponible en: http://www.oleoecuador.com/component?option=com_docman/task,cat_vie w/gid,42/dir,DESC/order,name/Itemid,72/limit,5/limitstart,0/

Panigrahi, S.; B.J. Francis; L.A. Cano and M.B. Burbage. 1984. Toxicity of *Jatropha curcas* seeds from Mexico to rats and mice. Nutr. Rep. Int. 29(5):1089-1099.

Parsons, A.T. 2008. Financing Jatropha Development. In: International Consultation on Pro-poor Jatropha Development. 10–11 April 2008, Rome, IFAD. Versión electrónica disponible en:
<http://www.ifad.org/events/jatropha/>



SAGARPA-SICDE. 2009. Apoyará Conafor producción de biodiesel en Q. Roo.

Versión electrónica disponible en:

<http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar¬aId=8450500344a44c19b1fd7d>

SAGARPA-SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas).

2010. *Jatropha curcas*. Versión electrónica disponible en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/snics/Zona%20de%20descarga/Jatropha.pdf>

Schultze-Motel, J. 1986. Rudolf Mansfelds Verzeichnis landwirtschaftlicher and gärtnerischer Kulturpflanzen (ohne Zierpflanzen). Akademie-Verlag, Berlin.

SEMARNAT-CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. Listados de municipios elegibles para plantaciones de *Jatropha Curcas*. Versión electrónica disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/196Municipios%20elegibles%20para%20Plantaciones%20de%20Jatropha%20curcas.pdf>

Sherchan, D.P.; Y.B. Thapa; R.J. Khadka and T.P. Tiwari. 1989. Effect of green manure on rice production. PAC Occasional Paper. No. 2, 12 p. Pakhribas Agricultural Centre. Dhankuta, Koshi Zone, Nepal.

SIAP. 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible In:
http://www_siap.gob.mx

Singh, R. A., M. Kumar & E. Haider. 2007. Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas* – A new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. Journal of SAT Agricultural Research 5 (1).

SMN, (Servicio Meteorológico Nacional). 2010. Climatología. Normales climatológicas 1971 – 2000. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>.

Jatropha Curcas L.



Spaak, J. D. 1990. Boiser les Iles du Cap-Vert - pourquoi, comment, pour qui? Bois For. Trop. 225:47-54.

Tewari, D. N. 2007. *Jatropha* and biodiesel. 1st ed. New Delhi: Ocean Books Ltd.

Tijerina-Chávez L.; C. Ortiz-Solorio; D. Pájaro-Huertas; E. Ojeda-Trejo; L. A. Aceves-Navarro y O. Villalpando-Barriga. 1990. Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de los Cultivos Básicos, en Condiciones de Temporal. Colegio de Postgraduados. Programas de Agrometeorología. SARH. Montecillo, México. 113 p.

Van den Bergh, J. 1985. Deux arbustes d'avenir pour vaincre l'avance du desert. Afr. Agric. 113:40-45.

Villalta N. M.Y. 2009. Estudio descriptivo del comportamiento del piñón (*Jatropha curcas* L.) en el departamento de Yoro, Honduras. Proyecto especial de Tesis. Honduras.

Vöhringer. 1987. Untersuchungszeugnis für Futtermittel. Landwirtschaftliche

Wani, S.; T. K. Sreedevi & S. Marimuthu. 2008. Pro-poor biodiesel initiative for rehabilitating degraded drylands. In: International Consultation on Pro-poor *Jatropha* Development. 10–11 April 2008, Rome, IFAD. Versión electrónica disponible en: <http://www.ifad.org/events/jatropha/>

Wilbur, R.L. 1954. A synopsis of *Jatropha*, subsection *Eucurcas*, with the description of two new species from Mexico. J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 70:92-101.

Zamarripa-Colmenero, A. y G. Díaz-Padilla. 2008. Alternativas para el desarrollo Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha Curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Oleaginosas en cadena. 16: 4-6.

Zamarripa-Colmenero, A.; J. Martínez-Herrera, R. De la Piedra-Constantino; A. Olivera- De los Santos. 2008. Biocombustibles: perspectivas de

Jatropha Curcas L.



producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L., en el trópico de México. Folleto Técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 30 p.

Zan, T. 1985. Le *Jatropha curcas* et le *Jatropha gossypiifolia* sous différentes conditions climatiques du Burkina Faso: Cultures et exploitations. Diplomathesis. Institut Supérieur Polytechnique, Université Ouagadougou.



XIX. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Campeche.

ID	NÚMERO DE ESTACIÓN	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
1	40001	BOLONCHEN, HIOPELCHÉN	-89.74	20.004	60
2	40004	Candelaria, Carmen	-91.046	18.183	50
3	40007	Ciudad del Carmen	-91.761	18.654	5
4	40008	Champotón, Champotón	-90.717	19.35	2
5	40009	Dzibalchen, Hiopelchén	-89.73	19.45	80
6	40010	Escárcega, Escárcega	-90.741	18.6	80
7	40011	Hecelchakán (DGE)	-90.133	20.183	50
8	40012	Hool, Champotón	-90.411	19.513	25
9	40013	Hiopelchén, Hiopelchén	-89.843	19.758	60
10	40014	Islas Arenas, Calkiní	-90.452	20.69	1
11	40015	Isla de Aguada, Cármén	-91.494	18.78	1
12	40017	Iturbide, Hiopelchén	-89.601	19.578	80
13	40018	La esperanza, Champotón	-90.083	18.167	2
14	40019	Nanzal, CD. Del Carmen	-91.333	18.3	--
15	40020	Miguel Hidalgo, Carmen	-90.867	17.867	100
16	40021	Monclova, Carmen	-90.82	18.057	100
17	40023	Nilchi, Campeche	-90.27	19.845	10
18	40024	Palizada, Palizada	-92.087	18.253	4
19	40027	Placeres, Champotón	-89.717	18.2	2
20	40028	Pustunich, Champotón	-90.479	19.145	30
21	40029	Sabancuy, Carmen	-91.176	18.973	5
22	40031	Silvituc, Champotón	-90.298	18.639	75
23	4034	Xcupil (A. Holcatzin)	-89.85	19.717	65
24	4037	Zoh Laguna, Hiopelchén	-89.417	18,592	190
25	4038	Campeche, Campeche	-90,544	19,838	5
26	4041	Champotón,Champotón DGE	-90,720	19,362	2
27	4042	Escárcega,Escárcega(DGE)	-90,733	18,600	85
28	4043	Hecelchakán (SMN)	-90,122	20,197	50
29	4053	Santa Cristina, Campeche	-90,381	19,815	10
30	4054	Chicbul, Cd. Del Carmen	-90,923	18,778	25
31	4056	Chumpan, Cd. Del Carmen	-91,508	18,213	20
32	4057	Mamantel, Cd. Del Carmen	-91,089	18,525	12
33	4058	Noh-Yaxche, Campeche	-89,742	20,004	30



Continuación de Anexo 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el estado de Campeche.

ID	NÚMERO DE ESTACIÓN	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
34	4059	Tinun, Tenabo	-90,228	19,961	50
35	4060	Xbonil, Champotón	-90,166	18,635	60
36	4064	Becal, Calkiní	-90,031	20,426	55
37	4067	Calkiní, Calkiní (DGE)	-90,033	20,367	--
38	4068	China I.N.I.P., Campeche	-90,474	19,673	10
39	4069	Campeche Sur, Campeche	-90,550	19,817	--
40	4070	Dzitbalche, Calkiní	-90,059	20,321	30
41	4071	Pocyxaxum, Campeche	-90,351	19,730	20
42	4072	Sihó-Chac, Champotón	-90,584	19,506	15
43	4073	Tenabo, Tenabo (DGE)	-90,200	20,017	7
44	4074	Xbonil, Champotón (DGE)	-90,217	19,633	--
45	4075	Canki	-90,118	19,988	15
46	4076	Chinchintok	-89,581	19,359	150
47	4077	San Juan Bautista	-89,927	19,874	50
48	4078	Chaccheito	-90,407	19,051	40
49	4079	Vista Alegre	-91,658	18,043	10
50	4080	Alvarado	-89,270	18,017	170
51	4081	Cristóbal Colón	-90,776	17,888	110
52	4082	Pablo T. Burgos	-90,697	18,297	50
53	4084	Tixmucuy, Campeche	-90,650	19,550	--
54	4085	Pomuch, Hecelchacan	-90,133	20,117	--
55	4086	El Zapote	-91,802	18,217	10

Jatropha Curcas L.



Anexo 2. Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de jatrofa, (*Jatropha curcasL*)

REQUERIMIENTOAGROCLIMÁTICO	ÓPTIMO		ABSOLUTO	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	11	28	7	36
Temperatura critica (durante el reposo)			-1	
Temperatura critica (durante el crecimiento temprano)			0	
Precipitación anual (mm)	500	1500	300	2000
Zona climática (clasificación de Köppen)	Tropical húmedo (Ar), Estepa o semiárido (Bs), Subtropical con verano lluvioso (Cs)			
Latitud		28° N y 35° S		
Fotoperiodo		No sensible		
Intensidad de la luz	Muy brillante	Muy brillante	Cielos despejados	Muy brillante
Altitud (m)	---	---	---	1600

Fuente: Brittaine y Lataladio, 2010; FAO-ECOCROP, 2010.

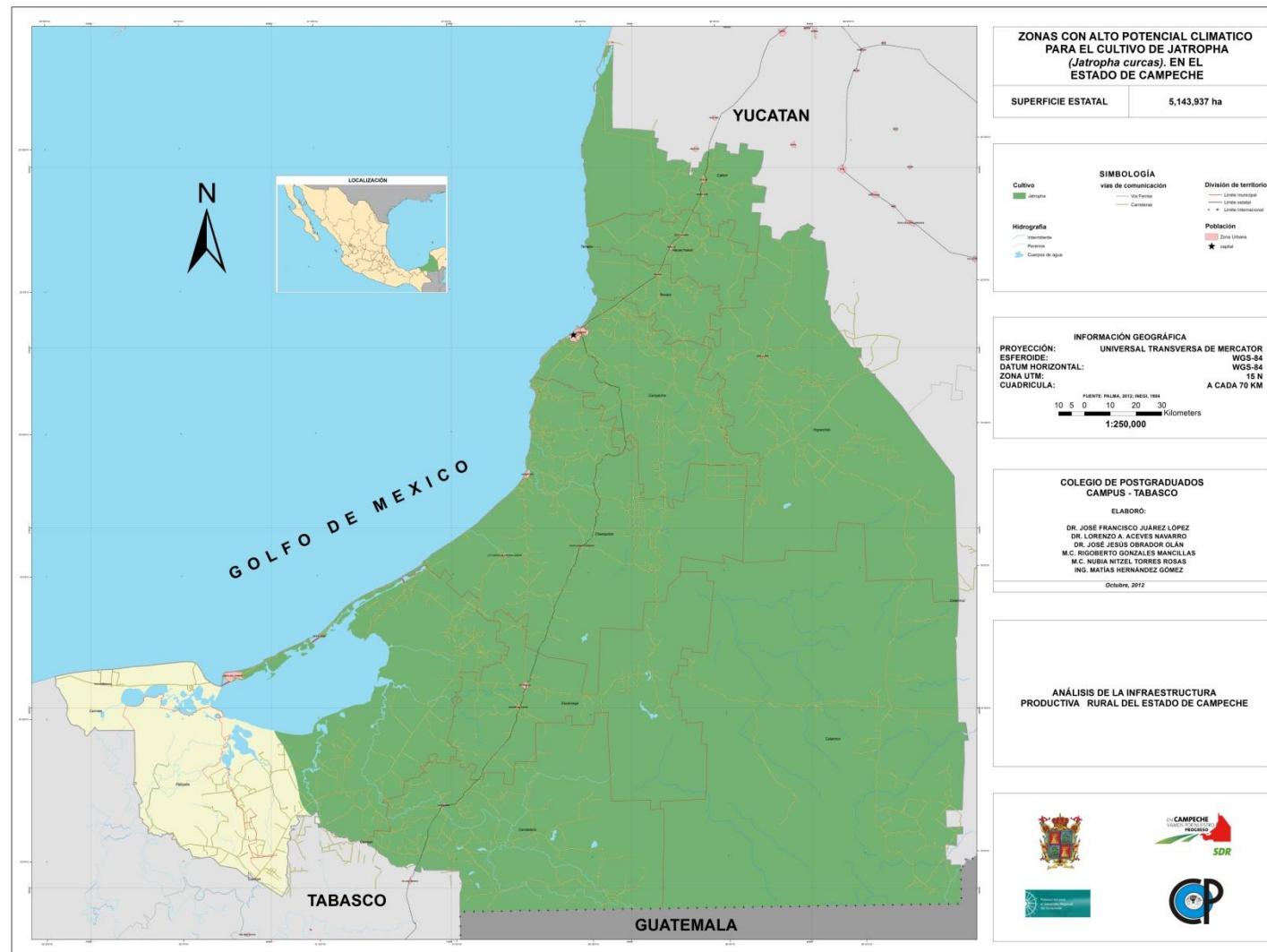
Anexo 3. Requerimientos Edafológicos del cultivo de jatrofa (*Jatropha curcasL*)

REQUERIMIENTO	ÓPTIMO	ABSOLUTO
pH del suelo	5.5 a 7.5	5 a 8
Profundidad del suelo	Profundos (mayor a 150 cm)	Profundos (mayor a 150 cm)
Textura del suelo	Mediana	Mediana, ligera
Fertilidad del suelo	Moderada	Baja
Salinidad del suelo	Baja (<4 dS/m)	Baja (<4 dS/m)
Drenaje del suelo	Bueno (periodos secos)	Bueno (periodos secos), Excesivo (seco / moderadamente seco)

Fuente: Brittaine y Lataladio, 2010; FAO-ECOCROP, 2010.

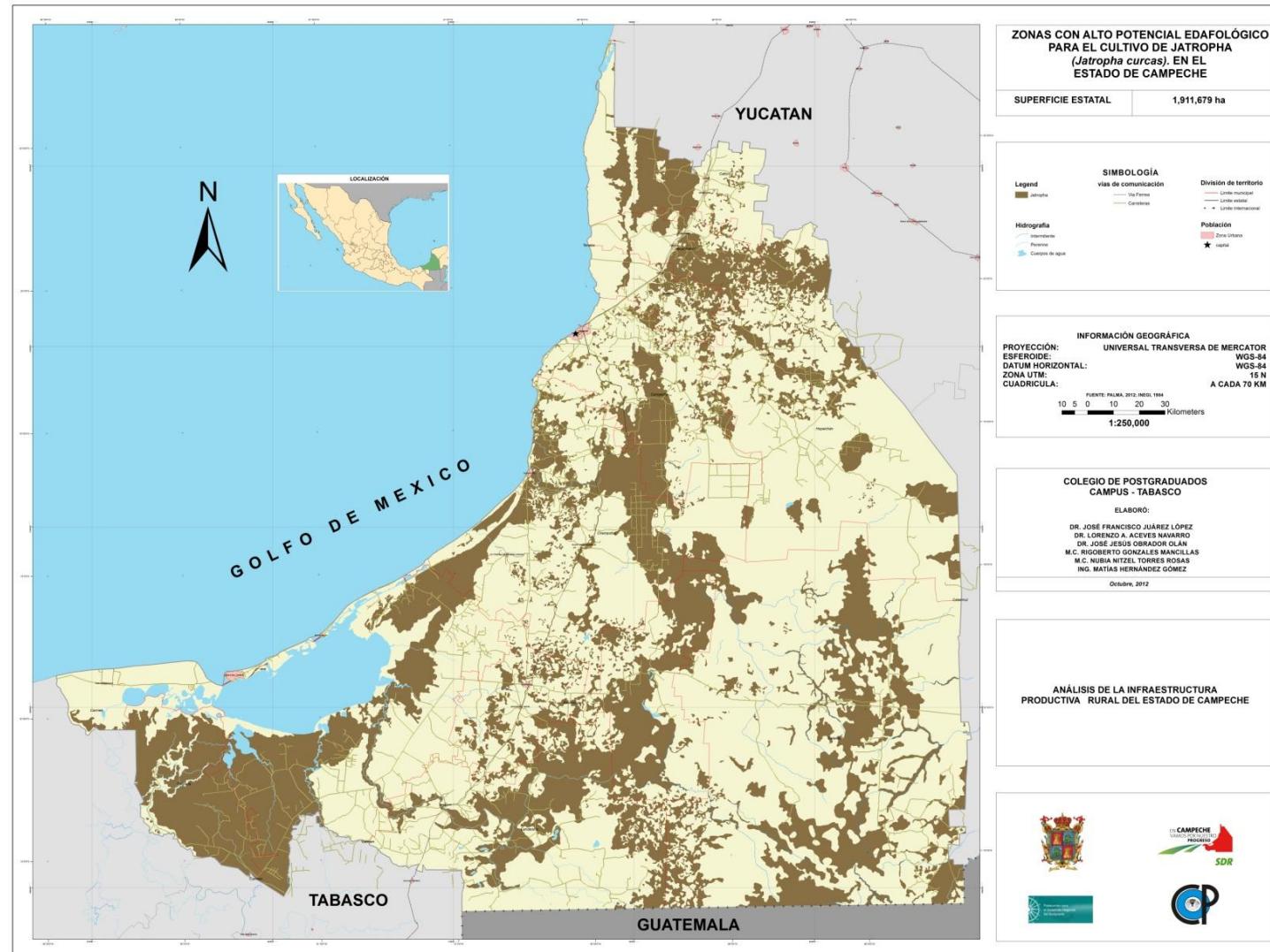


Anexo 4.Zonas con alto potencial agroclimático para el cultivo de jatrofa (*Jatropha curcasL*) en el estado de Campeche.



Anexo 5.Zonas con alto potencial edafológico para cultivar jatrofa (*Jatropha curcasL*) en el estado de Campeche.

Jatropha Curcas L.



Anexo 6. Zonas con alto potencial edafoclimático para cultivar jatrofa (*Jatropha curcas*L) en el estado de Campeche.

Jatropha Curcas L.

