

Versión en Español

Septiembre, 2009

Manual de Jatropha



Fotografías:

www.firemice.wordpress.com
www.jatropha-investmentfund.eu
www.commons.wikimedia.org



FACT
Fuels from Agriculture in
Communal Technology



Tabla de contenido

Prólogo	5
1. Datos Generales de la Jatropha	7
1.1 Introducción	7
1.2 Descripción Botánica.....	8
1.3 Ecología	10
1.4 Distribución Geográfica	10
1.5 Usos Históricos y Actuales de la Jatropha	11
1.6 Ficha Técnica	12
1.7 La Jatropha y el Desarrollo Local	12
1.8 Esquema del Manual de la Jatropha.....	13
1.9 Referencias.....	14
2. Establecimiento y Manejo de Plantaciones.....	15
2.1 Introducción	15
2.2 Preparación del suelo y campo de cultivo	15
2.2.1. Requisitos del suelo	15
2.2.2 Muestreo de suelos	17
2.2.3 Preparación del suelo	18
2.3 Desarrollo de la planta Jatropha	20
2.3.1 Etapas de desarrollo de la Jatropha.....	20
2.4 Material de plantación y métodos de siembra.....	22
2.4.1 La Variación Genética y Fenotípica	22
2.4.2 Selección de semillas	23
2.4.3 Germinación.....	23
2.4.4 Siembra Directa.....	24
2.4.5 Plantación en vivero	25
2.4.6 Esquejes (Estacas)	26
2.4.7 Clones Micropropagados	27
2.5 Manejo de Plantaciones (Agronomía)	27
2.5.1 Eliminación de Malezas.....	27
2.5.2 Manejo de Nutrientes.....	28
2.5.3 Podas.....	31
2.5.4 Riego	32
2.5.5 Cultivos Intercalados.....	33
2.6 Cercos de Jatropha.....	34



2.7 Rendimientos de semilla.....	34
2.8 Plagas y Enfermedades	36
2.8.1 Medidas de control	37
2.8.2 Medidas preventivas.....	38
2.9 Referencias.....	39
3. Cosecha	43
3.1 Introducción.....	43
3.2. Tecnologías de la cosecha.....	43
3.2.1 Recolección manual de semillas de Jatropha	44
3.2.2 Soluciones de cosecha mecánica	45
3.3 Extracción de semillas de las frutas	47
3.3.1 Despulpado	48
3.3.2 Separación de semillas y cáscaras de fruta.....	50
3.3.3 Secado de frutas	51
3.4 Secado y Almacenamiento de Semillas	52
3.4.1 Secado de Semillas.....	52
3.4.2 Área de almacenamiento de sacos	52
3.4.3 Condiciones de almacenamiento.....	54
3.5 Referencias.....	55
Glosario de Términos - Capítulo 4	56
4. Extracción del Aceite (Prensado) y Purificación	57
4.1 Introducción.....	57
4.2 Extracción Mecánica de Aceite	58
4.2.1 Limpieza y control de semillas	58
4.2.2 Proceso de prensado	58
4.2.3 Parámetros importantes en el prensado.....	59
4.3 Tecnologías de prensado y tipos de prensas	61
4.3.1 Prensas RAM	62
4.3.2 Extrusoras o prensas de aceite	63
4.3.3 Potencia requerida.....	65
4.3.4 Modelos sugeridos.....	66
4.3.5 Observaciones finales a las prensas.....	67
4.4 Purificación del aceite vegetal	67
4.4.1 Impurezas en el aceite	68
4.4.2 Sedimentación	69
4.4.3 Filtración	70
4.4.4 Centrifugado	77

4.4.5 Observaciones finales de la limpieza de aceite	78
4.5 Normas de calidad para el Aceite Vegetal Puro	78
4.5.1 Desgomado del aceite.....	81
4.5.2 Neutralización del aceite	81
4.6 Manipulación y almacenamiento del aceite.....	82
4.6.1 Criterios de Manejo	82
4.6.2 Criterios de almacenamiento.....	82
4.7 Bibliografía	84
5. Aplicaciones de los productos de Jatropha	86
5.1 Introducción.....	86
5.2 Aplicaciones del aceite de Jatropha.....	86
5.2.1 Lámparas y estufas de aceite.....	86
5.2.2 Uso de aceite vegetal puro como combustible directo en automóviles y motores de para generación de electricidad	88
5.2.3 Materia prima para la producción de jabón	112
5.2.4 Materia prima para la producción de biodiesel	113
5.3 Aplicaciones de otros productos de Jatropha	119
5.3.1 Madera de los tallos y hojas	119
5.3.2 Residuo del prensado de semillas (conocido en inglés como “presscake”).....	120
5.3.3 Lo que no se recomienda.....	124
5.4 Referencias.....	124
Apéndice del Capítulo 2: Establecimiento y Manejo de Plantaciones	168
Apéndice del Capítulo 3: Cosecha	171
3.1 Reglas de oro.....	171
3.2 Consejos y trucos	171
Apéndice del Capítulo 4: Extracción del Aceite (Prensado) y Purificación	172
4.1 Experiencia práctica con prensas y jatropha	172
4.2 Información sobre fabricantes de prensas	175



PRÓLOGO

En nuestra lucha por un medio ambiente mundial más limpio, el Ministerio Holandés de Medio Ambiente, en el marco del desarrollo sostenible, invierte de diferentes maneras con el fin de lograr reducciones en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La producción y utilización de biocombustibles a nivel local, como en el caso de la *Jatropha*, puede contribuir al logro de estos objetivos mediante el aumento de los ingresos derivados de la agricultura, el suministro de energía limpia y un impacto ambiental positivo.

Las semillas de la *Jatropha* pueden convertirse en portadoras de energía como lo es el aceite o el biodiesel, la electricidad y el biogás. Además, su uso puede apoyar a la producción rural a través de la transformación de materias primas agrícolas a productos de valor agregado con potencial de mercado, generación de energía para riego y protección del suelo contra la erosión. Como tal, la *Jatropha* posee un amplio potencial de aplicaciones. Sin embargo, en este manual la atención se centra en sus usos energéticos.

Los factores que favorecen el creciente uso de biocombustibles derivados de la *Jatropha*, son la resiliencia local, el agotamiento de los combustibles fósiles y la mitigación al cambio climático. La planta de la *Jatropha* nos proporciona un mecanismo para aumentar la biomasa, tanto arriba como debajo del suelo, así fijando dióxido de carbono (CO₂) como carbón. Al mismo tiempo, a través del uso de las semillas de la *Jatropha* para la producción de biocombustibles, se reduce la necesidad de combustibles de origen fósil. Un efecto positivo adicional es que la *Jatropha* puede utilizarse en un sistema local de energía renovable que permita a pequeños productores agrícolas locales generar ingresos a partir de la energía, en lugar de tener que pagar por el uso de combustibles fósiles.

Queda en claro que la *Jatropha* no es la solución a todos los problemas energéticos en los países en desarrollo. Sin embargo, es probable que sea uno de los cultivos para la producción de biocombustibles con una buena perspectiva de contribuir, no sólo a la reducción del uso de combustibles fósiles y sino también a la agricultura sostenible a nivel local. Además es poco probable que los biocombustibles sustituyan en el mediano plazo un porcentaje significativo de todos los combustibles fósiles utilizados en el sector transporte a nivel mundial. Lo anterior se debe a la falta de tierras adecuadas en competencia con las tierras destinadas para otros usos. Esto nos lleva a un fuerte debate sobre la producción de alimentos versus la producción de combustible.

Aunque la producción agrícola en la mayoría de los países en desarrollo puede intensificarse (incrementar la producción por hectárea) por un factor de 2 a 4, utilizando tecnología comprobada, esto no ha sucedido debido políticas agrícolas inadecuadas en muchos países,



así como los bajos niveles de inversión en el sector. Para uso local, la Jatropha puede combinar muy bien con la producción agrícola existente, donde una mejor producción de alimentos, combinada con Jatropha, puede resultar en una mayor producción por hectárea en comparación con un cultivo alimenticio mal manejado.

Hace unos 15 años, la Jatropha surgió como una fuente de biocombustible de gran interés, generando grandes expectativas. Desde entonces los múltiples estudios de plantaciones de jatropha brindan una mejor idea del potencial productivo de la planta bajo diferentes condiciones.

Este libro pretende proporcionar al lector información útil para evaluar el uso de la Jatropha para la producción de biocombustibles. En él, se cubren todos los aspectos (técnicos, organizativos, financieros) desde el cultivo de la Jatropha hasta su conversión en electricidad o biodiesel.

El difunto profesor Kees Daey Ouwens, pionero en este campo, estudió sobre la base de una investigación cuidadosa, la forma en cómo la utilización de biocombustibles producidos localmente pueden hacer la diferencia en las circunstancias locales. Es con este enfoque en mente, que le deseo mucho éxito en hacer la diferencia.

Ministro de Medio Ambiente, Holanda

Jacqueline Cramer

1. DATOS GENERALES DE LA JATROPHA

Autor principal: Eric van der Putten, con contribuciones de Ywe Jan Franken y Jan de Jongh.

1.1 INTRODUCCIÓN

La *Jatropha curcas* L. (nombre científico), mejor conocida como "Jatropha", es una planta que produce semillas con un alto contenido de aceite. Las semillas son tóxicas y, en principio, no comestibles.

La *Jatropha* crece bajo condiciones subtropicales, puede soportar condiciones extremas de sequía severa y baja fertilidad del suelo. Debido a que la *Jatropha* es capaz de crecer en suelos pobres, puede ayudar a la recuperación de tierras y restauración de áreas erosionadas. Además, como no es un alimento o un cultivo forrajero, desempeña también un papel importante en la disuasión de ganado, protegiendo los alimentos u otros cultivos de valor comercial o alimentario.

El interés actual en la *Jatropha* por parte de inversionistas, agricultores y organizaciones no gubernamentales, se debe primordialmente a su potencial como cultivo energético. De sus semillas se puede extraer aceite con buenas características para la combustión directa en motores de encendido por compresión o para la producción de biodiesel. Además, el aceite puede servir de base para la fabricación de jabón. La torta residual del prensado de la semilla es un buen fertilizante y también puede ser utilizado para la producción de biogás.

La *Jatropha* es un cultivo prometedor con una variedad de aplicaciones. La tecnología está en su fase inicial y al borde de la comercialización. Las expectativas son altas. Los primeros desarrollos ya están en marcha, pero hasta ahora, ha sido poco lo realizado. FACT (Combustibles provenientes de la Agricultura bajo Tecnología Comunitaria, por sus siglas en inglés) está adquiriendo experiencia a través de la implementación de varios proyectos piloto y ya ha adquirido varias lecciones aprendidas en cuanto a obstáculos iniciales y problemas. En varios proyectos, FACT ha intentado abordar estos problemas. El objetivo de este manual es compartir los conocimientos más recientes sobre todos los aspectos de la *Jatropha*, con profesionales y otras personas involucradas en su uso para el desarrollo local, con la producción de biocombustible como la opción más interesante.

En este contexto, el propósito fundamental de este libro será la puesta en marcha de plantaciones, transformación de frutas, semillas, extracción de aceite y su uso para el desarrollo local. Cada tema se analiza con detalle en distintos capítulos.

En este capítulo introductorio se describen las características básicas y globales de la *Jatropha*. Se incluye la descripción botánica, ecología, distribución geográfica, aplicaciones de la *Jatropha* y su aceite, cuestiones relacionadas a la sostenibilidad y el esquema del manual.

1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La *Jatropha curcas L.* tiene muchos nombres locales, tales como: Bagani (en la Costa de Marfil y Mali), Pourghère (Francés), Physic nut (Inglés), Tabanani (Senegal), Makaen/Mmbono (Tanzania), Piñon o Tempate (Latinoamérica), Purgeernoot (Holanda), Sketnoto (Surinam), por mencionar algunos. En todos los casos, la *Jatropha curcas L.* es un arbusto alto o árbol pequeño que puede crecer hasta 6 metros de altura, perteneciente a la familia Euphorbiaceae. Su tiempo de vida es de aproximadamente 50 años. El árbol es de hoja caduca; sus hojas caen bajo condiciones de estrés.

La planta tiene hojas verdes con una longitud y anchura de 6 a 15 centímetros. Las plantas de *Jatropha* muestran diferente estructuración que va desde una planta con tallo principal sin o con pocas ramas a una planta que se ramifica desde la base. Las ramas de la planta de la *Jatropha* contienen un líquido (látex) de color blanco, de textura pegajosa que deja manchas marrones, difíciles de lavar. El sistema radicular de las plantas naturales de *Jatropha* está muy bien desarrollado, con raíces creciendo tanto lateral como verticalmente en las capas más profundas del suelo.



Figura 1 – Fotografías de la Planta de *Jatropha* (tomada por Mauricio Moller)

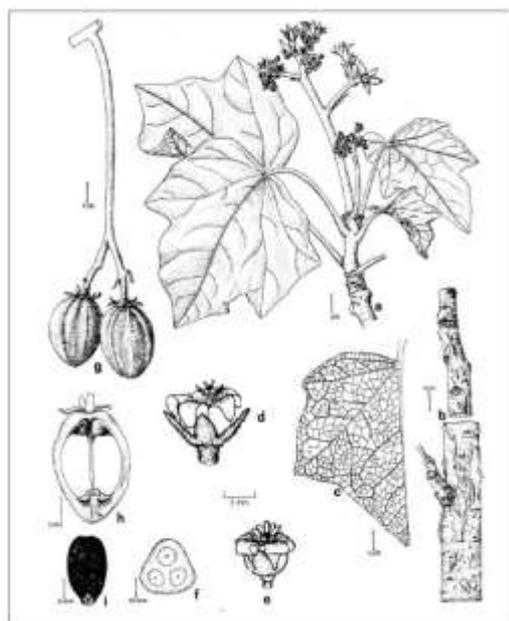
La *Jatropha* es monoica, con presencia de flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las frutas crecen al final de las ramas en racimos de 5 a 20 unidades, tienen una forma semejante a un balón de fútbol americano y alrededor de 40 milímetros de largo. Cada fruta contiene 3 semillas, aunque a veces se puede encontrar hasta 4 o 5.



Figura 2 – Fotografías de frutas de la *Jatropha* (tomada por Arthur Riedacker).

La semilla de la *Jatropha* se asemeja a un frijol negro y tiene en promedio 18 milímetros de largo, 12 de ancho y 10 de espesor. Las dimensiones de las semillas varían en una misma planta, así también entre semillas de diferentes procedencias. Los rangos de peso de las semillas varían entre los 0.5 y 0.8 gramos cada una, con un promedio de 1,333 semillas por kilogramo.

Las semillas contienen distintos componentes tóxicos (ésteres de forbol, curcín, inhibidores de tripsina, lectinas y fitatos) y no son comestibles. Las semillas consisten en una cáscara dura que representa alrededor del 37% en peso del total y un grano blanco y suave al interior que representa el 63% restante. Las semillas secas tienen un contenido de humedad de alrededor del 7% y contienen un rango de 32 a 40% de aceite, con un promedio de 34%. Prácticamente todo el aceite se encuentra en la parte interior de la semilla (núcleo).



- a) Rama en flor
- b) Corteza
- c) Sistema vascular de la hoja
- d) Flores femeninas (con pistilo)
- e) Flores masculinas
- f) Corte transversal de la fruta en estado verde
- g) Fruta
- h) Corte longitudinal de la fruta

Figura 3 - Nomenclatura de [3]



1.3 ECOLOGÍA

Algunos consideran la *Jatropha* como una maleza. No obstante, definitivamente no es una especie invasora, ya que la planta no se propaga por sí misma. Las semillas de las frutas que caen al suelo en los alrededores de la planta madre rara vez germinan y se desarrollan. Los frutos y las semillas son venenosas y por lo tanto no son ingeridas o transportadas por los animales, por lo tanto la *Jatropha* no se propaga de manera natural.

La *Jatropha* es una planta de gran resistencia que puede adaptarse a diversas condiciones ecológicas. Su mecanismo de supervivencia le permite soportar períodos de estrés (frío/ sequía severa/ pobre sistema radicular). La planta es capaz de recuperar los nutrientes de las hojas y guardarlos en el tallo y la raíz; cuando esto ocurre las hojas se vuelven amarillas y caen, el tallo permanece verde y fotosintéticamente activo. En este estado de latencia, la planta puede sobrevivir por períodos de más de un año sin lluvia.

En algunos casos, de manera natural, la *Jatropha* forma una relación de simbiosis con las micorrizas del suelo (una especie de hongo) que aumenta la capacidad de absorción de nutrientes y agua del suelo de la planta. La presencia de micorrizas aumenta la tolerancia de las plantas a la sequía y a niveles de nutrientes bajos. Esta simbiosis se produce en ocasiones en condiciones naturales, pero nunca se produce en plantaciones, a no ser que sea inducida de manera artificial.

1.4 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

La *Jatropha* históricamente tiene su origen en América Central y el norte de América del Sur. No obstante se ha distribuido a otras regiones tropicales por navegantes y exploradores europeos a partir del siglo 16. En la actualidad crece en áreas tropicales de todo el mundo (incluidos los países subsaharianos de África, el Sudeste Asiático, India, entre otros).



Figura 4 - Indicación de las condiciones climáticas más favorables para el crecimiento de la *Jatropha curcas* L. (30°N, 35 °S) y la Palma de Aceite (*Elaeis guinensis* Jacq. (4°N, 8 °S). [3]

1.5 USOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DE LA JATROPHA

Los registros históricos muestran que la *Jatropha* fue utilizada por los indios nativos de Centroamérica y quizás de América del Sur en la medicina herbaria. Ya en el año de 1836 las semillas de *Jatropha* se producían comercialmente en las islas de Cabo Verde. Las semillas fueron exportadas a Portugal y Francia y el aceite se utilizaba para el alumbrado de la calle y la producción de jabón [3]. Debido a la toxicidad de las hojas y su rápido crecimiento y resistencia, la *Jatropha* se empleó frecuentemente como una protección o cerco vivo, ya que no era afectada por el ganado. Actualmente, la *Jatropha* tiene muchos otros usos, la figura 5 ofrece un panorama general de las diversas aplicaciones de la *Jatropha* y sus productos.

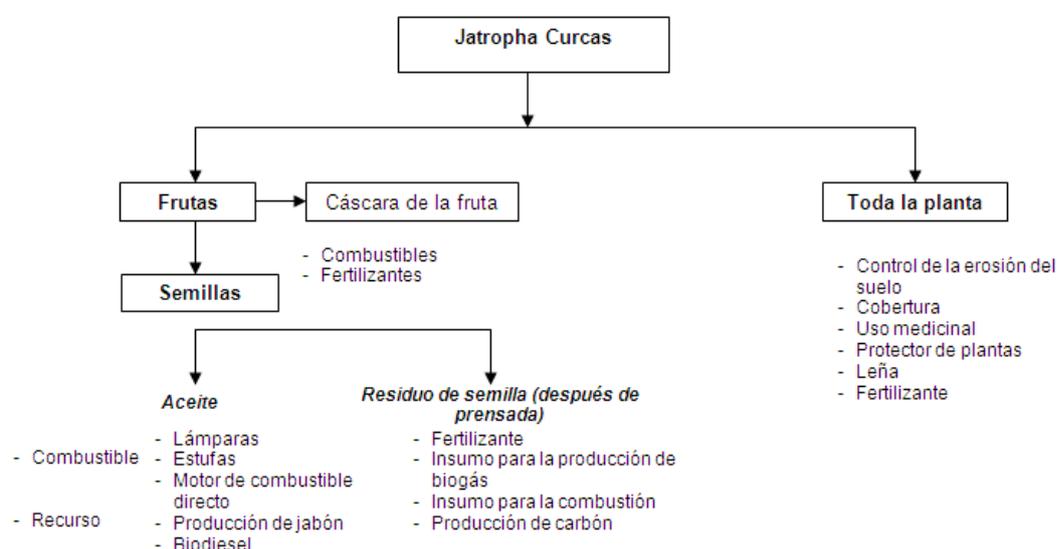


Figura 5 - Usos de la planta y productos de la *Jatropha*.



Figura 6: Izquierda: Semillas de *Pongamia* (otro árbol con semillas oleaginosas). En el medio: semillas de *Jatropha* de Tanzania. Derecha superior: jabón de Kakute Tanz. Abajo, aceite de Diligent.

Figura 6: Derecha: Pedazos del residuo de semillas prensadas utilizando una prensa de tipo strainer (Fotografía de Biodiesel Rural – Brasil)



1.6 FICHA TÉCNICA

Parámetro	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	Fuente
Rendimiento de semilla.	tonelada seca / hectárea	0.3	1.5	6	Documento de posición del desarrollo de proyectos de Jatropha a grande escala, FACT. Junio, 2007.
Requerimiento de lluvia para la producción de semillas.	milímetros / año	600	1,000	1,500	Documento de posición del desarrollo de proyectos de Jatropha a grande escala, FACT. Junio, 2007.
Contenido de aceite de semillas.	% de la masa	-	34%	40%	Jatropha, producción de biodiesel y uso, W. Achten et al, 2008.
Rendimiento de aceite después de prensado.	% de la masa de semillas de insumo	-	34%	40%	Diversas fuentes.
Contenido energético por kilogramo de aceite.	MJ/kg		37		

1.7 LA JATROPHA Y EL DESARROLLO LOCAL

La Jatropha puede integrarse en los sistemas agrícolas tradicionales en los países en desarrollo. Puede ser plantada como un cerco vivo alrededor de los campos agrícolas o en suelos pobres o degradados para controlar la erosión. Cuando el residuo de semillas prensadas se reintegra al suelo ocurre un reciclaje de nutrientes, conservando la productividad del suelo. Además, la producción de semillas y su transformación en biocombustible proporciona oportunidades de empleo adicionales. Los biocombustibles producidos a partir de la Jatropha pueden utilizarse para el transporte y la producción de electricidad, de manera que las comunidades locales tienen la posibilidad de alcanzar su independencia energética. Cualquier exceso de biocombustibles que se produjera se puede vender. El aceite también puede ser utilizado para la producción de jabón, proporcionando una actividad rentable a las comunidades.



La producción de la *Jatropha* sólo debería tener lugar cuando existe suficiente tierra para la producción local de alimentos. Intercalar cultivos de *Jatropha* con cultivos de alimentos es también una buena opción; el incremento en las inversiones para la agricultura aumentará también la producción de alimentos.

1.8 ESQUEMA DEL MANUAL DE LA JATROPHA

Este manual describe paso a paso el proceso de producción del aceite de *Jatropha*, tal como se muestra en la figura 7.

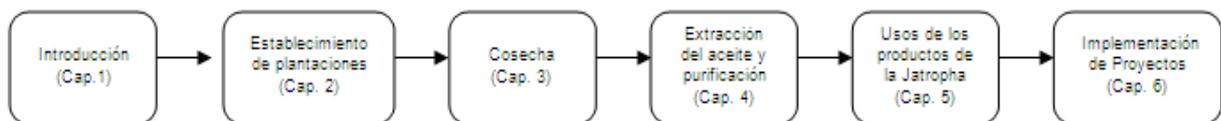


Figura 7 – Esquema del Manual de la *Jatropha*.

El establecimiento de plantaciones (Capítulo 2) aborda los aspectos del establecimiento y manejo de una plantación de *Jatropha* a pequeña escala (0.5 a 5 hectáreas) que incluye el muestreo de suelos, preparación del campo y la siembra. Además, el capítulo señala los peligros y riesgos en una plantación, incluido las plagas y enfermedades. Al final, se presenta una discusión en torno a los diferentes rendimientos de semilla seca en la plantación.

Cosecha (Capítulo 3) describe las actividades de cosecha, secado de la fruta, descascarado y almacenamiento de semillas. El capítulo proporciona información sobre los principales puntos del proceso de recolección de semillas.

En cuanto a la extracción y purificación del aceite (Capítulo 4) se describen los métodos de extracción mecánica de aceite y los aspectos de calidad del aceite de *Jatropha* para la producción de aceite. Existen múltiples tecnologías disponibles para la extracción del aceite, su selección dependerá de un equilibrio entre el grado de complejidad, los costos de la tecnología y la calidad del aceite extraído. La escala de producción es un factor muy importante a considerar en la elección de la tecnología a utilizar.

La extracción de aceite es solamente un aspecto de la producción de aceite. Tras el prensado, el aceite de *Jatropha* necesita ser purificado antes de que pueda ser usado. Se incluyen las consideraciones sobre métodos de limpieza, directrices de manejo y condiciones de almacenamiento.

El uso de productos de *Jatropha* (Capítulo 5) analiza las posibles aplicaciones de la *Jatropha* y sus productos. La *Jatropha* es cultivado en primer lugar por su aceite y varias aplicaciones son descritas. Durante el procesamiento se crean varios subproductos que también pueden ser utilizados. Sin embargo, hasta ahora son pocas las aplicaciones que se han realizado a



una escala mayor. En este capítulo se profundiza en los detalles técnicos y conceptos necesarios para modificar y adaptar las tecnologías existentes para el uso de aceite de *Jatropha* y sus subproductos.

La implementación de proyectos (Capítulo 6) se centra en la fase de ejecución, que requiere la toma de varias decisiones estratégicas relacionadas a la propiedad de las instalaciones de producción, qué productos incluir en la cadena y cómo financiar los diferentes componentes de la empresa. Estas decisiones determinan en gran medida el impacto social y la sostenibilidad de la cadena de producción. Este capítulo tiene como objetivo describir las opciones más importantes, con sus respectivas ventajas y desventajas.

La sostenibilidad es otro tema importante de la fase de ejecución, por ejemplo el cumplimiento con los Criterios de Cramer es obligatoria si se quiere vender los productos en Holanda. Otros temas de sostenibilidad, es decir, los enfoques ambiental, social y económico de los sujetos (personas, empresas, el planeta) también son importantes para la aceptación a largo plazo y el éxito de cualquier proyecto.

1.9 REFERENCIAS

[3] Heller (1996) - *Physic nut - underutilized species*.

[1] a – c and f –h (Aponte Hernández 1978).

[2] d and e from Dehgan 1984 (in *Physic nut*, Joachim Heller, IPGRI -1996).

[3] Jongschaap et al., 2007.

2. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE PLANTACIONES

Autor principal: Ywe Jan Franken con contribuciones de Flemming Nielsen.

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo aborda los aspectos del establecimiento y manejo de una plantación de *Jatropha* a pequeña escala (0.5 a 5 hectáreas) que incluye el muestreo de suelos, preparación del campo y la siembra.

Existen varias opciones para el establecimiento de una plantación, se puede iniciar a partir de semillas, uso de esquejes (estacas) y diferentes arreglos de espaciamiento entre plantas; se describe también el proceso de crecimiento de la planta de la *Jatropha* y posteriormente, se detalla el manejo de plantaciones incluida la fertilización y el deshierbe. Además, el capítulo señala los peligros y riesgos en una plantación, incluido las plagas y enfermedades. Al final, se presenta una discusión en torno a los diferentes rendimientos (en kg de semilla seca) en la plantación.

2.2 PREPARACIÓN DEL SUELO Y CAMPO DE CULTIVO

2.2.1. Requisitos del suelo

Para su desarrollo, la *Jatropha* prefiere suelos bien drenados con una estructura abierta, bien aireada. Los tipos de suelo que se mencionan en este texto corresponden a la clasificación de suelos de la USDA (figura 1) en función de su granulometría.

Los suelos más adecuados son los francos, franco arenoso arcilloso y el limo.

Los suelos pesados (arcilla, arcilla arenosa, franco arcilloso, franco arcillo limoso y limo) sólo son adecuados en condiciones relativamente secas en donde los períodos de lluvias fuertes a menudo están ausentes. En ese caso, la *Jatropha* puede ser muy productiva, porque estos suelos cuentan con un buen suministro de nutrientes.

La *Jatropha* es intolerante a la humedad permanente (anegamiento), por lo tanto, la producción en suelos pesados es solamente adecuada en el caso que no exista saturación de humedad por períodos largos (máximo una semana, que incluso ya representaría un impacto negativo sobre la producción). Esta condición se da en lugares donde no existan períodos de lluvia fuertes que produzcan estancamiento de agua en el suelo y donde el nivel de la capa freática sea bajo. Los suelos pesados no son adecuados en condiciones inestables que impliquen períodos muy secos alternados con períodos húmedos en corto tiempo ya



que el encogimiento y expansión de las raíces afecta negativamente al desarrollo de la planta.

Los suelos arenosos (arena, franco arenosos, arena franca) son suelos que drenan rápidamente (a menos que sean muy ricos en materia orgánica). En estos suelos, el cultivo de la *Jatropha* tiene una ventaja comparativa con otro tipo de cultivos, pues es tolerante a la sequía. Estos suelos por lo general tienen un contenido bajo de nutrientes, por lo que la *Jatropha* necesitará fertilización o la aplicación de grandes cantidades de material orgánico en el suelo a fin de lograr productividad.

Independientemente del tipo de suelo, el grado de acidez (pH) adecuado para el cultivo de la *Jatropha* se encuentra entre 5,5 y 8,5. Su crecimiento es limitado en condiciones de mayor acidez o alcalinidad. La profundidad del suelo debe ser de al menos 45 centímetros y la pendiente no debe superar los 30° grados.

La *Jatropha* puede sobrevivir en suelos con bajo contenido de nutrientes. No obstante, en ese caso, su crecimiento y producción son limitados. Los mayores niveles de nutrientes en el suelo se traducen en una mayor producción. El contenido de material orgánico en el suelo es también favorable para el crecimiento de *Jatropha*, especialmente en suelos gruesos.

La figura que se presenta a continuación clasifica los suelos de acuerdo a su contenido de arena, limo y arcilla. El esquema se compone de tres ejes que muestran el contenido de arena (izquierda), de limo (eje derecho) y el contenido de arcilla (eje superior). Los distintos bloques de la figura indican diferentes tipos de suelo.



Los datos deben ser analizados profesionalmente para conseguir un buen indicador de la fertilidad del suelo (baja, media, alta) y el potencial de producción de *Jatropha* en el sitio (véase también el anexo sobre los rendimientos de las semillas). Esto puede ser realizado en un laboratorio de suelos o por un experto en suelos. En caso de que no fuera posible un análisis profesional, es posible la utilización de un kit comercial para análisis de suelo.

2.2.3 Preparación del suelo

Antes de cultivar se deberá preparar el suelo, eliminando la vegetación y malas hierbas. A continuación se describen las actividades a considerar en esta etapa.

2.2.3.1 Ahoyado (agujeros para plantar)

Al plantar *Jatropha* los agujeros deben estar ya preparados (ahoyado). Estos agujeros pueden ser excavados con el uso de herramientas manuales o a través de perforaciones. En suelos duros o compactados, se aconseja la remoción profunda o labranza de los suelos especialmente cuando se considera el cultivo combinado, en cuyo caso se requiere la preparación del suelo.

En el caso de los suelos muy compactados, también es posible preparar las líneas para la plantación o siembra, con un extractor de profundidad que puede ser un arado de cincel con una sola punta. Un extractor de este tipo profundiza de 30-50 centímetros en el suelo lo que permitirá que el sistema radicular de las plantas pueda desarrollarse bien. Al utilizar un extractor o arado no es posible hacerlo manualmente sino que deberá ser utilizado con tracción animal o fijarlo a un tractor.

Los agujeros para realizar la plantación de *Jatropha* idealmente deben tener como mínimo 30 centímetros de diámetro y 45 de profundidad. Los agujeros deberán ser rellenados con una mezcla de tierra y materia orgánica (compost) en una proporción de 1:1. Se agrega también fertilizantes artificiales o naturales (estiércol). La cantidad de fertilizante debe ser de 10 a 20 gramos 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 kilogramo por agujero. La cantidad de materia orgánica puede variar entre 20% y 50%. La fórmula de la mezcla se transforma en suelo, abono y estiércol en una proporción 2:1:1.

En el caso de suelos más pesados (mayor contenido de arcilla), el cultivo de *Jatropha* no es recomendable. Sin embargo, en caso de utilizarse, deberá agregarse arena a la mezcla de suelo en una proporción de 1:1:2 de suelo, arena y materia orgánica. La mezcla debe estar libre de piedras y objetos de mayor tamaño. Se deberá hacer el ahoyado justo antes de la temporada de lluvias y la siembra cuando los suelos han recibido las primeras lluvias.



Una vez sembrada las plantas la aplicación de más fertilizantes puede dañar las raíces de los brotes, por lo que se recomienda fertilizar después de 1 a 2 meses de crecimiento. La fertilización puede hacerse mediante la aplicación de 50 a 100 gramos de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) distribuida de manera uniforme e incorporada en el suelo en un diámetro de 50 centímetros alrededor de la planta.

2.2.3.2 Espaciamento entre plantas

El espaciamento entre las plantas en una plantación puede variar. Un espaciamento comúnmente utilizado es el patrón rectangular de 3 x 2.5 metros, con 1,333 plantas por hectárea; de esta manera, cuando las plantas crecen, tienen suficiente espacio para el crecimiento y la ramificación. Además, bajo este modelo se deja suficiente espacio para combinar o intercalar cultivos en el primer y segundo año, período en el cual, la *Jatropha* se desarrolla lentamente.

Al dejar espacios más amplios entre plantas, los árboles tienden a desarrollarse más y su gran altura dificulta la recolección de frutos y la poda. En espacios más estrechos entre plantas (2.5 x 2.5 metros ó 2 x 2 metros) se requiere una poda más intensa para mantener el crecimiento de las plantas lo que significa mayor cantidad de mano de obra. Además, el espaciamento estrecho conduce a una agricultura más intensiva que requiere de suelos con alto contenido de nutrientes y buen suministro de agua.

En el caso de cultivos asociados permanentes, la plantación debe hacerse con una distancia mayor entre filas. El espacio requerido entre filas depende del tipo de cultivo asociado, pero por lo general se recomienda 4 metros. Por otro lado, la distancia entre plantas de *Jatropha* dentro de una fila es de 2.5 a 3 metros.

En el caso de la agricultura mecanizada, por ejemplo al utilizar un tractor, se debe dejar al menos 4 metros de separación entre filas, considerando, dejar 2 metros para el paso del tractor y 1 metro para el crecimiento de las ramas en cada lado. El espacio entre las plantas dentro de una fila puede reducirse hasta 1.5 metros, en este caso resulta un espacio estándar de 4 x 1.5 metros [31].

En cercos vivos, las plantas deben estar separadas unos 25 centímetros de distancia entre sí en una única fila o en doble fila. Para el establecimiento rápido, es aconsejable iniciar el cerco vivo a partir de esquejes o estacas durante la temporada de lluvias.

El monocultivo de la *Jatropha* es en gran medida resistente al fuego, pero la quema de hierbas y pastos en áreas de cultivo pueden matar la planta [31]. En las zonas de peligro de incendio, se recomienda dividir las plantaciones en segmentos separados, haciendo carriles o rondas cortafuego, de al menos 2 metros de ancho. Esto evitará que, en el caso de ocurrencia de un incendio, el fuego dañe toda la plantación. Estas rondas cortafuego, deben mantenerse libre de malezas, cultivos y vegetación.



2.2.3.3 Temporada de siembra

La mejor época para plantar *Jatropha* es en el inicio de la temporada de lluvias ya que el suelo cuenta con cierto grado de humedad y el agua para riego está disponible a bajo costo. También, es posible iniciar una plantación, varias semanas o hasta un mes antes de la temporada de lluvias.

Después del establecimiento de la plantación, el riego adicional de plantas sólo será necesario cuando la lluvia no sea suficiente. Se requerirá riego únicamente en los primeros 3 meses de crecimiento, período en el cual la planta desarrolla su sistema de raíces.

2.3 DESARROLLO DE LA PLANTA JATROPHA

Para lograr el manejo óptimo de una plantación de *Jatropha*, es importante comprender las diferentes etapas de desarrollo de la planta.

2.3.1 Etapas de desarrollo de la *Jatropha*

A partir de la semilla, la *Jatropha* pasa por varias etapas de desarrollo.

La primera es la etapa juvenil. Inicia cuando la semilla, una vez plantada, absorbe agua (imbibición) y germina. Luego, la semilla sale del suelo (emerge) y comienza a desarrollar brotes y raíces (establecimiento). La duración de esta etapa juvenil es de alrededor de dos meses y medio en condiciones óptimas.

La segunda etapa es la fase sensible de inducción de la floración. En esta fase las condiciones ambientales correctas tales como una alta radiación solar, alta temperatura media, altas temperaturas mínimas ($>18^{\circ}\text{C}$) y suficiente lluvia, son determinantes para inducir la floración.

La floración es la tercera etapa. Después, las frutas empiezan su maduración, es la cuarta etapa. El tiempo de inducción de la floración hasta la cosecha de las frutas dura aproximadamente 3 meses. Después de la cosecha de la fruta, la planta puede entrar en una fase de letargo en la que no hay floración o puede entrar en otra fase de inducción floral. Esto dependerá de las condiciones de estrés, pero el mecanismo exacto todavía se desconoce.

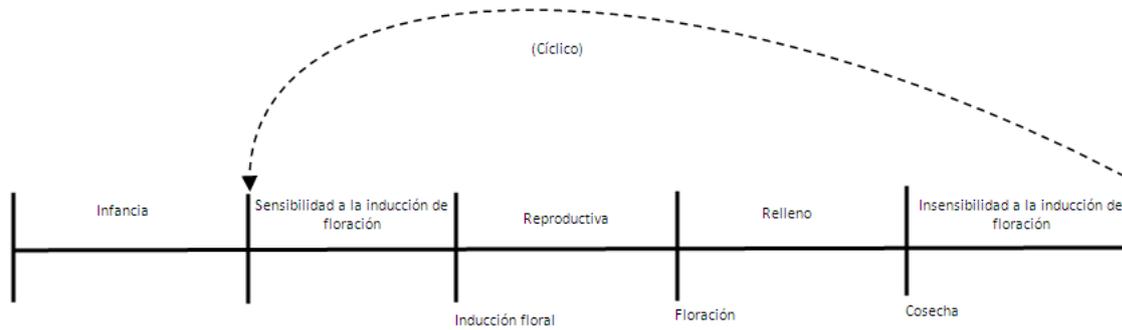


Figura 5 – Etapas de desarrollo de la Jatropha [28]

2.3.1.1. El desarrollo radicular

Después de la germinación de brotes de las semillas, la Jatropha desarrolla una raíz principal y cuatro laterales. El sistema radicular crece tanto en la parte superior como en las capas más profundas del suelo, siempre y cuando el suelo sea lo suficientemente profundo. En la figura 7 se muestra el sistema radicular de una planta de Jatropha, claramente se puede ver en la izquierda que se ha desarrollado una raíz gruesa (principal o pivotante) creciendo verticalmente. En caso de plantaciones a partir de esquejes (estacas) se desarrollan sólo las raíces laterales y no la raíz principal o pivotante.



Figura 7 – Sistema radicular de la Jatropha. Fotografía: Joachim Heller.

2.3.1.2 Floración y fructificación

La floración de la Jatropha es un asunto complejo. Se sabe que la floración es inducida por factores de estrés tales como las fluctuaciones de temperatura y sequía, pero todavía se desconoce exactamente cómo y en qué umbrales se produce esto.

Para la inducción de floración en plantas de Jatropha se necesita una elevada exposición a la radiación solar. Las plantas que crecen bajo la sombra de otros árboles o en condiciones nubladas no florecen o su flor es notablemente inferior a las desarrolladas en plantas que crecen en pleno sol.

En un clima con estaciones bien diferenciadas, la Jatropha empieza a florecer una vez finalizados los períodos de estrés, que puede ser varias veces al año. En climas con una distribución de precipitación uniforme y sin grandes variaciones estacionales y de temperatura, la Jatropha puede florecer de manera continua siempre y cuando no se induzcan otras formas de estrés.

Bajo condiciones óptimas, las flores de Jatropha aparecen generalmente de 3-6 meses después de sembradas las semillas. El tiempo desde la inducción de la floración a la maduración del fruto es de 90 días. Las flores femeninas producen frutos que son de color

verde y luego al madurar se vuelven amarillos. Después de madurados, la cáscara de la fruta se vuelve marrón y negra cuando se seca.



Fotografía: Pueden observarse las diferentes etapas del desarrollo de los frutos de la *Jatropha*. El fruto abierto muestra las semillas de color negro en su interior. Fuente: FACT, 2006.

2.4 MATERIAL DE PLANTACIÓN Y MÉTODOS DE SIEMBRA

Una de las primeras acciones a tomar al iniciar una plantación de *Jatropha* es la obtención de suficiente material para plantar y decidir cómo se producirán las plantas.

Las plantas de *Jatropha* pueden producirse por semillas, esquejes (estacas), o por micropropagación. Estos métodos y su idoneidad en distintas condiciones se describen a continuación.

2.4.1 La Variación Genética y Fenotípica

La realización de ensayos de procedencia y la investigación genética de la *Jatropha curcas* L. ha demostrado que existe cierta variación genética entre plantas de diferentes procedencias en todo el mundo. La variación genética natural entre procedencias es mayor en el centro de origen (Centroamérica y la región norte de Suramérica).

Plantas cultivadas desde la misma fuente de semilla pueden variar considerablemente en sus aspectos morfológicos tales como altura y producción de semillas. Todavía se desconoce hasta qué punto esta variación morfológica puede atribuirse a factores genéticos o ambientales. Cuando se recolectan semillas de un determinado lugar, la variación puede ser



minimizada mediante la selección de semillas (véase la siguiente parte: Selección de Semillas).

2.4.2 Selección de semillas

En primer lugar, es importante obtener semillas de alta calidad. Al adquirir semillas es importante asegurar que cumplan los siguientes criterios:

- Las semillas deben proceder de una plantación de alto rendimiento y bajo condiciones agro ecológicas similares al sitio donde se prevé hacer la plantación.
- Las semillas seleccionadas son las más pesadas y grandes de su procedencia.
- Las semillas tienen un contenido de humedad de alrededor del 7%.
- Las semillas son jóvenes (preferentemente de no más de 6 meses).
- Las semillas han sido almacenadas en un sitio fresco, oscuro y seco.

Para obtener información sobre jardines clonales y jardines de semillas, lea el Apéndice: Manual de jardines clonales y de semillas.

2.4.3 Germinación

Las semillas de *Jatropha* germinan fácilmente cuando se plantan en el suelo a unos 2 centímetros de profundidad, con la punta blanca de la semilla hacia abajo y la parte redondeada de la semilla hacia arriba.

La *Jatropha* germina en cualquier suelo con humedad alta y suficiente suministro constante de aire (en suelos con agua estancada, las semillas se pudren). Hasta el momento, las semillas que han tenido un pretratamiento no mostraron mejores resultados en cuanto a su germinación, en comparación con las semillas secas plantadas de manera directa en Mozambique [20]. Estas semillas germinan en 7 a 8 días bajo condiciones de temperaturas cálidas (promedio de >25 °C) y humedad. En condiciones más frescas la germinación toma más tiempo. Las semillas que germinan después 10 días son las más vigorosas y por tanto son las que deben utilizarse.

La *Jatropha* se puede sembrar directamente en el campo o puede germinarse en un vivero, en función de varios factores, los cuales se discuten a continuación.



Figura 6 – Germinación de la semilla de *Jatropha* (izquierda) y pequeños botes de plantas recién germinados (derecha).
Fotografía: Peter Moers

2.4.4 Siembra Directa

Las ventajas de la siembra directa de la *Jatropha* son: el óptimo desarrollo de las raíces de las plantas y la reducción de los costos de mano de obra y materiales con respecto al establecimiento de un vivero. Una desventaja es que el contenido de toxinas de los brotes de *Jatropha* durante los primeros meses es bajo, por lo que corren el riesgo de que los conejos u otros animales puedan comerlos.

La siembra directa se recomienda en caso de tener garantizado un suministro de agua suficiente durante el período de germinación y el desarrollo de los brotes, por ejemplo, cuando los suelos han tomado suficiente humedad ya sea natural (por acción de la lluvia) o por el riego. Además, al sembrar directamente, debe evitarse la competencia de malezas durante los primeros 3 meses de crecimiento.

Para el establecimiento de una plantación óptima de *Jatropha*, los brotes deben tener acceso a suelo fácilmente penetrable, rico en materia orgánica, nutrientes y una profundidad de al menos 45 centímetros. En el caso de los suelos compactados, los agujeros de plantación deberán ser de unos 45 centímetros de profundidad y unos 30 centímetros de ancho y llenados con tierra suelta mezclada con materia orgánica y de preferencia una mezcla de fertilizante y abono.

Las semillas deben plantarse adecuadamente y bajo el patrón de plantación elegido, el cual es generalmente de 2.5 x 3 metros (ver apartado 2.2.3.2: espaciamiento entre plantas). En cada tercer agujero, se deberá plantar dos semillas en lugar de una, con 25 centímetros de separación (para evitar que el sistema radicular de los dos brotes crezcan sobre si). Esto con el fin de contar con plantas de repuesto que se puedan transferir fácilmente. En el caso de que algunas de las semillas plantadas no germinen o se pierdan, las plantas de repuesto pueden sustituirlas. Las plantas de repuestos también pueden reemplazar plantas con lento



desarrollo o con crecimiento anormal (por ejemplo, hojas de forma extraña). La selección y reemplazo de plantas es importante ya que las plantas mal desarrolladas producen menos frutos y semillas afectando el rendimiento de toda la plantación.

La cantidad de semillas necesarias para la siembra depende de la densidad de plantación. En un espacio de 2.5 x 3 metros, se siembran 1,333 plantas por lo que se requieren 2,000 semillas (incluyendo las plantas de repuesto para sustituir las semillas que no germinen y compensar la pérdida o sustitución de plantas de baja calidad). Esto equivale a alrededor de 1.2 kilogramos de semillas por hectárea con un peso promedio de semilla de 0.6 gramos.

2.4.5 Plantación en vivero

Las ventajas de producir plantas de *Jatropha* en viveros son dos: en primer lugar, las plantas pueden crecer bajo control, bajo condiciones óptimas y en segundo lugar, las plantas con crecimiento lento o anormal pueden descartarse fácilmente. Otra ventaja es que las plantas producidas en vivero son más fuertes cuando se plantan en los campos, por lo tanto, es más fácil que sobrevivan a condiciones adversas (sequía, malas hierbas, presencia de animales e insectos).

No obstante, existen algunos inconvenientes en la producción de plantas en vivero. El desarrollo de las raíces de los brotes se ve obstaculizado por el tamaño pequeño de los contenedores. Esto es especialmente perjudicial cuando las plántulas no se trasplantan al campo de cultivo a tiempo (<1 mes). También implica trabajo extra, inversión monetaria (capital) y existe el riesgo de propagación de plagas y enfermedades a todas las plantas y el cultivo durante la siembra.

Un vivero es una buena opción en caso de tener muy baja calidad de material de siembra porque las plantas o semillas con mejor rendimiento se pueden seleccionar fácilmente. También es posible hacer germinar las semillas en camas de tierra más grandes o directamente en bolsas de plástico (implica menos trabajo). Las semillas más vigorosas que germinan en 10 días (con temperaturas promedio de 23 °C o más) deben ser usadas y el resto desechadas.

Una vez seleccionadas las plántulas o brotes germinados deben ser transferidas a bolsas de plástico (ver figura abajo). En las bolsas de plástico, las plantas de *Jatropha* pueden crecer durante un mes (a pleno sol) o 2 meses (en sombra) y luego deben ser trasplantadas al campo de cultivo. En el lugar de la plantación se debe asegurar suficiente humedad del suelo y cuando las plantas estén en pleno sol necesitarán mayor cantidad de agua. Todas las plantas que muestren un crecimiento más lento que otros o desarrollo anormal (por ejemplo, hojas de formas extrañas) deberán ser eliminadas con el fin de aumentar la producción promedio de plantas en los próximos años de producción de semillas en el campo.



En Mozambique, un vivero produce plantas en camas de tierra a una escala relativamente grande sin requerir el uso de bolsas plásticas. A pesar de la pérdida de raíces al retirar las plantas de la cama de siembra, las plantas producidas de esta manera están obteniendo buenos resultados [31].

Es recomendable invertir en el control químico de plagas y enfermedades a fin de mantener un control y evitar que se puedan extender a los campos.



Figure 9. Vivero de *Jatropha* con plántulas (para aproximadamente 2 hectáreas de cultivo) en bolsas plásticas con sombra artificial (izquierda) y con sombra de árboles (derecha). Fotografías: Peter Moers.

Una vez establecidas las plántulas (1 - 1.5 meses de crecimiento), deben ser trasplantadas al campo lo más rápidamente posible. Las necesidades de suelo para el trasplante son similares a las utilizadas en la siembra directa (2.4.4 Siembra Directa).

2.4.6 Esquejes (Estacas)

La utilización de esquejes o estacas es una manera rápida y barata de propagación de la *Jatropha*. Una ventaja es que las estacas son clones con las mismas características genéticas de la planta madre: en el caso de que la planta madre seleccionada sea de alto rendimiento, las estacas contienen las mismas propiedades [31]. La desventaja es que las estacas desarrollan sólo raíces laterales, por lo que no pueden acceder a los nutrientes y agua en las capas más profundas del suelo. Por tanto la tolerancia a la sequía de las plantas nacidas de estacas es limitada.

Se recomienda su uso solamente en el establecimiento de cercas vivas. El uso de estacas para el establecimiento de una plantación de *Jatropha* sólo funciona en suelos fértiles, con suministro de agua permanente y ausencia de largos períodos de sequía.

Las estacas se hacen a partir de las ramas más gruesas de la base de la planta. Lo ideal es hacer estacas de al menos 30 centímetros de largo (50 centímetros ofrece una mayor tasa



de éxito). Las estacas se colocan directamente en el suelo húmedo dejando 15 centímetros o más de la rama por encima del suelo. Las estacas también pueden ser producidas en un vivero en bolsas de polipropileno. El suelo debe mantenerse húmedo (por lo tanto, la temporada de lluvias es el mejor momento para sembrar estacas). Normalmente, los brotes aparecen por primera a las 3 a 4 semanas después de sembrados.

2.4.7 Clones Micropropagados

Un método tecnológicamente avanzado para la obtención de grandes cantidades de plantas de *Jatropha* es la micropropagación. La ventaja del uso de este método es que produce un gran número de plantas genéticamente idénticas a una planta madre que posee las características deseadas. Tal como en el uso de las estacas, el desarrollo del sistema radicular no es natural y requiere la estimulación hormonal para inducir el crecimiento vertical de las raíces. Este método requiere de tecnologías sofisticadas y productos químicos por lo que es costoso y, como tal, no recomendable para plantaciones a pequeña escala. Sin embargo, cuando plantas micropropagadas de buena calidad estén disponibles en el mercado a precios accesibles, esta opción será interesante también para productores más pequeños.

2.5 MANEJO DE PLANTACIONES (AGRONOMÍA)

2.5.1 Eliminación de Malezas

La *Jatropha* sobrevive aun cubierta por malezas. No obstante, la presencia de malezas inhibe el crecimiento y la capacidad de producción de las plantas [31]. En ese sentido, es importante mantener los campos de cultivo de *Jatropha* libres de malezas, eliminándolas a intervalos regulares, dejando los restos sobre el terreno para proporcionar materia orgánica al suelo. La frecuencia de la eliminación de malezas dependerá de su crecimiento, por ejemplo, cuando las malezas empieza a dar sombra a las plantas o a crecer tan alto como ellas, o cuando limitan el acceso al espacio entre las filas de siembra, deben eliminarse. Después de uno a tres años, dependiendo de las condiciones agroclimáticas, las plantas de *Jatropha* se vuelven tan densas que el crecimiento de malezas es severamente disminuido y por lo tanto, la mano de obra para su eliminación [31].

En la mayoría de los casos, es la mano de obra disponible la que determina el área de cultivo que se puede mantener libre de malezas. En el caso de plantaciones a gran escala con un cultivo parcialmente mecanizado, una persona puede mantener 2 ha libre de malezas; en el caso de cultivos a pequeña escala es alrededor de 1 hectárea/ persona.

2.5.2 Manejo de Nutrientes

2.5.2.1 Requerimiento de nutrientes

Para que la planta de *Jatropha* crezca hasta alcanzar su desarrollo completo y produzca semillas necesita suficientes cantidades de nutrientes.

En los primeros 4 años, los nutrientes son necesarios para facilitar el desarrollo de una buena arquitectura de la planta (raíces, tallos, hojas). También en este período se requiere de una creciente cantidad de nutrientes para la producción de flores y frutos. Después de 4 años, una vez que las plantas han desarrollado su forma y tamaño final, los nutrientes son necesarios principalmente para el mantenimiento de la planta y la producción de frutas.

Los nutrientes sustraídos por la cosecha de frutas de *Jatropha* deben reintegrarse a los campos de cultivo una vez que la energía (primordialmente lípidos que consisten en los elementos de C, H y O, que no son nutrientes) se extrae. La cáscara de las frutas y el residuo del prensado de las semillas (o residuo de la producción de biogás) deben regresar al campo de cultivo como fertilizante orgánico, cerrando así el ciclo de nutrientes. En ese caso, las plantas de *Jatropha* pueden producir continuamente y necesitar poca o ninguna fertilización externa.

Cuando las cáscaras de las frutas y el residuo del prensado de las semillas no se devuelven a los campos de cultivo, se hace necesaria la fertilización regular con NPK (nitrógeno-fósforo-potasio) y micronutrientes.

En el caso de suelos muy fértiles donde existen muchos nutrientes no es necesaria la fertilización para el desarrollo de la planta y la producción de frutas. En el caso de suelos pobres en nutrientes, la fertilización externa es necesaria.

2.5.2.1.1 Requerimiento de nutrientes durante el establecimiento de la *Jatropha*

En los primeros años, los nutrientes son necesarios para la maduración y el desarrollo de plantas de alto rendimiento, por lo que en condiciones de baja fertilidad del suelo se requerirá la aplicación de nutrientes adicionales para el establecimiento de plantaciones y producción de semillas durante los primeros 4 años.

Tabla 1 – Requerimientos anuales de macronutrientes para obtener una población permanente de *Jatropha* y frutas en los primeros 4 años. [29]

Producción en el año 4, con 50% de los nutrientes requeridos de acuerdo a la fertilidad del suelo existente.					
Año	1	2	3	4	Total
Requerimiento Anual	kg/ha/año	kg/ha/año	kg/ha/año	kg/ha/año	

N	23	34	69	103	229
P2O5	7	11	21	32	71
K2O	34	50	101	151	336

Las cantidades anuales de los diferentes tipos de fertilizantes necesarios en los primeros 4 años de crecimiento de la *Jatropha* ya se han calculado. Las cantidades calculadas responden a las necesidades de nutrientes detallados en la tabla anterior y el contenido de nutrientes de diferentes tipos de fertilizantes. Las necesidades de nutrientes se calculan sobre la base de los requerimientos de nitrógeno y en general de los requerimientos de otros nutrientes los cuales se detallan en la en la tabla de abajo. Estos valores corresponden a suelos pobres, donde solamente el 50% de los nutrientes necesarios están disponibles en el suelo. En el caso de suelos extremadamente pobres, se necesitará más fertilizante. La composición de los fertilizantes químicos en los cuadros se da en valores porcentuales de la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio (N:P:K).

Tabla 2 –Requerimiento en cantidades anuales de fertilizantes para el establecimiento de una plantación de *Jatropha* con producción de frutas en sus primeros 4 años. years. [5]

Tipo de fertilizante	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Total 4-años
Estiércol de la vaca seco	5 TM/ha	6 TM/ha	12 TM/ha	18 TM/ha	41 TM/ha
Gallinaza seca	1 TM/ha	1.2 TM/ha	2.4 TM/ha	3.6 TM/ha	8.2 TM/ha
Vermicompost	1.2 TM/ha	1.7 TM/ha	3.4 TM/ha	5.2 TM/ha	11.5 TM/ha
Fertilizantes químicos (16-4-16)	140 kg/ha	210 kg/ha	430 kg/ha	640 kg/ha	1.4 TM/ha
Urea (46% Nitrógeno)	44 kg/ha	74 kg/ha	150 kg/ha	224 kg/ha	492 kg/ha

2.5.2.1.2 Requisitos de nutrientes para la producción de semillas

Una cosecha de 1 TM (Tonelada Métrica) de semillas es equivalente a la remoción de la siguiente cantidad de nutrientes (en frutas incluyendo las semillas) [3]:

- 14.3 a 34.3 Kg/ ha de Nitrógeno
- 0.7 a 7.0 Kg/ ha de Fósforo
- de 14.3 a 31.6 Kg/ ha de Potasio

Véase el apéndice para comparar la remoción de nutrientes de una tonelada de semillas secas de *Jatropha* con otros cultivos de semillas oleaginosas.

En el caso que las cáscaras de la fruta y el residuo del prensado de semillas no se devuelvan o reintegran al campo, estos nutrientes deben ser sustituidos. Las cantidades anuales de diferentes tipos de fertilizantes requeridos por hectárea, para reemplazar los nutrientes removidos por la cosecha de 1 tonelada métrica de semillas, se muestran a continuación.

Las necesidades de nutrientes se calculan sobre la base de los requerimientos de nitrógeno y en general de otros nutrientes, los cuales se detallan en la en la tabla de abajo.

Tabla: Nutrientes requeridos para reemplazar la pérdida por la cosecha de 1 TM de semillas	
Estiércol de vaca seco (sólido)	7 MT
Gallinaza seca (sólida)	1.3 MT
Vermicompost	1.65 MT
Fertilizante químico (15-5-10)	0.22 MT (220 Kg)
Fertilizante químico (12-2-10)	0.27 MT (270 Kg)
Urea (46% Nitrógeno)	0.072 MT (72 Kg)

2.5.2.2 Materia Orgánica

El nivel de Materia Orgánica (MO) del suelo conduce a una mayor capacidad de intercambio catiónico (vinculación de nutrientes en la materia orgánica) y también mejora la estructura del suelo. Se ha demostrado en una serie de ensayos que la *Jatropha* responde positivamente a un alto nivel de MO, por lo que se recomienda el uso de fertilizantes orgánicos.

2.5.2.3 Fertilización

El mejor momento para fertilizar es justo antes o al comienzo de la temporada de lluvias. Es mejor aplicar el fertilizante de manera uniforme en un círculo alrededor de la planta de *Jatropha* a una distancia máxima de la planta de 1 metro.

En el caso de fertilizante inorgánico (química) lo mejor es mezclarlo con materia orgánica o compost. La aplicación de fertilizantes químicas en pequeñas cantidades y con una mayor frecuencia durante todo el año disminuye las pérdidas por escurrimiento y percolación, aumentando su eficiencia.

La fertilización con nitrógeno pesado puede provocar fuertes emisiones del gas de efecto invernadero NO_2 el cual tiene un alto potencial de contribución al calentamiento global. Su uso reduciría el número de créditos de carbono que se pudiera ganar un proyecto de *Jatropha*.

2.5.2.4 Micorriza

Una manera simple y barata de aumentar la cosecha de la *Jatropha* es el uso de micorrizas. Una micorriza es la simbiosis entre un hongo y las raíces de una planta. La micorriza consume sustancias orgánicas de la planta, especialmente azúcares y vitaminas, a cambio, incorpora nutrientes en el suelo para la planta y ayuda en la absorción de agua.



El uso de micorrizas combinadas con una fertilización moderada, garantiza una alta absorción de nutrientes por la planta y reduce al mínimo las pérdidas de nutrientes por percolación. El uso de micorrizas es barato (alrededor de 5.10 euros/ha) y son especialmente eficaces en suelos pobres y secos, donde pueden aumentar la cosecha hasta en un 30%.

La mejor aplicación de la micorrizas es disolverlas en agua y aplicarlas en el hoyo, antes o durante la siembra o el trasplante de la planta. Las micorrizas también se pueden aplicar a plantas de *Jatropha* ya existentes, cavando un zurco o canal circular de unos 10-20 centímetros de profundidad a unos 40 centímetros alrededor del tallo y luego su aplicación disueltas en agua. Después, el zurco o canal deberá ser cubierto con tierra. También es posible cubrir semillas con micorrizas antes de sembrarlas. Además, son fáciles de aplicar en viveros cuando se disuelven en agua.

2.5.3 Podas

Las flores de la *Jatropha* se forman únicamente al final de las ramas. La poda estimula el desarrollo de mayor número de ramas y, por lo tanto, a más potencial para la producción de flores y frutas. Otra razón importante para podar las plantas es mantenerlas a un tamaño manejable. Bajo condiciones naturales, la *Jatropha* puede crecer hasta ser un árbol de unos 6 metros de altura con un ancho de corona de 6 metros, lo que hace muy difícil la cosecha. Las plantas deben mantenerse con alturas bajas para facilitar la cosecha manual de frutas. En una plantación con alta densidad (alrededor de 1,100 plantas/ ha), es importante mantener suficiente distancia entre las plantas para evitar la competencia por luz y espacio.

Con una buena poda, las plantas de *Jatropha* desarrollan fuertes ramas laterales que pueden soportar el peso de los frutos. En el cuarto o quinto año después de la siembra y después de varias rondas de poda, las plantas tienen como mínimo unas 200 a 250 ramas terminales.

Es importante podar sólo bajo condiciones secas y mejor cuando las plantas han perdido sus hojas. Al hacer la poda, los cortes se hacen en forma ligeramente vertical (ver fotos) para que el agua escurra, evitando los cortes horizontales donde el agua se puede estancar o acumular. La poda en temporada de lluvias y con alta humedad relativa del aire aumenta el riesgo de infección bacteriana o viral de plantas y los ataques de hongos.

Todo el material vegetal cortado se puede dejar en el suelo como cobertura o rastrojo.

La primera poda es necesaria después de 3-6 meses de crecimiento cuando las plantas han alcanzado al menos 70 centímetros de altura. Cuando la planta se ramifica desde la base de manera natural, no es necesario recortar el tallo principal. El corte del tallo principal se

realiza a una altura de 30 a 45 centímetros del suelo. Las plantas más grandes se pueden reducir a una altura de 45 centímetros y las plantas más pequeñas a 30 centímetros.



Figura 8. Ramificación después de la poda. Fotografía: Arthur Riedacker



Figura 9. Planta podada. Fotografía: Arthur Riedacker

Después de un año, cuando las plantas han crecido mucho después de la primera poda, es necesaria una segunda ronda de poda. Las ramas secundarias y terciarias se deben cortar dejando aproximadamente un tercio de las ramas de la planta (tal como se ve la planta desde su última ramificación).

Después de dos años, una ronda de poda (tal como fue realizada después del primer año) debe repetirse.

A largo plazo, después de aproximadamente 8 a 10 años y cuando las plantas están creciendo de manera muy densa, se aconseja recortar toda la planta a unos 45 centímetros sobre el suelo y dejar que crezca de nuevo. Debido al sistema de raíces bien desarrollado, la planta crecerá de nuevo muy rápidamente.

2.5.4 Riego

Los rendimientos (cosecha) de las plantas de *Jatropha* pueden aumentarse a través del riego. Los costos del riego son altos y en la mayoría de los casos, con los actuales precios de las semillas de *Jatropha*, no es económicamente viable. Los costos de materiales e instalación de un sistema de riego para 1 hectárea son de al menos cuatrocientos euros (€ 400). Los gastos de operación por milímetro de riego están en el rango de € 0.30 a € 0.40/mm/ha.

En algunos casos después de la primera cosecha, la temporada de lluvias no es suficiente para mantener la segunda cosecha. Mediante el riego, el período de crecimiento puede extenderse hasta la segunda cosecha. Los resultados de un rendimiento extra pueden ser de



alrededor de 1,500 kg/ ha. A un precio de, por ejemplo, € 0.06/Kg el rendimiento extra es de € 90. Cuando se necesitan 200 mm de riego para lograr este rendimiento extra, el costo de riego por hectárea es de al menos € 60, sin incluir los costos de instalación del sistema. Además, considerando la mano de obra adicional necesaria para la cosecha, y los costos para la fertilización extra se puede concluir que los beneficios no compensan los costos.

Por lo tanto, en condiciones normales, el riego sólo tiene sentido en plantaciones demostrativas y para propósitos especiales, como ser, la producción de semillas de alta calidad para la propagación, producción de plantas, jardines clonales y experimentos científicos.

2.5.5 Cultivos Asociados

La mayor ventaja de asociar cultivos de *Jatropha* con cultivos anuales es que permite que los agricultores den un buen manejo tanto a los cultivos anuales como a la *Jatropha*. Generalmente, en el primer año pequeños productores descuidan sus plantaciones de *Jatropha* debido a que su producción no es interesante desde una perspectiva económica.

El cultivo de *Jatropha* asociado con otras plantas solamente es posible cuando suficientes cantidades de nutrientes y agua están disponibles. En lugares secos sin riego, el cultivo asociado no es posible debido a la competencia por el agua. En suelos pobres en nutrientes, los cultivos asociados solamente son posibles con fertilización adicional. También es posible cultivar plantas forrajeras entre las plantas de *Jatropha* y permitir el pastoreo de ganado. En este caso, las plantas de *Jatropha* deben de estar lo suficientemente altas y fuertes para evitar que los animales las dañen. La *Jatropha* no debe asociarse con yuca, ya que la *Jatropha* es un posible huésped de varias enfermedades de la yuca.

Es recomendable iniciar el cultivo asociado al mismo tiempo, con la siembra de la *Jatropha*. Inicialmente, la *Jatropha* puede crecer más lentamente que la especie asociada. En ese caso, y cuando las especies asociadas se siembren cerca de las plantas de *Jatropha*, se recomienda sembrarlas un mes después para permitirle a la *Jatropha* un buen comienzo. El cultivo asociado con especies que proporcionen cosechas y altos rendimientos en el primer y segundo año aseguran un buen manejo, en especial por la limpieza de cultivos de las malas hierbas.

Los cultivos que pueden ser considerados para asociarse con la *Jatropha* deben ser anuales o bianuales de altura baja para que no den sombra a las plantas de *Jatropha*. Ejemplos son el maíz, maní, frijoles y chiles. Después de 1 o 2 años, las copas de árboles de *Jatropha* cubren completamente el campo de manera que no hay más espacio para el cultivo asociado y se hace más difícil el establecimiento de malas hierbas. El uso de especies fijadoras de nitrógeno, como los frijoles, en los cultivos intercalados, tienen una gran ventaja ya que la *Jatropha* no tiene esta capacidad [31].



Figura 10 – Cultivo de *Jatropha* asociado con *Arachis pintoi* y *Capsicum chinensis* en Belice, Fotografía: Sylvia Baumgart.

Los escenarios presentados en el capítulo 6 describen la viabilidad económica de los cultivos asociados.

2.6 CERCOS DE JATROPHA

La *Jatropha* se cultiva también en cercos. Los arbustos se utilizan como cercos vivos para control de erosión, demarcación de límites de terrenos y para la protección de edificaciones, jardines y campos contra daños causados por animales [12]. En el establecimiento de cercos de *Jatropha* con estaca se siembra cada planta con 25 a 50 centímetros de separación, en una sola fila o en fila doble con 50 centímetros de separación [5]. En caso de sembrar con semilla, se recomienda sembrar una planta de *Jatropha* por cada metro de cerco. Esto asegurará el uso del agua y nutrientes de las capas más profundas del suelo [31]. En suelos fértiles con un buen suministro de humedad los rendimientos o cosechas por cerco son de alrededor de 0.8 kilogramo por metro de cerco [12]. En suelos pobres es mucho menor.

2.7 RENDIMIENTOS DE SEMILLA

Los rendimientos de las semillas de *Jatropha* dependerán de una serie de factores (ver figura abajo):

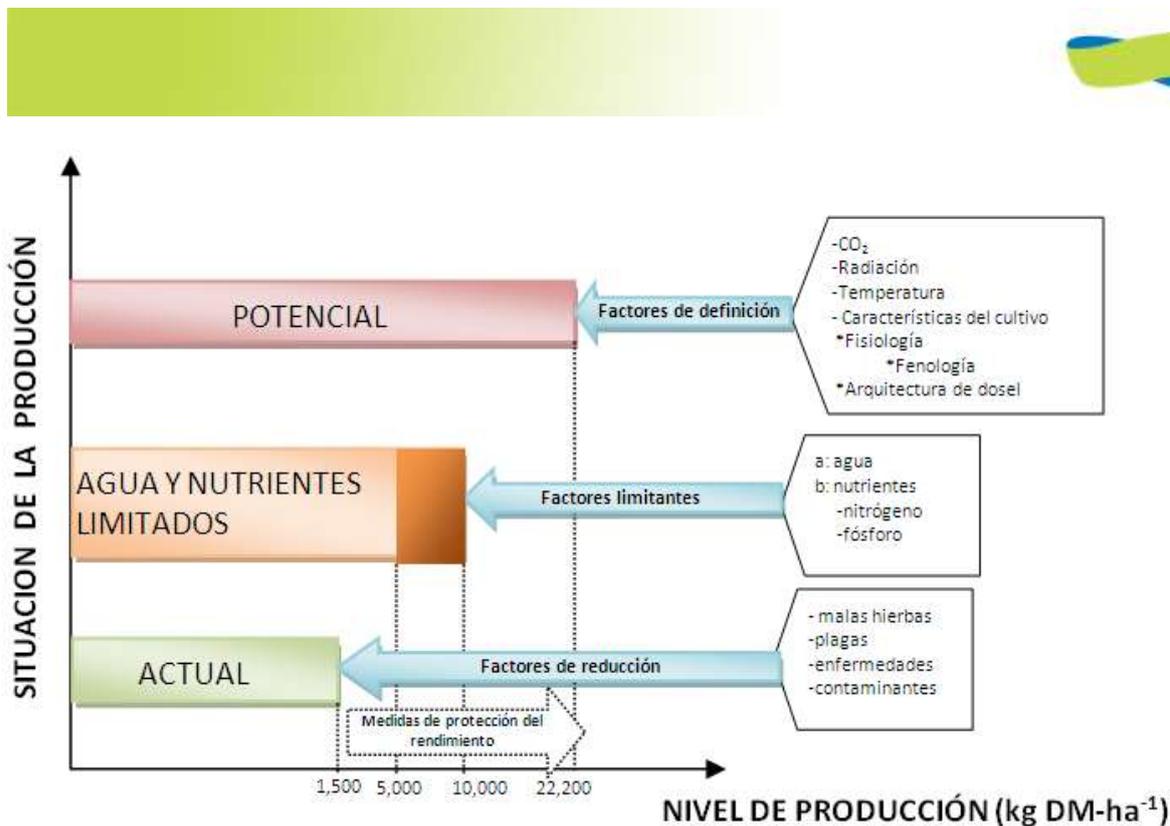


Figura 11 – Esquema de las situaciones de producción, con niveles indicativos de rendimiento o cosecha de materia seca. [24]

Cuando las condiciones de crecimiento de la *Jatropha* son óptimas, los niveles de agua y nutrientes son los que determinan su rendimiento. FACT ha estimado los rendimientos potenciales en cuanto a cosecha y semilla de *Jatropha* a diferentes niveles de suministro de agua y nutrientes (véase el cuadro). Estos datos representan una estimación y de ninguna manera garantizan que estos son alcanzados en el campo. El cuadro se basa en las experiencias y datos de campo recolectados desde el año 2005. El rendimiento en condiciones óptimas se basa en datos de N. Foidl de la experiencia documentada bajo el nombre "Proyecto Tempate" (1992) en Nicaragua, con un rendimiento máximo de 4.5 toneladas de semillas secas/ha/año (Seminario FACT: Agronomía y Genética de la *Jatropha*, 2007). El rendimiento máximo de 6 toneladas métricas (TM) se basa en el supuesto de que los cultivos y prácticas de selección realizadas en los últimos años han conducido a lograr plantas de mayor rendimiento y la optimización de la práctica agrícola.

Las siguientes consideraciones y restricciones aplican a dicha información:

Material genético de la *Jatropha*. Los rendimientos arriba mencionados se obtienen a partir del uso de semillas seleccionadas del más alto rendimiento disponible y adaptadas al tipo de suelo y condiciones climáticas locales.

Condiciones agro-ecológicas. Las cifras corresponden a zonas que poseen las condiciones óptimas en cuanto a temperatura y radiación para el desarrollo de la *Jatropha*.

Suministro de agua. El suministro óptimo de agua a la planta significa que el agua está disponible de manera permanente y tanto la sequía como el anegamiento o sobre saturación de agua no ocurren. En caso de dependencia total de aguas lluvias, el crecimiento de la planta puede ser afectado por:

> insuficiente disponibilidad de agua (sequía), lo cual reduce progresivamente el número de cosechas de tres a una al año. También disminuye el crecimiento de la planta y la producción de frutas.

> los efectos negativos del estancamiento de agua sobre el suelo que provoca daños en la raíz de la planta. Esto sucede en caso de exceso de precipitaciones en combinación con suelos pesados que no dejan bajar el agua.

Fertilidad del suelo. Se considera una buena fertilidad del suelo y además buena estructura y aireación.

Tabla. Rendimiento previsto de Jatropha para diferentes niveles de suministro de agua y fertilidad del suelo [5].

Suministro de agua	Fertilidad del suelo	Semillas secas (Kg/ha/año)
Óptimo	alta	6,000
	media	2,500
	baja	750
Normal	alta	3,500
	media	1,500
	baja	500
Inadecuado	alta	1,500
	media	750
	baja	250

2.8 PLAGAS Y ENFERMEDADES

Autor: Flemming Nielsen

Cuando la planta de Jatropha crece de manera aislada en el paisaje natural o en pequeños grupos rara vez muestra signos de plagas y enfermedades. Sin embargo, cuando se cultiva con densidades mayores en plantaciones o cercos, esta situación cambia. Informes sobre plagas y enfermedades en plantas de Jatropha provienen de todas partes del mundo en número cada vez mayor. En la mayoría de los casos, estas plagas y enfermedades, no son perjudiciales y hasta ahora pocas son de importancia económica.



Cuando un nuevo cultivo es introducido y cultivado en gran escala puede tomar años antes de que sea afectado por plagas y enfermedades. Este efecto, por ejemplo, es evidente en varias especies agroforestales. La tasa baja de incidencia de plagas y enfermedades que actualmente se observa en la mayoría de las zonas probablemente no dura por mucho tiempo.

Un listado de plagas y enfermedades que se han reportado que afectan la *Jatropha* se presentan en el apéndice del capítulo. La mayoría de las plagas son de poca importancia. Las plagas más importantes varían según las regiones:

- África: Los escarabajos pulga (*Aphthona spp.*) comen las hojas y sus larvas penetran en las raíces (Nielsen 2007, Gagnaux 2008). El escarabajo pulga amarillo (*Aphthona dilutipes*) causan más daños severos que el escarabajo pulga dorado resultando, en la mayoría de los casos en una mortalidad del 100%. El autor solamente ha observado el escarabajo pulga amarillo en la provincia de Manica en Mozambique, y conoce de otra observación en Malawi, donde también causa graves daños. (Timothy Mahoney, com. pers.).
- Centroamérica y América del Sur: las chinches que se alimentan de los frutos, *Pachycoris klugii* Burmeister (Scutelleridae) y *Zonatus leptoglossus* (Coreidae) (Grimm y Maes, 1997).
- Asia: El escarabajo *Scutellera nobilis* Fabr. Provoca la caída de flores, aborto de frutas, malformación de semillas, de inflorescencia y de la cápsula. El *Morosalis pempelia* causa daño ya que anida en las inflorescencias y se alimenta de ellas y en etapas posteriores provoca daños en la cápsula (Shanker y dhyani 2006).

Los daños causados por virus son de gran preocupación y parecen estar extendiéndose rápidamente en la India. Por otro lado, en África, la presencia de virus es todavía escasa.

Existe la preocupación de que, por ejemplo, en África el virus del mosaico de la yuca africana puede ser transmitido por la *Jatropha curcas*, aunque esto solo ha ocurrido con la *Jatropha multifida*. Münch, L. (1986) afirma que la enfermedad sobrealargamiento de la yuca (*Sphaceloma manihoticola/ Elsinoe brasiliensis*) puede ser transmitida a la *Jatropha curcas*. Por estas razones, se recomienda no plantar yuca y *Jatropha* en el mismo campo (Heller, 1996).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris*), es susceptible al virus del mosaico de *Jatropha* (Hughes et al 2003) el cual se transmite a través de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) (Ramirez et al 2008).

2.8.1 Medidas de control



La investigación sobre medidas de control biológico para plantaciones de *Jatropha* sigue avanzando, pero en la actualidad todavía se desconoce la eficacia de los diferentes métodos, por lo que no pueden hacerse recomendaciones específicas (Grimm 1999, Ramírez et al 2008). Sin embargo, los métodos que funcionan en otros cultivos pueden ser también eficaces en cultivos de *Jatropha*. También es probable que a nivel local se desarrollen métodos para diferentes casos, por lo que se recomienda la experimentación.

Los plaguicidas químicos son utilizados con éxito contra las principales plagas que afectan a la *Jatropha curcas*, incluyendo:

- Los plaguicidas que contengan clorpirifos o cifenotrina son eficaces contra las especies *Apthona*. (escarabajos pulga) (F Nielsen. obs. Pers.)
- El Captafol a 3,000 ppm se recomienda para la erradicación de la enfermedad del sobrealargamiento (Lozano et al 1981) en estacas de yuca. Es probable que su uso sea eficaz con la *Jatropha* también.
- La pudrición o descomposición de material en el cuello de la planta puede ser controlado con Oxiclورو de Cobre al 0.2% (COC) o con Burdeos al 1%. (Seminario del FACT, año 2007)
- El comedor de corteza (*Indrabela sp.*) y el barrenador de cápsula pueden controlarse con una mezcla de Vitex, Neem, Sábila, Calatropis o Rogor @ 2 ml/ litro de agua. Alternativamente, puede utilizarse endosulfán aplicado en spray @ 3 ml/ litro de agua (Paramathma et al 2004, Seminario FACT, año 2007). Muchos países han prohibido el uso de endosulfán.

2.8.2 Medidas preventivas

1. Uso de variedades de *Jatropha* resistentes. En la actualidad no existe un conocimiento sistemático sobre las variedades resistentes. Sin embargo, las plantas sanas son aquellas que deben seleccionarse como "plantas madre" para producción de semillas y estacas.

2. No se debe plantar *Jatropha curcas* cuando la presión de plagas sea elevada. La alta presión de plagas ocurre normalmente al final de la temporada de lluvias, cuando las temperaturas y la humedad relativa son altas. Un estudio reciente (Gagnaux 2007) encontró que las plantas de *Jatropha curcas* sembradas cuando la presión de plagas era alta mostraron mayores tasas de infestación años después de ser sembradas.

3. Medidas sanitarias:

- (a) Desinfectar las herramientas utilizadas para el corte y poda. El uso de alcohol, cloro y productos de limpieza como el *Lysol* son bastante eficaces, pero puede no ser viable



para los pequeños agricultores. La limpieza con agua, hierba o arena no es muy eficiente para eliminar el látex, pero es mejor que nada. Si el fuego está disponible, el uso de llamas puede ser el método más eficiente de bajo costo.

- (b) Si es posible, evitar el uso de las mismas herramientas de corte y poda en la yuca y la *Jatropha*.
- (c) Desenraizar las plantas enfermas. Se debe hacer una inspección al menos semanalmente durante los primeros meses. Si se utilizan los viveros, la inspección y la remoción de plantas no deseadas (desenraizar) debe ser parte de la rutina. Las moscas blancas, que son las principales responsables de la propagación de virus, no se alimentan de hojas marchitas, por lo que no suelen atacar las plantas removidas. Sin embargo, hay otros factores, por lo que se recomienda secar las plantas removidas a cierta distancia del campo para luego enterrarlas o quemarlas.
- (d) Reducir el daño a las plantas de *Jatropha* para reducir el riesgo de entrada de microorganismos. Se debe podar con herramientas afiladas y cortar siempre en un mismo ángulo. Evitar los cortes horizontales, donde el agua drene lentamente.
- (e) Masas grandes y densas de cualquier cultivo aumentan el riesgo de incidencia de plagas y enfermedades. Por lo que se recomienda:
- Mayor espaciamiento, por ejemplo, 3 por 3 metros o filas de siembra con al menos 4 metros de distancia.
 - Cultivar en campos pequeños separados y aislados unos de otros en el paisaje.
 - Plantar en bordes en lugar de las parcelas.
 - Cultivar de manera asociada con otras especies.
- (f) El residuo del prensado de semillas de *Jatropha* tiene propiedades pesticidas y puede utilizarse para proteger las plantas de *Jatropha* jóvenes ya que éstas tienen bajos niveles de toxinas.

2.9 REFERENCIAS

1. Datos de vermicompostaje. <http://assamagribusiness.nic.in/NEDFi/map30.pdf>
2. Datos de estiércol de ganado seco.
www.umaine.edu/animalsci/Issues/Nutrient/Nutrients%20from%20Manure.ppt

- 
3. Achten, W.M.J., Verschot, L., Franken, Y.J., Mathijs, E., Singh, V.P., Aerts, R., Muys, B., 2008. Uso y producción de bio-diesel de *Jatropha*. *Biomasa and Bioenergía* 32: 1063-1084.
 4. Daey Ouwens, K., Francis, G., Franken, Y.J., Rijssenbeek, W., Riedacker R., Foidl, N., Jongschaap, R., Bindraban, P., 2007. Papel de Posición sobre *Jatropha curcas*, Estate del arte, Desarrollo de Proyectos a Pequeña y Grande Escala. Fundación FACT, Eindhoven, Netherlands.
 5. Y.J. Franken, FACT Foundation
 6. Gagnaux P. C. A. (2008) *Incidência da entomofauna associada à cultura de Jatrofa (Jatropha curcal L) em Moçambique*, Tesis, Universidades Eduardo Mondlane, Mozambique
 7. Grimm C, Maes J-M. *Fauna Artrópoda asociada a la Jatropha curcas L. en Nicaragua: una sinopsis de especies, su biología y situación de plagas*. In: Gübitz GM, Mittelbach M, Trabi M, editors. *Biocombustibles y productos industriales de la Jatropha curcas—debates del simposio "Jatropha 97,"* Managua, Nicaragua, Febrero 23–27. Graz, Austria: Dbv-Verlag; 1997. p. 31–9.
 8. Gübitz, G.M., Mittelbach, M., Trabi, M., 1999. Explotación de la planta tropical de semillas oleaginosas *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67: 73-82.
 9. Grimm, C. (1999). Evaluación de los daños físicos a la nuez de *Jatropha curcas* por insectos. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. Agosto 92 (2): 127-136. (a) Institute of Forest Entomology, Forest Pathology and Forest Protection, University of Agricultural Sciences, Vienna, Austria.
 10. Heller, J. 1992. Untersuchungen genotypische über Eigenschaften und Vermehrungsund Anbauverfahren bei der Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) [Estudios sobre las características genotípicas, propagación y métodos de cultivo de frutos de *Jatropha curcas* L.]. Dr. Kovac, Hamburg.
 11. Heller, J., 1996. Nuez física. *Jatropha curcas* L. Promoción de la conservación y uso de cultivos subutilizados y abandonados. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
 12. Henning, R.K., la *Jatropha curcas* L. 2007. En: Van der Vossen, H.A.M. & Mkamilo, G.S. (Editores). *Recursos vegetales del África tropical* 14. Aceites vegetales. Fundación PROTA, Wageningen, Netherlands / Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands/ CTA Wageningen, Netherlands. pp. 103-108.

- 
13. Hughes JDA, Shoyinka SA (2003). Revisión de los virus que afectan las leguminosas y nueces de suelo en África en virología vegetal en África subsahariana, Proceeding of Plant Virology, IITA, Ibadan, Nigeria. Eds Hughes JDA, Odu. B, pp 553-568.
 14. Janssen, B.H., 1991. Nutrientes en las relaciones suelo - plantas (in Dutch: Nutriënten in bodem-plant relaties). College reader. Wageningen University.
 15. Jongschaap, REE, Corre, WJ, Bindraban, PS, Brandenburg, WA, 2007. Reclamaciones y Hechos sobre *Jatropha curcas* L. Plant Research International BV, Wageningen / Stichting Het Groene Woudt, Laren.
 16. Kar, A.K. y Ashok Das. 1988. Nuevos registros de hongos en la India. Indian Phytopathol. 41 (3): 505.
 17. Lozano, J.D., Bellotti, A., Reyes, J.A. Howeler, R., Leihner, D. y Doll, J. (1981) Problemas de campo de la yuca. CIAT, Cali, Colombia.
 18. Meshram, P.B. y K.C. Joshi. 1994. Un nuevo informe de *Spodoptera litura* (Fab.) Boursin (Lepidoptera: Noctuidae) como una plaga de la *Jatropha curcas* Linn. Indian Forester 120 (3) :273-274.
 19. Münch, E. 1986. Die Purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) - Botanik, Ökologie, Anbau. Diploma thesis. University Hohenheim, Stuttgart.
 20. Nielsen, F (2007) FNResearch Progress Report No. 1, 2007, Proyecto: "Aceite de *Jatropha* para el desarrollo local en Mozambique" Subtítulo: "Biocombustibles comunitarias ales para el desarrollo autónomo de energía" Período de referencia: enero 2007-julio 2007
 21. Paramathma, M., Parthiban, K.T. y Neelakantan, K.S. 2004. *Jatropha curcas*. Forest College & Research Institute, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore. 48p.
 22. Phillips, S. 1975. Un nuevo registro de *Pestalotiopsis versicolor* en hojas de *Jatropha curcas*. Indian Phytopathol 28 (4): 546.
 23. Ramirez SK, Snehi SK, S. Kumar, Hand MS y Pathre U. (2008) Primera identificación molecular de un Begomovirus en la India que está estrechamente relacionado con el virus mosaico de la yuca y que causa el mosaico y retraso en el crecimiento de la *Jatropha curcas* L. Australasian Plant Disease pp Nota . 69-72.
 24. Fuente: Rudy Rabbinge, presentado en el seminario FACT en mayo del 2008.
 25. Shanker C., Dhyani S.K. (2006) plagas de insectos de la *Jatropha curcas* L. y su manejo potencial. Current Science (Bangalore) 91, 162-3. Contacto: Shanker, Chitra; Natl Res Ctr Agroforestry, Gwalior Rd, Jhansi 284003, Uttar Pradesh, India.

- 
- 
26. Singh, I.D. 1983. Nuevas enfermedades de manchas de hojas en dos plantas medicinales. Madras Agric. J. 70 (7): 490.
 27. U. S. Dept. Agr. Handbook No. 165. 1960. Las zonas de resistencia de los Estados Unidos y Canadá, p. II. Índice de enfermedades de plantas en los Estados Unidos, EE.UU. Government Printing Office, Washington, DC.
 28. Fundación FACT, Y. J. Franken.
 29. Fundación FACT, W. Rijssenbeek.
 30. Valor agrícola de tipos de suelo: <http://www.recreational-land.co.uk/soil-classification.htm>
 31. Flemming, Nielsen, Asesor del FACT / Banana Hill.

3. COSECHA

Autor principal: Winfried Rijssenbeek, con aportaciones de Titus Galema

3.1 INTRODUCCIÓN

La recolección de semillas de la *Jatropha* es un proceso difícil por las características de maduración de la fruta. Debido a estas características, la cosecha de *Jatropha* se realiza principalmente a mano. El proceso de recolección se convierte en un proceso de trabajo muy intensivo que tiene un alto impacto en los costos de producción del aceite de *Jatropha*. Por lo tanto, la cosecha es un aspecto importante a considerar en el proceso de producción. Se ha intentado mejorar este proceso a través de la mecanización. No obstante, estas mejoras están todavía en desarrollo y sólo se han aplicado en proyectos piloto.

Para dar una idea de las principales factores a considerar en el proceso de recolección de la *Jatropha*, el presente capítulo analiza los siguientes aspectos: recolección y secado de frutas, el despulpado, almacenamiento de semillas, y consideraciones básicas de planificación de una plantación¹. En el apéndice se presentan consejos prácticos y reglas generales para poner en práctica durante la cosecha.

3.2. TECNOLOGÍAS DE LA COSECHA

Uno de los principales obstáculos para la producción de aceite de *Jatropha*, es el costo relativamente alto de la cosecha. Los altos costos, en comparación con otros cultivos de plantas productoras de aceite, tienen una serie de causas:

- La maduración de la fruta de *Jatropha* ocurre durante un período largo, lo que requiere una recolección semanal durante varias semanas o incluso varios meses al año.
- La maduración de los fruto no es uniforme. Esto significa que no todos los frutos de un grupo pueden ser cosechados a la vez. Sólo los frutos maduros (de color amarillo, marrón y negro) pueden ser recolectados.

¹ El término plantación es utilizado para denominar un campo cultivado con *Jatropha*, no en una connotación de plantación estatal. Hacemos referencia a los capítulos anteriores y cómo la *Jatropha* puede crecer como un monocultivo, en forma de cerco o como cultivo asociado.

- 
- Hasta ahora, los frutos de la *Jatropha* sólo pueden ser recolectados a mano. Esto requiere mucho tiempo, ya que cada fruta es de tamaño pequeño (por ejemplo, tres semillas en un fruto pesan alrededor de 2 gramos).
 - La producción de frutos de *Jatropha* por una hectárea es moderada, es decir, la densidad de las frutas en el campo es baja, lo que requiere distancias de transporte mayores en campo.

En resumen, existe un rendimiento relativamente bajo por hectárea, una temporada de cosecha larga, un tamaño de fruto pequeño que requiere recolección manual y transporte de los recolectores, y por lo tanto, es muy laborioso.

Esta primera sección detalla las tasas reales de recolección y el umbral de costos laborales que implica. Seguidamente se discuten las posibles soluciones de la recolección mecánica y la evolución de nueva tecnología que actualmente se encuentra en desarrollo.

3.2.1 Recolección manual de semillas de *Jatropha*

Es bueno primero aclarar que la definición de recolección en los diferentes estudios publicados no siempre es clara. Por ejemplo, ¿se trata solamente de la recolección en sí? ¿O también incluye el traslado en bolsas a la zona de secado? ¿O el transporte a la planta de prensado? Además, no siempre es claro si se trata de semillas secas o frescas. Datos de tasas generales de recolección pueden encontrarse en una serie de estudios. Los datos individuales muestran una gran variación, sin embargo un promedio de todas estas cifras, proporcionan indicaciones útiles, como se muestra a continuación:

- Nicaragua 50 a 80 Kg/ día. Los mejores recolectores en Nicaragua hasta 30 Kg de fruta por hora, lo que significaría unos 18 Kg de semillas/ hora, o 144 Kg/ día.
- Tanzania (supuesto): recolección de semillas: entre 2 a 10 Kg de semillas pueden ser recolectadas por hora (depende de la densidad de las plantas).
- Tanzania: recolección de semillas: 2 Kg de semillas secas en 1 hora.
- Tanzania: 52 Kg/ semilla seca por día.
- India (supuesto): con base a las horas necesarias para la cosecha de 125 toneladas métricas de semillas, se estima 64 Kg de semilla seca/ día.
- India: 8 Kg de semillas secas/ 1 hora de trabajo.
- Sudán: 12 Kg de semillas secas/ 4 horas de trabajo.
- Indonesia: 60 Kg de semillas secas/ día de 8 horas (modelo base).

- Congo: 40-50 Kg de semillas secas/ día.
- Brasil: 48 Kg de semillas secas/ día.
- Nicaragua: 64 Kg de semillas secas/ día.
- Honduras: 40 Kg de semillas secas/ día.

Los ejemplos muestran que las tasas de recolección varían considerablemente según el país y al interior de un país. Las cifras bajas podrían registrarse en zonas con cercos o en plantaciones de bajo rendimiento, donde la densidad de siembra podría ser baja y la recolección difícil debido a la altura. Si todos los datos son analizados es evidente que: 1) hay una gran variación en la eficiencia de recolección 2) que la recolección eficiente varía entre plantas silvestres (de bajo rendimiento - cosechas de 20-30 Kg por persona por día) y en plantaciones con un buen manejo (de alto rendimiento – cosechas de 40-70 Kg por persona por día).

¿Cómo afecta esto a los costos? En una serie de estudios de caso basados en tasas de recolección relativamente altas (60 Kg de semillas secas/ día), los gastos de funcionamiento de una plantación de *Jatropha* es de aproximadamente 600 dólares americanos por hectárea por año, de los cuales un poco más de 200 son para la cosecha, lo que representa más del 30% del costo de operación. Actualmente, bajo el supuesto que sólo es posible la cosecha manual, parece que el cultivo de *Jatropha* no es una buena opción para un país donde los costos laborales superan los 4 dólares americanos diarios. Esta consideración se basa en la experiencia obtenida a través de varios proyectos durante el período 1996-2009. La alternativa es la recolección mecánica, y aunque todavía no está plenamente desarrollada, podría reducir los costos en el futuro.

3.2.2 Soluciones de cosecha mecánica

Al inicio del desarrollo de la mayoría de cultivos, la recolección o cosecha siempre se hizo de manera manual. No obstante, debido a los cada vez más crecientes costos laborales, los sistemas mecánicos para cosecha se han desarrollado y permitido la expansión considerable de las áreas de cultivo. En el caso de la *Jatropha*, este desarrollo también está ocurriendo. La manera obvia de mirar el problema es compararlo con la cosecha mecánica de plantas con un tamaño de frutas y patrones de maduración similares. El siguiente paso es tratar de adaptar esta tecnología a la *Jatropha*. Algunos ejemplos de plantas con tamaño de frutas similares son aquellas provenientes de algunos árboles de frutos secos, como el nogal y árboles frutales como el albaricoque y la cereza; de igual forma las aceitunas y uvas se pueden comparar, pero en menor medida.

El mejor momento para cosechar las frutas de *Jatropha* es cuando tienen un color amarillo. Las semillas de las frutas secas (de color marrón o negro) tienen un contenido de aceite



ligeramente inferior, mientras las semillas de la fruta verde tienen un contenido bajo en aceite. Una vez madurada la fruta de la *Jatropha*, al caer al suelo, las semillas acumulan ácidos grasos libres (FFA).

Actualmente existen varias técnicas de recolección mecánica utilizadas para plantas con un tamaño de fruta y forma similares a *Jatropha*. Estas técnicas se describen a continuación, analizando al mismo tiempo su aplicabilidad para la recolección de frutos de *Jatropha*:

- Agitador de árbol o tronco principal – se instala un sistema de agarre mecánico en el tronco principal y luego se agita para que todos los frutos maduros caigan. Esta técnica podría funcionar para la *Jatropha* si la herramienta tiene la capacidad de abrir el fruto cuando se seca, o si cuando se agita, las frutas amarillas caen. La experiencia indica que la agitación no siempre da el resultado esperado.
- Uso de redes para evitar que los frutos caigan al suelo - Estas redes se instalan con el fin de evitar el daño del fruto al caer y su pudrición en el suelo. Para la *Jatropha*, el uso de redes puede ser interesante si la fruta madura color amarillo cayera fácilmente al sacudir el árbol, mientras que las verdes no. Una vez que caen al suelo, las frutas de *Jatropha* sueltan sus semillas. Las semillas no se deterioran con facilidad en el suelo. Se necesitará el uso de redes con agujeros más pequeños que el tamaño de las frutas/ semillas, es decir un diámetro de menos de 6 a 8 milímetros. La desventaja del uso de redes es la acumulación de hojas y otros desechos que se acumulan sobre ella, especialmente cuando la temporada de fructificación es larga.
- Rastrillado - En este caso, las ramas son rastrilladas para despojar las frutas de ellas. Esto plantea un problema debido a la maduración de las frutas de *Jatropha*. Si la fruta va madurando durante un largo período, el rastrillado de ramas no es adecuado. Este tipo de recolección requiere que las ramas sean lo suficientemente fuertes y flexibles para no romperse. A menos que las plantas de *Jatropha* pueden diseñarse de manera que la maduración en su totalidad se concentre en un período, este método no es viable.
- Robots con brazos recolectores – La investigación y desarrollo (R+D, por sus siglas en inglés) en los robots se está moviendo rápidamente y su uso en frutas de alto rendimiento puede ser factible siempre y cuando el precio del producto lo permita. Para la *Jatropha*, el éxito en el uso de robots para la recolección es poco probable debido a: 1) la baja densidad de rendimiento sobre superficie y en tiempo y los 2) bajos costos del producto final.
- Aspiradoras - Es posible aspirar del suelo las semillas de manera regular. En este método se debe diseñar la máquina de modo que la fuerza de succión levante únicamente las semillas dejando el suelo en su lugar, luego se deberá utilizar un



separador para separar las semillas de otros desechos. Este método podría funcionar para la *Jatropha*, si la variedad deja caer sus frutas.

- Otras opciones - Existen productos químicos que podrían permitir que la fruta se fije en menor forma a la terminal. Estos pueden ser aplicados a través de rociadores, pero una vez más, los costos podrían ser una limitante.
- Combinación de sistemas - Es posible hacer una combinación de los métodos anteriores. Como otra de las opciones también se podría incluir la cosecha manual, en la que los recolectores se desplazan en un automóvil a lo largo de las líneas de arbustos de *Jatropha*.

Es demasiado pronto para decir cuáles son los mejores métodos y qué combinaciones podrían funcionar mejor. Si las plantas no son seleccionadas o modificadas para concentrar la maduración en un período corto, es probable que la recolección manual apoyada con un automóvil podría ser un paso, el uso de aspiradoras también puede desarrollarse, o el rastrillado de ramas de manera cuidadosa. A continuación se destacan los desarrollos recientes.

3.2.2.1 Tecnologías en desarrollo

La labor de investigación y desarrollo de la recolección mecánica ha avanzado bajo el impulso de empresas especializadas en desarrollar cosechadoras mecánicas. En la conferencia *Jatropha World Miami 2008*, se hizo una presentación por varias empresas tales como *Viridas PLC* y *DreamFuels Ltd*. *DreamFuels Ltd* ha desarrollado un prototipo de una máquina cosechadora de *Jatropha*, que pretenden utilizar en sus nuevas plantaciones ubicadas en La Belle, Florida.

Viridas PLC, es una empresa brasileña, que ha desarrollado un prototipo de cosecha mecánica para plantaciones de *Jatropha* basada en los "agitadores", utilizados en la industria de la aceituna. Basado en estadísticas de la industria de la aceituna, un trabajador puede cosechar a mano un poco más de 4 kilos por hora. Con un agitador mecanizado, un trabajador puede recoger hasta 635 kilos por hora. Una vez desarrollada, la cosecha mecánica, representa una enorme promesa para reducir la intensidad del trabajo de cosecha y por tanto sus costos.

En un seminario sobre *Jatropha* desarrollado en Hamburgo en noviembre de 2008, ninguna de las dos compañías ha anunciado aun alguna noticia sobre el estado actual de las tecnologías.

3.3 EXTRACCIÓN DE SEMILLAS DE LAS FRUTAS

Autor: Titus Galema



La siguiente actividad después de la cosecha de la fruta de la *Jatropha* es su despulpado, que es el proceso de quitar la cáscara de las frutas de las semillas. Teniendo en cuenta la forma, textura y tamaño de las frutas de la *Jatropha*, se puede concluir que no se requiere tecnología compleja para su despulpado. A continuación se hace una descripción que se espera facilite ideas para realizar el despulpado a través de soluciones locales. El despulpado puede hacerse de forma manual, semi-mecanizada o totalmente mecanizada. El despulpado manual es una actividad que consume mucho tiempo y que puede ser mecanizado fácilmente. El proceso se da en dos pasos: trituración y separación.

El despulpado se puede hacer con frutas frescas (de color amarillo) o con frutas secas (de color marrón). La cáscara de la fruta fresca de *Jatropha* es de aproximadamente 5 milímetros de espesor, mientras que la cáscara de la fruta seca es de aproximadamente 1 milímetro. El despulpado de fruta fresca de tamaño grande tiene la ventaja de provocar más fricción, que resulta en una mayor eficiencia en el despulpado en comparación con el uso de frutas secas. Una vez desulpadas las frutas, las cáscaras se mezclan con las semillas por lo que deben separarse.

Actualmente se conocen algunos métodos para despulpar, los cuales se presentan a continuación. Queda claro que todavía hay mucho espacio para mejorar las tecnologías.

3.3.1 Despulpado

El principio del despulpado se basa en provocar una ligera presión y fricción de los frutos en el despulpador teniendo como resultado la apertura de frutas y soltura de las cáscaras. Existen diferentes tipos de despulpadores, desde los manejados manualmente hasta motorizados. La mayoría de los despulpadores existentes están diseñados para uso industrial y con grandes volúmenes. Despulpadores similares se utilizan para el café y el cacahuate. También hay despulpadoras pequeñas, de fabricación local hechas de materiales y mano de obra local.

3.3.1.1 Despulpadora de tamaño pequeño del proyecto "full belly": Universal Nut Sheller (UNS).

El primer ejemplo interesante de una despulpadora semi-mecanizada es un dispositivo operado manualmente en forma de campana hecha de hormigón y acero diseñado por Joost Brandis del Proyecto Full Belly. La fricción es provocada por un torno vertical y la campana exterior es en forma de concha fabricada de hormigón hueco. A través de una tuerca de bloqueo ajustable en la parte superior del eje vertical, se puede ajustar al tamaño de la fruta deseada. El UNS se hace con moldes de fibra de vidrio, que se llenan de barras de metal y hormigón en posición vertical. Las partes metálicas están hechas en tamaños estándar y se puede encontrar en la mayoría de los países en desarrollo. Este dispositivo es sencillo pero eficaz, tiene una capacidad de 250 Kg de fruta fresca por hora, lo que equivale a unos 125 Kg de semillas secas. Tiene 60 centímetros de alto y 35 de ancho y pesa

aproximadamente 40 kilos. Esta despulpadora puede conectarse a una bicicleta o una transmisión de motor de 1 caballo de fuerza (HP).

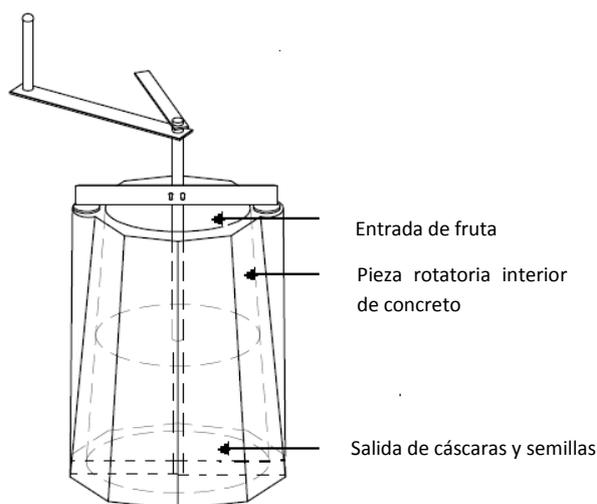


Figura 1: vista lateral del UNS (Universal Nut Sheller)



Figura 2: UNS en uso - Universal Nut Sheller [1]

El costo de los materiales de esta despulpadora realizada por el Proyecto Full Belly es de aproximadamente 30 dólares americanos.

Se necesitan dos días de trabajo para preparar las piezas de metal, crear las piezas de concreto (verter el cemento en los moldes) y ensamblar la despulpadora. Si se ensambla correctamente, la despulpadora UNS no requerirá de mantenimiento. Una desventaja es su fragilidad ya que si se deja caer, puede romperse.

Un proveedor de la despulpadora UNS es la empresa BYSA, Yoro, Yoro (Honduras). Una descripción más detallada sobre la máquina y su montaje se puede encontrar en la página web del Proyecto Gota Verde: www.gotaverde.org.

En Malí, también se construyeron este tipo de despulpadores operados manualmente para frutas de *Jatropha*. Se afirma que esta maquinaria mejora hasta en 5 veces la labor realizada de manera manual. Los equipos son fácilmente construidas a nivel local tal como puede verse en la figura 1. (www.malibiocarburant.com). La empresa Malí BioCarburant (en Malí) ha trabajado con pequeños agricultores, obteniendo tecnología del Proyecto Full Belly (de EE.UU.) quienes diseñan tecnología apropiada.

3.3.1.2 Despulpadoras industriales de gran tamaño

Un ejemplo actual de una despulpadora de *Jatropha* de tamaño grande, tipo industrial, es la diseñada por el "Proyecto Tempate" en León Nicaragua. Esta máquina funciona con un cilindro giratorio horizontal (100 revoluciones por minuto) de malla lo que provoca la fricción de la fruta contra la malla en la parte superior. Esta malla se puede ajustar al tamaño de la fruta para optimizar el proceso de despulpado.

Un motor diesel de 8 caballos de fuerza (HP) impulsa la despulpadora y el separador de forma simultánea. Tiene una capacidad de 1000 Kg de fruta fresca por hora (con un rendimiento de hasta 500 Kg de semillas por hora) y consume 0.75 litros de combustible por hora.

La máquina cuesta alrededor de 2000 dólares americanos y sus dimensiones máximas son de 70 x 100 x 150 centímetros y pesa aproximadamente 120 kilogramos.

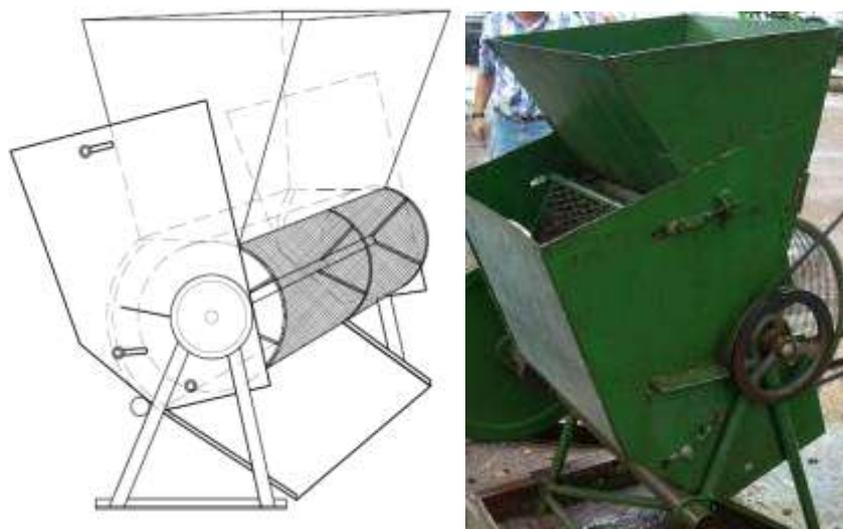


Figura 3: Despulpadora del "Proyecto Tempate"

En la mayoría de los países hay disponibilidad de versiones mecanizadas para el despulpado. Véase por ejemplo en Indonesia: www.kreatifgroup.com.

3.3.2 Separación de semillas y cáscaras de fruta

En la práctica existen dos métodos para separar las semillas de las cáscaras de la fruta de la *Jatropha*.

1. Manualmente de manera sencilla.
2. Mecánicamente mediante el uso de un separador.

En ambos casos, el principio de separación se basa en la diferencia entre los tamaños de las semillas (tamaño pequeño) y las cáscaras de la fruta (color amarillo y tamaño grande). La diferencia de tamaños entre semillas y cáscaras es mayor en frutas frescas que en frutas secas (color café y tamaño reducido), de manera que la fruta fresca es más fácil de separar.

3.3.2.1 A pequeña escala (manualmente)

Al utilizar una despulpadora pequeña operada manualmente, la mezcla de semillas y cáscaras de frutas se pueden separar mediante el uso de un tamiz, sacudido de manera manual, para que las semillas pasen a través de la malla mientras se retienen las cáscaras de la fruta. Esto permite al productor de *Jatropha* despulpar la fruta directamente en el campo y así utilizar las cáscaras como fertilizante, sin necesidad de tener zonas de secado y gastos de transporte.

3.3.2.2 A grande escala (mecánica)

A través del uso de un separador mecánico, las semillas se separan de la cáscara en un cilindro hueco de rotación hecho de malla que se encuentra en posición inclinada. El tamaño de malla se puede ajustar al tamaño de la semilla. Las semillas caen en el fondo del cilindro de rotación y las cáscaras de la fruta salen por el extremo más bajo del cilindro inclinado. El tamaño total del separador es de 100 x 200 x 300 centímetros y cuesta unos 700 dólares americanos.

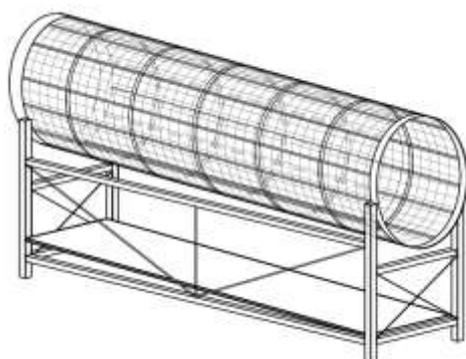


Figura 6: Esquema y fotografía de un separador en operación (usado en el Proyecto Gota Verde en Honduras)

Cuando las cáscaras y las semillas de frutos secos no se puedan separar fácilmente, se deberá usar un soplador, y en el caso que no haya energía disponible en el campo, por acción del viento.

3.3.3 Secado de frutas

Antes del despulpado de frutas secas, primero se debe secar las frutas. El secado es también beneficioso ya que la fruta húmeda aumenta el peso y los costos de transporte. Se ha demostrado que el secado bajo el sol directo tiene un efecto negativo sobre la viabilidad de las semillas, por lo que este tipo de semillas se deben secar a la sombra.



El despulpado manual y primer secado pueden hacerse en el campo o en un centro de acopio. Cuando los frutos están amontados sin aireación podrían pudrirse y contaminar las semillas.

3.3.3.1 Parámetros de áreas de secado

A continuación se presentan algunos parámetros para diseñar un sistema de secado solar y posterior almacenamiento de las frutas secas de *Jatropha*.

El área para el secado ideal consiste en un piso de concreto o una lona agrícola plástica sencilla. El suelo de cemento tiene más solidez y en él se puede trabajar más eficientemente. El suelo debe estar ligeramente inclinado de manera que la lluvia no se estanque y escurra fácilmente. Si las máquinas despulpadoras se utilizan en el suelo, podrían requerir una base de acero con una profundidad mínima para sostener el peso de los cargadores frontales. Los contratistas locales pueden proporcionar el diseño adecuado en función de la forma en que se utilice la maquinaria.

3.4 SECADO Y ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS

Cuando las semillas se separan de las cáscaras de las frutas, éstas luego se almacenan. Se transportan las semillas desde el campo hasta el área de procesamiento. El transporte se hace a través de tractores, carros con tracción animal, bicicletas o por personas. Las semillas requieren el secado hasta llegar a un 6% de su contenido de humedad (ideal) antes de ser prensadas. El proceso de secado se lleva con las semillas individuales, mientras que el almacenamiento se realiza en sacos. En esta sección se detalla la forma de secado y almacenamiento de semillas. También se presentan las condiciones de almacenamiento requeridas en diferentes aplicaciones.

3.4.1 Secado de Semillas

El rendimiento por hectárea, el período de cosecha y la duración del secado determinan el tamaño necesario de la zona de secado. En cuanto a la superficie necesaria, se estima que una semilla requiere aproximadamente 2cm^2 , lo que significa que 1,000 semillas, que pueden llegar a pesar 550 a 800 gramos, requieren 0.2 m^2 (la media sería de 1,400 semillas/kilogramo). Por kilogramo de semilla, la superficie necesaria sería de alrededor de $0,25\text{ m}^2$. Después de secadas, las semillas, pueden empacarse en sacos tejidos (con aireación) para su almacenamiento.

3.4.2 Área de almacenamiento de sacos

El área de almacenamiento necesaria depende del volumen que se almacena, que es una función de la estacionalidad de la producción y el período de operación de la prensa durante

el año. Para evitar una subutilización de la capacidad de las prensas y los gastos operativos de su funcionamiento, lo mejor es tener las prensas funcionando durante todo el año. Esto implica un abastecimiento continuo, lo que requiere algún almacenamiento, especialmente si la cosecha de *Jatropha* es estacional.

En el siguiente ejemplo, se hace una estimación de la capacidad de almacenamiento máximo para una superficie de 100 ha, con una capacidad de producción anual de 500 toneladas métricas y una demanda continua de 42 toneladas métricas por mes para la prensa de aceite.

La temporada de cosecha es de diciembre a junio. El rendimiento varía en el tiempo; el rendimiento mínimo en TM/ mes, es en diciembre (30 TM) y el óptimo es en marzo (120 TM). La demanda para el prensado es de 42 TM/ mes, por lo tanto, la capacidad de almacenamiento necesaria será la producción mensual menos la demanda. La máxima capacidad de almacenamiento será de 220 TM (necesidad de almacenamiento desde enero hasta junio). En este ejemplo, una prensa de aceite puede funcionar continuamente durante casi todo el año.

Cuadro 1 - Estimaciones de almacenamiento para un área de cultivo de 100 ha.

Parámetro	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción	TM/mes (100 ha)	50	80	120	100	70	50	0	0	0	0	0	30
Demanda	TM/mes	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Necesidad de almacenamiento	TM/mes	8	38	78	58	28	8	-42	-42	-42	-42	-42	12
Máximo almacenamiento	TM/mes			78									
Máximo almacenamiento	TM (Dic-Jun)						220						
Máximo agotamiento	TM/mes							-42	-42	-42	-42	-42	

La densidad en volumen aparente de semillas de *Jatropha* se estima en aproximadamente 400 Kg/m³. Este dato corresponde a semillas secadas al aire con un peso aproximado de 0.8 gramo/ semilla.

El diseño de un cobertizo o galera para el almacenamiento de semillas debe tener un techo largo y una estructura de pared abierta o semi-abierta; Puede ser similar a la que se utiliza para almacenar maíz. Además, debe estar bien aireado y los contenedores pueden ser silos abiertos, iguales a los utilizados para el maíz. Las semillas de *Jatropha* no son alimento, por lo que no es necesaria la fumigación. Debido a que se puede almacenar alrededor de 400 Kg por metro cúbico, el volumen neto del espacio de almacenamiento es de 220/0.4 = 550 m³. Si se convierte esto en una superficie bruta (para circulación, etc.) multiplicándolo por un



factor equivalente a 2, se necesitaría 1,100 m³. Con una altura promedio de 3 metros, éste sería de unos 366 m² o de 19 x 19 metros.

3.4.3 Condiciones de almacenamiento

Las condiciones de almacenamiento de las semillas, sin duda afectarán la calidad del aceite extraído de ellas. Las semillas para la producción de aceite requieren condiciones de almacenamiento más cuidadosas que las condiciones para semillas utilizadas como material de siembra. Las condiciones de almacenamiento, en ambos casos se explican a continuación.

3.4.3.1 Almacenamiento de semillas para siembra

Las semillas de *Jatropha* son aceitosas y no se pueden conservar por mucho tiempo. Bajo las condiciones tropicales, las semillas de más de 15 meses, demuestran una viabilidad por debajo del 50%. Los altos niveles de viabilidad y bajos niveles de germinación, poco después de la cosecha, son indicadores de reposo vegetativo innato (primario).

Las semillas destinadas para siembra se deben secar a manera de bajar su contenido de humedad al (5-7%) y almacenarse en contenedores en condiciones oscuras y frescas. Debido a que las semillas respiran, no deben ser empacadas herméticamente. A una temperatura de 20 °C, las semillas pueden mantener su alta viabilidad durante al menos un año. Sin embargo, debido al alto contenido de aceite en las semillas no se pueden almacenar durante mucho tiempo como en el caso de especies más comunes. Las semillas almacenadas bajo condiciones ambientales normales mantienen la viabilidad durante 7-8 meses. A partir del octavo mes, la viabilidad de la semilla comienza a deteriorarse, por lo tanto, para mantener su viabilidad y capacidad germinativa de manera efectiva, las semillas destinadas para la siembra deben mantenerse a temperatura bajas.

3.4.3.2 Almacenamiento de semillas para la extracción de aceite

La industria del aceite requiere de suministro continuo de materia prima para la extracción y purificación de aceite. Las semillas que contienen el aceite deben ser almacenadas y preparadas para la extracción, con el fin de mantener un producto final de alta calidad. Se ha evidenciado que el almacenamiento de semillas por períodos prolongados (más de 8 meses) afecta la calidad y cantidad del aceite extraído, por lo que debe ser evitado. La exposición directa al sol en períodos prolongados también degrada la calidad del aceite. Para un almacenamiento normal se recomienda el secado hasta lograr un 5 -7% de



humedad por aire o por secado solar. La duración del secado dependerá de una serie de factores como las horas de sol, humedad, temperatura y viento.

En el almacenamiento, las semillas deben estar debidamente aireadas. Esto puede hacerse en silos similares a los utilizados para almacenar maíz. El secado de semillas hasta un 4% de humedad, aumenta la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, entre más seca esté una semilla, menos será la eficiencia de la prensa extractora del aceite. Por lo tanto, se recomienda prensar semillas con un mayor contenido de humedad, por ejemplo, entre el 7 - 10%, y evitar el almacenamiento de semillas por períodos muy prolongados.

3.5 REFERENCIAS

[1] www.malibiocarburant.com.

GLOSARIO DE TÉRMINOS - CAPÍTULO 4

Tasa de recuperación de aceite: el porcentaje de aceite contenido que es extraído. Una tasa de recuperación del 100% significa que todo el aceite es extraído de la semilla. Para la *Jatropha* sería unos 0.41 litros por kilogramo de semilla.

SVO (Aceite Vegetal Puro o Straight Vegetable Oil por sus siglas en inglés): este es el aceite que se extrae a través del prensado de semillas y que luego pasa por un proceso de limpieza y que ya está listo para utilizarse con diversos fines. También se conoce como PPO (Aceite Vegetal Puro o Pure Plant Oil por sus siglas en inglés).

Aceite Crudo: Es el aceite de *Jatropha* que resulta directamente después del prensado de semillas.

Blanqueado: Es un proceso de absorción que elimina todas las impurezas tales como comidas, componentes metálicos, peróxidos, productos de oxidación y residuos de jabón de álcali refinado. En este paso, también pueden removerse las gomas hidratables siempre y cuando su nivel esté por debajo de 55 partes por millón (ppm) [9].

Desodorización: Es la mejor manera de eliminar el azufre. Además, elimina algunos ácidos grasos [9].

Ácidos Grasos Libres (FFA o Free Fatty Acids por sus siglas en inglés): Existen en los aceites vegetales crudos como un deterioro derivado de la hidrólisis. En su forma libre, son solubles en aceite e insoluble en agua y por lo tanto, no pueden ser fácilmente separados del aceite [9].

Hidrólisis: Es la conversión de los glicéridos en ácidos grasos y glicerol.



4. EXTRACCIÓN DEL ACEITE (PRENSADO) Y PURIFICACIÓN

Autor principal: Peter Beerens con contribuciones de Janske van Eijck.

4.1 INTRODUCCIÓN

Básicamente, el proceso de obtener aceite de semillas oleaginosas es tan antiguo como la humanidad misma. Aunque los medios que se utilizan para este propósito se han desarrollado, todavía implica la trituración de semillas para extracción del aceite. No obstante, todavía no existe mucha experiencia en el prensado de semillas de *Jatropha*. La GTZ (Agencia Alemana para la Cooperación Técnica) fue una de las primeras organizaciones involucrada en el tema de prensado de semillas de *Jatropha* desde finales de las décadas de los 80 y 90. Varias instituciones iniciaron nuevos estudios sobre la extracción y purificación del aceite de *Jatropha*, entre ellas la WUR (Wageningen University and Research Centre) y la RUG (Universidad de Groningen), en Holanda. Además de las investigaciones realizadas por estos institutos de gran envergadura, se han realizado iniciativas pequeñas en el tema de *Jatropha* que han arrojado resultados interesantes.

El proceso de producción de las semillas de *Jatropha* a aceite se muestra a continuación. Se detalla cada paso del proceso de acuerdo a cada tema indicado.

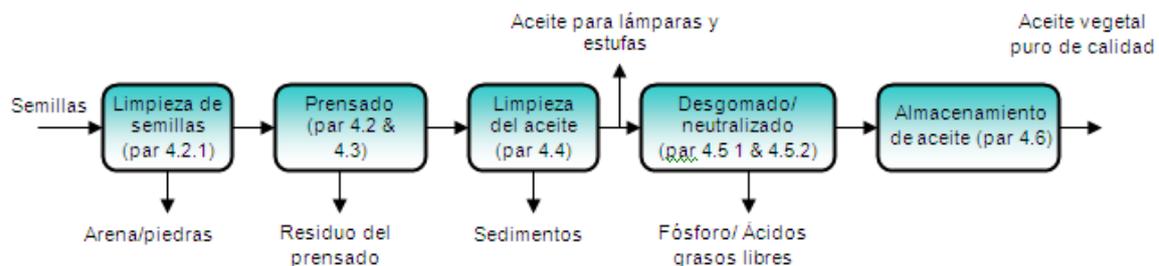


Figura 8 - Pasos de la producción de SVO de *Jatropha*. El desgomado y la neutralización sólo son necesarios si están presentes grandes cantidades de ácidos grasos libres y fósforo. Los valores de los estándares DIN V 51605 tal como se muestra en la figura 23, son una buena referencia.

Este capítulo trata sobre los métodos de extracción mecánica del aceite de *Jatropha* y los aspectos de calidad del aceite. La extracción mecánica del aceite significa usar algún tipo de máquina de presión o prensa para extraer el aceite de las semillas. Actualmente se encuentran disponibles diferentes tipos de tecnologías para la extracción de aceite. La selección de la tecnología a utilizar consiste en encontrar un equilibrio entre el nivel de complejidad aceptable, los costos de la tecnología y la calidad requerida del aceite. La escala o tamaño de la producción es un factor limitante en la selección de la tecnología.



La extracción es sólo un aspecto de la producción de aceite. Luego del prensado de semillas para la extracción, el aceite de *Jatropha* necesita purificación adicional antes de que pueda ser utilizado. Existen diferentes formas de separar lo sólido del líquido, las cuales son detalladas más adelante.

La sección 4.2 trata sobre el tema de la extracción mecánica de aceite. Las tecnologías para el prensado son discutidas y recomendaciones específicamente para *Jatropha* se hacen en la sección 4.3. La sección 4.4 detalla métodos de limpieza o purificación del aceite. Los aspectos generales de calidad para que el aceite vegetal pueda ser utilizado como combustible se discuten en la sección 4.5. En la sección 4.6 se tratan temas relacionados con la calidad y el almacenamiento.

4.2 EXTRACCIÓN MECÁNICA DE ACEITE

Hay diferentes maneras de extraer el aceite de semillas oleaginosas. Una forma mecánica de extracción es mediante el uso de una máquina que ejerce presión sobre las semillas oleaginosas para extraer el aceite. Un segundo método es el uso de solventes, los cuales se añaden a las semillas previamente trituradas para que se disuelva el aceite. Luego, el aceite puede ser recuperado del solvente. En las fábricas industriales de aceite, los dos procesos - extracción mecánica y con solventes - a menudo se combinan para obtener mayores rendimientos. La extracción mecánica de aceite logra recuperar el 90-95% del aceite presente en las semillas, mientras que la extracción con solventes puede alcanzar hasta un 99%. La extracción con solventes es una solución compleja, a gran escala que involucra el uso de productos químicos peligrosos.

Dado que este manual se centra en aplicaciones a pequeña escala, la extracción con solventes no es considerada como una alternativa viable. La extracción mecánica utilizando prensas es el método más común para la extracción de aceite para consumo, ya que es un método simple, continuo, flexible y seguro.

4.2.1 Limpieza y control de semillas

La limpieza y control de semillas puede reducir el riesgo de deterioro de la prensa. La mayor parte de la contaminación consiste en arena, pedazos de madera y piedras, que dañan la prensa. La manera más común para remover las piedras y arena es a través del uso de una trilladora o un tamiz vibrador. La elección entre el tamizado manual o mecánico dependerá de la capacidad de producción.

4.2.2 Proceso de prensado

Durante el proceso de prensado, las semillas se introducen en una tolva y luego son aplastadas y transportadas en dirección de una restricción (también conocida como

'boquilla') mediante un tornillo que gira (a menudo llamado "gusano"). Mientras la sección de alimentación de la prensa se llena de semillas sueltas, el primer paso del proceso consiste en el rodaje, ruptura, desplazamiento de semillas y eliminación de aire entre los huecos del material. Tan pronto, se eliminan los huecos, las semillas comienzan a ceder ante la fuerza aplicada a través del contacto mutuo y la deformación. El transporte continuo de material nuevo de la tolva hace que la presión aumente a un nivel necesario en la boquilla. A este punto la prensa está en funcionamiento. La presión acumulada causa la extracción del aceite del material sólido dentro de prensa. Para más detalles, véase [2].

4.2.3 Parámetros importantes en el prensado

Al diseñar o instalar una prensa de semillas de *Jatropha* es útil conocer las principales variables que afectan a la recuperación y calidad del aceite. La información que se presenta a continuación se aplica al proceso de extracción en general y no podría aplicarse a casos específicos [2]. La figura 1 resume posteriormente, la influencia y el impacto de las variables.

Párametros de prensado	Recuperación de aceite	Presión	Temperatura	Capacidad (kg / hora)	Energía/litro
RPM	↓	↑	↑	-	↑
Tamaño boquilla	↓	↑	↑	-	↑
Tratamientos de la semillas					
Calentado	↑	-	↓	-	↓
Escamado		↓	-	↓	↓
Contenido de humedad	↓	↑	↑	↓	↑
Contenido de cáscara	↓	↓	↓	↓	↓
Hervido		↑	↑	-	↑

Figura 1 - Efecto de los parámetros de la prensa en cuanto a productos y procesos. Las flechas hacia arriba indican el aumento de una variable, las flechas hacia abajo una disminución [2]. RPM indica la velocidad de rotación del tornillo en revoluciones por minuto, el tamaño de la boquilla se refiere a la apertura donde sale el residuo del prensado y el escamado es el corte de material en pedazos pequeños.

4.2.3.1 Recuperación de aceite

La cantidad de aceite que puede ser recuperado de las semillas se ve afectado por los siguientes factores:



- **Capacidad:** Es la cantidad de semillas que se procesa por unidad de tiempo (kg/hora). A mayor capacidad, menor recuperación de aceite por kg de semillas, debido a la reducción del tiempo de prensado. La capacidad puede ajustarse cambiando la velocidad de rotación del tornillo.
- **Punto de presión del aceite:** Es la presión a la cual el aceite comienza a salir de las semillas. Si por ejemplo, las semillas pueden ser manipuladas de manera que se reduzca el punto de presión del aceite, será más fácil extraer el aceite.
- **Presión:** A mayor presión, más aceite se extrae de las semillas. Sin embargo, entre más fuerza de presión se aplique, más contenido de partículas sólidas tendrá el aceite extraído, por lo que su limpieza será más difícil. Las presiones típicas de prensas movidos por un motor están en un rango de 50-150 bar.
- **Tamaño de la boquilla:** Un menor tamaño de la boquilla conduce a una mayor presión y por tanto una mayor producción de aceite. El tamaño óptimo de una boquilla se debe encontrar para cada prensa individualmente.
- **Contenido de humedad de las semillas:** Se relaciona con el almacenamiento. El contenido de humedad óptimo identificado es de 2-6%. Un contenido de humedad mayor al 8% se considera demasiado húmedo y requiere mayor secado.
- **Contenido de cáscaras de semillas:** Esta es una variable difícil. Lo ideal es prensar las semillas sin cáscara. Sin embargo, la presencia de cáscaras parece vital para la acumulación de presión dentro de la prensa. Al eliminar las cáscaras se requiere menos energía para el prensado y el resultado es cero presencia de partículas o pedazos de cáscaras en el aceite crudo. Lamentablemente las semillas sin cáscaras se convierten en una pasta dentro de las prensas estándar, la cual queda pegado al tornillo interior y se mantiene girando a lo largo del mismo. En ese caso, se requiere adaptar la prensa para aumentar la fricción en la cámara de prensado.

4.2.3.2 Calidad del aceite

La calidad del aceite se ve afectado por varios factores:

- **Contenido de humedad de las semillas:** De acuerdo con las normas para combustible, el contenido de agua en el aceite vegetal puro debe ser inferior al 0.08% (figura 23). Un contenido alto de humedad puede aumentar la formación de ácidos grasos libres durante el almacenamiento.
- **Temperatura del proceso:** La fricción dentro de la prensa genera calor, la cual se transmite al aceite y a los residuos del prensado. Por encima de ciertas temperaturas se forma fósforo, lo que conduce a depósitos de carbono en los inyectores de



combustible y en las cámaras de combustión. Para el aceite de canola (colza), por ejemplo, la temperatura máxima del aceite durante el proceso es de 55-60 ° C. Para el aceite de Jatropha, todavía no se ha determinado la temperatura exacta en la que el fósforo comienza a disolverse en el aceite. Se estima que sea de un valor comparable al del aceite de canola.

- **Contenido de cáscaras de semillas:** Un contenido bajo de cáscaras de semillas resulta en presiones más bajas y por lo tanto un contenido menor de residuos de cáscara en el aceite crudo. La eliminación parcial de cáscaras es un tema para investigaciones futuras.
- **Presión:** Una presión alta conduce a una mayor temperatura y mayor presencia de partículas sólidas en el aceite crudo.

4.3 TECNOLOGÍAS DE PENSADO Y TIPOS DE PENSAS

Se puede hacer una distinción entre prensas manuales (por ejemplo, la prensa RAM) y prensas mecánicas (por ejemplo, la prensa de tornillo sin fin). Para capacidades pequeñas en el rango de 1-10 kilogramos de semilla por hora, las prensas manuales son una opción adecuada. Para el prensado de más de 10 kilogramos de semilla por hora, deben utilizarse prensas mecánicas.

Diversas categorizaciones pueden hacerse entre los diversos tipos de prensas:

1. Operación continua vs Operación por lotes (“batch”).
2. Impulsadas manualmente vs Impulsadas por motor, distinguiendo entre motores eléctricos y motores diesel.
3. Prensado en frío vs prensado caliente.

En la industria de procesamiento de aceite, se hace una distinción entre diferentes tipos de procesos. La primera distinción es entre operación por lotes y operación continua. La mayoría de las prensas manuales operan por lotes. Las prensas RAM combinan el uso de un pistón y un cilindro para aplastar las semillas y extraer de esa forma el aceite. La operación de esta prensa es fácil y puede hacerse manualmente. Por otro lado, las prensas mecánicas pueden operar de manera continua. Como se señaló anteriormente, para la producción de aceite en cantidades mayores a 5 litros/ hora, es necesario utilizar una prensa de operación continua.

Para aplicaciones rurales en países en desarrollo, las prensas manuales, así como las prensas mecánicas pequeñas con motor de baja potencia son viables, dependiendo de su ubicación y aplicación. Con las prensas manuales se puede hacer jabón o aceite medicinal en

pequeñas cantidades. En el caso de producción de combustible, las prensas mecánicas son más recomendables.

La tercera distinción es entre el prensado en frío y el prensado en caliente. En el prensado en frío, durante el proceso, la temperatura del aceite no excede los 55-60 °C. En el prensado caliente se aplica calor externo a las semillas o a la prensa y la temperatura puede aumentar a más de 100 °C. Las prensas manuales entran en la categoría de prensado en frío. Debido a las altas presiones y fricción de una prensa mecánica, se sobrepasan las temperaturas límites del prensado en frío. Para la extracción de aceite de *Jatropha* conviene más el uso de prensado en frío, aunque no siempre es posible debido a la alta fricción que se da en las prensas mecánicas.

4.3.1 Prensas RAM

La representante más conocida de esta categoría es la prensa RAM Bielenberg. Basándose en un diseño existente de una prensa RAM costosa de uso inconveniente e ineficiente, Bielenberg hizo el diseño de su propia prensa más barata, durable, de mantenimiento local y fácil de usar. Varios centenares de estas máquinas han sido fabricadas por talleres locales en Tanzania, con una muy buena calidad y a un atractivo precio, lo que ha llevado a una buena aceptación. La prensa RAM Bielenberg fue diseñada originalmente para prensar semillas de girasol. Su uso es también aplicable para semillas de *Jatropha*, aunque con menor eficiencia. La capacidad está limitada a 2-3 kg/ hr. Con una tasa de recuperación de aceite del 70-80% y una densidad de aceite de 0.918 kg/ litro, lo que significa < 1litro por hora.



Figura 2 – La prensa RAM Bielenberg operada en Kakute Ltd., Tanzania [12]



Figure 3 – Detalle del mecanismo Bielenberg de prensado. Nótese la descarga automática de la cámara de prensado y el obturador en el embudo de semillas [12]

4.3.2 Prensa de tornillo

Las prensas de tornillo se conocen en Inglés como “expellers”, describiendo el proceso de separar el aceite de los sólidos a través del uso de presión. Casi todas las máquinas de prensado mecánico que pueden encontrarse en el mercado utilizan un proceso de prensado continuo. Normalmente se componen de un tornillo sin fin que gira en un compartimiento y continuamente amasa y transporta las semillas introducido a través de un embudo hacia una boquilla, donde la presión se acumula. Sobre la longitud del tornillo el aceite es extraído de las semillas y fluye desde los lados del tornillo hacia un depósito. En su camino hacia la boquilla, las semillas son comprimidas en una torta. Todas las prensas de tornillo pueden ser categorizado como: (a) de “cilindro agujereado” (*cylinder-hole press*) (b) de tipo “filtro” (*strainer press*) (véase el gráfico 4 y 5).

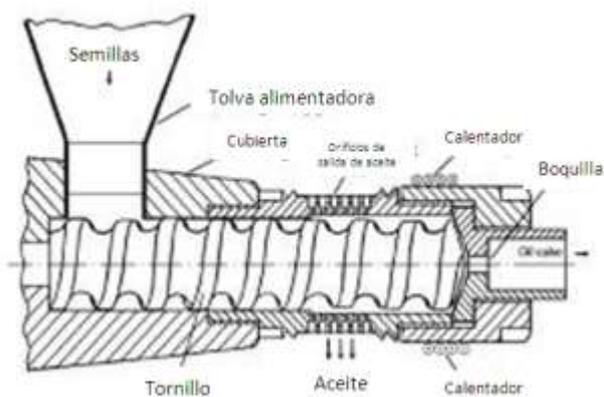


Figura 4 – Dibujo esquemático de una prensa de cilindro agujereado. Nótese que la boquilla puede ser cambiada [4].

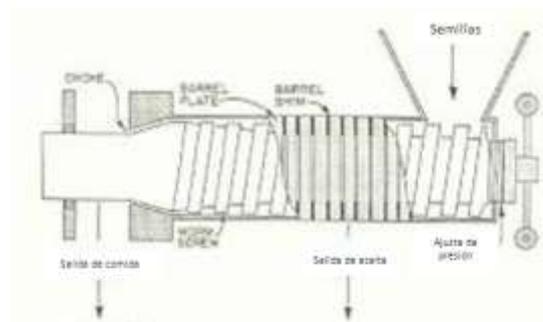


Figura 5 - Dibujo esquemático de la prensa tipo colador. Nótese que el ajuste en la presión está en el lado opuesto de la presión misma [4].

4.3.2.1 Prensas tipo cilindro agujereado (“cylinder-hole”)

En la prensa de tipo "cilindro agujereado", la salida del aceite es a través de agujeros ubicados en el extremo de la cámara cilíndrica de la prensa (ver figura 4). Las semillas reciben un aumento de compresión en dirección a la cabeza de la prensa. El aceite se extrae de las semillas cerca de los orificios de salida y drena a través de ellos. La prensa cuenta con cavidades especiales ubicadas cerca de la boquilla que evitan que la torta del prensado se adhiera al tornillo; ya que si esto sucede, obstaculizaría el movimiento hacia adelante. La torta del prensado se comprime a través de boquillas intercambiables, de manera que



quede en forma de pellets². En la mayoría de las prensas, la boquilla se calienta para evitar su obstrucción con los residuos del prensado. Las prensas de cilindro agujereado son de capacidad pequeña (hasta aproximadamente 200 kg/h de semillas). Estas prensas se pueden ajustar para su utilización diferentes tipos de semillas oleaginosas, cambiando el diámetro de la boquilla y la velocidad de rotación del tornillo.

4.3.2.2 Prensas tipo filtro (“strainer press”)

Este tipo de prensas cuenta con un filtro de salida del aceite sobre toda la longitud de la jaula o cámara de la prensa que sirve como un colador. El filtro es en realidad una jaula cilíndrica compuesta de barras horizontales o anillos verticales dispuestos a manera de dejar pequeños espacios entre ellos. El espaciamiento puede ser fijo o ajustable. Las prensas de tipo colador tienen un diseño con tornillos diferentes, aunque el principio de todos es similar. El diámetro del tornillo aumenta gradualmente hacia la salida, así acumulando la presión sobre el material sólido. El tornillo de compresión continua está hecho de una sola pieza. Para algunos tipos de semillas, la recuperación de aceite es mayor después de varios pasos en una compresión múltiple. Un tornillo con varias secciones puede utilizarse para crear varias etapas de compresión y así aumentar la cantidad de aceite recuperado. Para mayor flexibilidad, se encuentran disponibles, sub-secciones con diferentes tamaños y formas; otras prensas están equipadas con diferentes tipos de tornillos.

Durante el paso de la semilla a través de la prensa, el aceite se vierte a través del colador o filtro, que rodea el espacio de prensado. El regulador de presión (“choke”) se puede ajustar para cambiar el nivel y la distribución de la presión. Para el uso de este tipo de prensas con diferentes tipos de semillas oleaginosas, es necesario cambiar el tamaño del espacio entre las barras o anillos del filtro (espaciamiento) por donde sale el aceite y así obtener una óptima producción y pureza del aceite vegetal. En ese caso, además, se deberá ajustar el tamaño del “choke” y la velocidad de rotación. Las prensas de tipo filtro existen en un amplio rango de capacidad desde 15 kg de semillas/ hora hasta 10 toneladas de semillas/ hr.

² Denominación genérica, no española, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.



Figura 6 - La prensa BT danesa es un ejemplo de una prensa de tipo cilindro agujereado. En el extremo izquierdo puede observarse la boquilla [10].



Figura 7 - La prensa de aceite Sundhara es una muestra de las prensas de tipo filtro. En el lado derecho puede observarse el mecanismo que regula la presión ("choke"). [12]

¿Importa cuál de estos dos tipos de prensa se utiliza? La experiencia indica que para la *Jatropha* sí importa. Se concluyó que las prensas de tipo filtro son preferibles a las prensas de cilindro agujereado. En la figura 8 se hace una comparación cualitativa de los dos tipos de prensa en cuanto a su conveniencia para uso con semillas de *Jatropha*.

	Prensa de tipo cilindro agujereado	Prensa de tipo filtro
Capacidad	-	++
Facilidad de mantenimiento	+/-	+/--
Precio	+/-	+
Rendimiento del aceite	++	+
Robustez	+/-	+
Facilidad de operación	-	+
Resistencia al desgaste	-	+

Figura 8 - Comparación entre la prensa de tipo colador y cilindro agujereado con base a la experiencia de FACT.

4.3.3 Potencia requerida

Para extraer aceite de semillas oleaginosas, tal como en todos los procesos de producción, se necesita potencia. Las prensas pequeñas, como la prensa RAM Bielenberg, puede ser accionada a mano, por uno o varios operadores. La capacidad de una prensa como esta es normalmente de 3-5 kg de semilla/ hora. Los costos de operación de una hora de esta prensa es de 3000 kJoules si es operada por 2 personas³ y produce cerca de 1 litro de aceite. Esto se reduce a un consumo de energía de 0.85 kWh / litro.

³ Basado en la energía utilizada para cortar madera <http://mens-en-gezondheid.infonu.nl/dieet/6131-energiebehoefte-en-energieverbruik.html>



Prensas con capacidad mayor, especialmente las prensas de tornillo, son accionadas por motor. En general, se usan motores eléctricos por la facilidad de su instalación, funcionamiento y de acoplamiento y porque son de bajo costo. Como regla general, el 1-2.5% del contenido energético del aceite producido se utiliza como insumo para la potencia del motor [2]. Es posible acoplar la prensa directamente a un motor diesel para que su accionamiento sea independiente de la red de energía eléctrica. El motor diesel incluso puede funcionar con aceite de jatropha que es extraído con la misma prensa. En caso de que una prensa sea accionada por un motor diesel, el insumo energético será de un 5-10% del contenido energético del aceite producido [8]. Debido a la alta tasa de recuperación de aceite de la prensa, los costos de operación se reducen a 100-200 kJoules/ kg o 0.30 kWh/ litro. Desde el punto de vista de la eficiencia energética, es preferible el uso de prensas con motor, aunque se debe tener en cuenta que en muchas zonas rurales la electricidad o el combustible no se encuentra disponible.

4.3.4 Modelos sugeridos

Es imposible proponer un modelo óptimo de prensa para la Jatropha que aplique a todos los casos. La selección del modelo a utilizar dependerá de muchos factores, incluyendo la capacidad de producción, el objetivo final para el aceite, ubicación en zona rural/ zona urbana, distancia de los proveedores, la confiabilidad y facilidad de la cadena de suministro, el nivel de tecnología en el país y por último, pero no menos importante, del presupuesto disponible. En el apéndice se presenta información completa sobre fabricantes y modelos. Para los proyectos rurales realizados por FACT, las capacidades que van desde 10 kg/hr (prensa manual) a 500 kg/hr (prensa mecánica con motor) deben considerarse como opciones viables [8].

Aspectos a tomar en cuenta:

- ¿Qué equipo está disponible en el país donde se encuentra el proyecto de jatropha?
- ¿Es la capacidad de producción inferior o superior a 100 kg/h? (Esta suele ser la capacidad de una prensa mecánica pequeña)
- Si la producción es superior a los 100 kg/hr ¿Cuántas prensas se requieren?
- ¿La eficiencia es más importante que los costos de inversión?
- ¿Cuáles son las facilidades, rapidez y fiabilidad de la cadena de suministro?
- Considerar el suministro de energía a la prensa, ya sea con motores diesel (que funcionen con aceite vegetal puro/ diesel) o con motores eléctricos.
- ¿Cuál es el mantenimiento requerido? ¿Existen repuestos?

- Considerar la necesidad de formación o instrucción de operadores.
- ¿Cuál es la temperatura de funcionamiento de la prensa? (temperatura demasiado alta provoca un aumento en la cantidad de fósforo en el aceite)

En general, se debe optar por una sola prensa de gran capacidad, en lugar de usar múltiples pequeñas prensas. Sin embargo, la ventaja de utilizar más de una prensa es que si una de las máquinas falla, las piezas se pueden intercambiar y la producción puede seguir, aunque a un nivel inferior. Además, las máquinas pequeñas son más fáciles de operar y mantener por el personal local. Las máquinas pequeñas también permiten adaptar la capacidad de producción para que aumente a través del tiempo con el tamaño del proyecto, simplemente aumentando el número de prensas.

4.3.5 Observaciones finales a las prensas

Prensar es un paso del proceso que determina la eficiencia de producción. Cuanto mayor sea la tasa de recuperación de aceite y menor la cantidad de partículas sólidas presentes en el aceite crudo, mayor será la eficiencia. La presencia de menores cantidades de partículas sólidas en el aceite reduce la necesidad de su limpieza. Los proveedores industriales de prensas han realizado pruebas con *Jatropha* obteniendo niveles de sedimento tan bajos como un 5%. Para toda producción de aceite destinado como combustible se debe utilizar prensas mecánicas. Para actividades tales como la fabricación de jabón o la producción de aceite cosmético podrían utilizarse prensas manuales, como la Bielenberg. La elección de la tecnología será de acuerdo a cada proyecto específico. Si las prensas son de fabricación local, a un nivel de calidad aceptable comparada con los costos de sustitución de piezas de repuesto, puede ser una buena solución siempre y cuando la tecnología sea conocida y los repuestos estén disponibles. En otros casos, las prensas europeas son superiores en cuanto a robustez y resistencia al desgaste, que aquellas provenientes de India o China, pero son más caras. La selección será siempre un equilibrio de varios factores.

4.4 PURIFICACIÓN DEL ACEITE VEGETAL

Esta sección proporciona una visión general de las tecnologías disponibles para la limpieza (separación sólido/ líquido) del aceite crudo de *Jatropha*. Al aceite que extrae directamente del prensado de semillas se le llama aceite crudo de *Jatropha*. El aceite crudo contiene cantidades significantes de material sólido que necesita removerse. Los sólidos pueden ser separados mecánicamente del aceite basándose en el tamaño de las partículas (por filtración), o mediante el uso de la gravedad específica (por sedimentación, centrifugación). Ambos principios de separación pueden utilizarse en un mismo proceso, las secciones 4.4.1 a 4.4.3 describen detalles sobre la sedimentación, filtración y centrifugación.



El aceite crudo de *Jatropha* que sale de la prensa contiene del 5 al 15% de sólidos en peso. Esto corresponde a un 10-30% en volumen, dependiendo del tipo de sedimentos presentes. Además, dependiendo de las circunstancias durante el prensado y la aplicación prevista del aceite se requerirá de tratamiento posterior. Para la fabricación de jabón y combustible para lámparas, los requisitos de calidad son menos rigurosos que al utilizar el aceite de *Jatropha* como combustible en un motor diesel. En la mayoría de los casos, el aceite vegetal producido por presión en frío, no requiere de desgomado ni neutralización. Sin embargo, las prensas, al procesar *Jatropha*, parecen funcionar a temperaturas mucho más altas en comparación con la canola. Una temperatura de procesamiento típico de la canola es de 45-50°C. Se han realizado mediciones de temperatura en una prensa BT50 danés - de 80-100 °C (en la cabeza de la prensa) y en un P0100 Keller – de 75 °C (medición de infrarrojos). En ambos casos existen valores superiores a 70 °C. Si al procesar canola se alcanzan temperaturas por encima de 60-70 °C, el proceso de producción del aceite requiere de un paso adicional que es la neutralización, esto con el fin de eliminar el fósforo que se disuelve en el aceite bajo la influencia del calor. En el caso de la *Jatropha*, todavía no está muy claro si también aplica, pero es algo a tener en cuenta. Prensar a altas temperaturas resulta en un aumento de la tasa de recuperación (rendimiento), pero implica limpieza adicional.

Debido a que la limpieza del aceite es un paso muy importante para la producción de combustible, la siguiente sección es aplicable principalmente para combustibles. Antes de su uso en un motor diesel, el aceite debe estar libre de todas las partículas mayores a 5 μm^4 (micrón) para evitar la obstrucción de los filtros de combustible. Normalmente los filtros de motores diesel tienen un tamaño de poro de 5 a 10 micrón. El proceso de limpieza debe seguir poco después del proceso de prensado para evitar problemas de filtración, cuando el aceite se almacena en condiciones desfavorables (ver sección 4.6).

Para asegurar la buena calidad del aceite vegetal puro, la norma DIN V 51605 alemana se introdujo en Europa en el año 2007. Esta norma se basa en los principios de la “norma de calidad para el aceite de canola como combustible de 5/2000” del Instituto Estatal de Ingeniería Agrícola de Baviera, Wiehenstephan. Con el fin de minimizar los efectos negativos sobre los motores, el aceite vegetal puro de *Jatropha* debe cumplir con esta norma DIN V 51605 para el aceite vegetal. El estándar se describe en la sección 4.5 y se muestra en la figura 13.

4.4.1 Impurezas en el aceite

El aceite de *Jatropha* crudo contiene muchas impurezas. Esta sección da una primera idea de los tipos de impurezas y subraya la necesidad de la limpieza. Las impurezas presentes en el aceite de *Jatropha* están compuestas de partículas en suspensión y disueltas que no son

⁴ 1 μm (un micrón) = 1 / 1 000 000 m = un milésimo de un milímetro.

parte de la estructura del aceite. Tanto las partículas sólidas, el fósforo y los ácidos grasos libres deben eliminarse antes de que el aceite esté listo para su uso en motores. La eliminación de estas impurezas también es necesaria para evitar el deterioro del aceite durante el almacenamiento. El agua (tanto libre como intermolecular) por ejemplo, hidroliza el aceite y estimula la formación de ácidos grasos libres. La presencia de metales como el cobre y el hierro acelerará la oxidación. El polvo o las partículas sólidas que no se pudieron remover del aceite no afectarán al aceite en sí, pero el uso del aceite será más difícil. Por lo tanto, es importante controlar la materia prima (nivel de humedad y frescura) y la calidad del aceite después de la limpieza.

4.4.2 Sedimentación

La sedimentación es el método más sencillo y barato de limpieza que funciona por medio de la gravedad de la tierra: los sólidos se depositan en el fondo del tanque. La sedimentación sólo se recomienda en procesos pequeños. Para niveles de producción inferior a 50 litros/hora la sedimentación es una solución adecuada de bajo costo. Se requiere poca tecnología y las pérdidas de eficiencia son menos importantes cuando se producen pequeños volúmenes. Se trata de un método de limpieza barato porque no requiere compra de maquinaria... sólo un tanque de almacenamiento lo suficientemente grande como para guardar el aceite durante aproximadamente una semana con poco o ningún flujo. Si es necesario, el proceso puede completarse en múltiples etapas, tal como se muestra en la Figura 9.

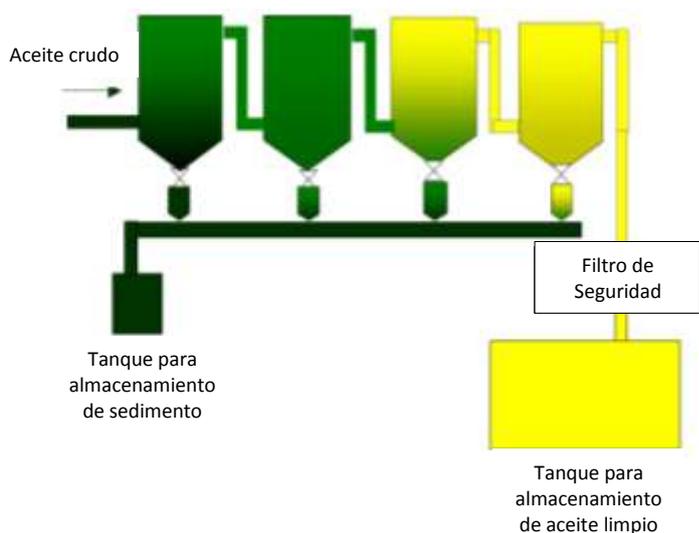


Figura 9 – Ejemplo de un diagrama de flujo de un sistema de sedimentación [4].

Figura 10 - barriles de aceite para sedimentación [Fotografía: Diligent Tanzania Ltd.]

Una de las desventajas de un sistema de sedimentación es que requiere condiciones óptimas para eliminar las partículas con un tamaño de 8 micrón y menos [2]. Por lo tanto, se requiere un filtro de seguridad (filtro de bolsa o el filtro de vela). La sedimentación por sí



sola no es suficiente para producir combustibles de buena calidad. Además, la cantidad relativamente alta de petróleo que queda en el sedimento (50-55%) se pierde si no se incluyen otras medidas. Ambas alternativas disponibles, la filtración y la centrifugación, tienen mayor rendimiento de aceite, suponiendo que el producto cumple con los requisitos de entrada del filtro.

4.4.3 Filtración

El principio básico de la filtración es el bloqueo de partículas más grandes que el tamaño de los poros de una membrana. La forma más fácil de filtrar es usando una tela. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no todos los tejidos de las telas tienen un tamaño de poro adecuado! Además, la capacidad de absorción de partículas, conocida como capacidad nominal, es diferente en distintos tipos de materiales. Una capacidad nominal de 85% para un paño con poros de (por ejemplo) 5 μm significa que el 85% de las partículas más grandes que 5 μm son detenidas por la tela. La tela especial de filtrado o filtros de mangas se pueden adquirir a través de varios proveedores, como Monopoel, Amafiltergroup o proveedores locales. La tela está disponible en láminas (ver figura 11) o como bolsas. El filtrado es más fácil a menor viscosidad del aceite, por lo que, una temperatura del aceite entre 40-55 °C es óptima. Hay que asegurarse de que el filtro de tela es resistente a estas temperaturas. Si no los oros pueden ampliarse y un filtro de 5 μm sólo podría filtrar hasta 20 μm [5].

Métodos de filtrado

A continuación se describen cinco métodos de filtrado. La solución más simple, hecha a mano es el uso de filtros de gravedad, utilizando bolsas de tela o de material especial. Este método requiere poca maquinaria o electricidad (Figura 11-13). Las soluciones simples son las más adecuadas para pequeñas actividades rurales. Además de los sistemas fabricados a mano, existen proveedores que ofrecen sistemas profesionales. Estos son a menudo demasiado costosos para niveles de producción de menos de 50 litros/ hora. A continuación se detalla mayor información de los filtros de gravedad, filtros de banda, filtros de placa, filtros de hoja presurizada, bolsas filtros y filtros de vela.

4.4.3.1 Filtros de gravedad

Como se explicó anteriormente, la calidad y el tamaño de los poros de la tela del filtro son factores determinantes para el resultado final de la filtración. La filtración en un dispositivo simple hecho a mano con un paño que tiene poros de 1 μm produce una calidad comparable con los resultados de sistemas de filtración industrial con el mismo tamaño de poros. Bolsas de algodón están disponibles con diferentes tamaños de poros, que van desde 200 micras hasta 1 μm . Es aconsejable utilizar un tamaño de poro de 1 μm para la filtración de aceite para combustible. La desventaja de los dispositivos simples es su baja capacidad si el filtro no está presurizado. Para los usuarios domésticos y pequeñas fábricas (hasta unos pocos

litros por hora) los filtros no presurizados pueden ser una opción de bajo costo que puede implementarse sin necesidad de adquirir maquinaria especial.

El mantenimiento, en este caso consiste en la limpieza frecuente de la tela de filtro o bolsas filtros. Se recomienda dejar asentar el aceite durante 4-7 días antes del filtrado para evitar los intervalos de cambio de la tela de filtro por muy pequeños que sean. Dependiendo de cuan limpio esté el aceite después de la sedimentación, la filtración de aceite por gravedad toma entre 5 minutos a 1 hora por cada 20 litros [11]. El sedimento en el aceite puede considerarse como un desecho del proceso o puede ser utilizado como insumo para la producción de biogás en un biodigestor.

En Holanda, las bolsas de filtro se puede obtener a través de, por ejemplo, Amafiltergroup o Allfil filtertechnik. Varios proveedores pueden encontrarse en todo el mundo. Una bolsa cuesta alrededor de € 3,75 (amafiltergroup, 2008). El uso de telas o materiales de algodón disponibles localmente podrían ser adecuadas una vez que han sido probadas.





Figura 11 – Extremo superior izquierdo: filtración de aceite de cocina usado en el sitio del proveedor alemán Monopool. Extremo superior derecha: instalación de filtración simple con bolsas filtro [Fotografía: Diligent Tanzania Ltd.]. Extremo inferior izquierdo: instalación mejorada de bolsas filtro [Fotografía: Diligent Tanzania Ltd.]. Extremo inferior derecha: Un empleado recoge una muestra de aceite para su análisis después de la filtración [Fotografía: Diligente Tanzania Ltd.]

4.4.3.2 Filtro de banda

El uso de bolsas de filtros por gravedad tiene una capacidad de procesamiento muy baja y requiere de un frecuente lavado de las bolsas. Por lo tanto, el FACT apoyó el diseño de una solución para el proyecto Gota Verde en Honduras. El prototipo de filtro de banda mostrado en la figura 12 fue desarrollado por Ger Groeneveld. Se trata de tela para vestimenta de obreros K & C X70 en un rollo para crear un filtro de tela movable. Los factores clave para el desempeño del dispositivo son: usar el total del área del filtro, eliminación constante de los sedimentos sin interrumpir el proceso de filtración, y una calidad constante debido al uso de la fuerza gravitatoria de la separación. La tela movable del filtro ayuda a reducir los problemas de obstrucción y permite una limpieza más fácil. La capacidad de este modelo es de 20-60 litros/ hora para una tela de filtro con poros de 5 micras de tamaño [5].

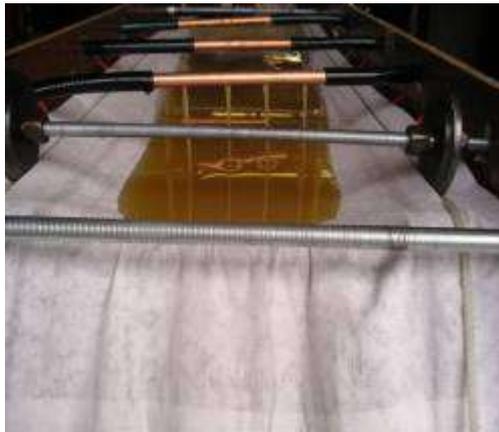


Figura 12 - Vista superior del filtro de banda donde el flujo del aceite crudo en la tela de filtro. [5].



Figura 13 - Filtro de banda en funcionamiento. Los rodillos de transporte están equipados con papel de lija para mejorar la fricción. La tela se está moviendo continuamente.

4.4.3.3 Filtro de placa

Si para la filtración, se utilizan bolsas filtros presurizadas, se necesita un prefiltrado para evitar, que después de varios minutos se obstruya el filtro. Por esta razón, se presentan en primer lugar, el filtro de placa y el filtro de hoja presurizado.

Los filtros de placa tienen una amplia aplicación en la industria de alimentos y están a menudo disponibles a nivel local en diferentes tamaños. El uso de maquinaria local estimula el empleo y permite a los técnicos locales proporcionar reparación y mantenimiento. Los programas de capacitación locales podrían además de ser un estímulo, aumentar los estándares de calidad.

Un filtro de placa se compone de una serie de filtros en láminas o placas forradas con tela de filtro (figura 14 y 15). La tela del filtro se puede utilizar varias veces antes de limpiarla. Cuando las placas se presionan contra sí se forman cavidades entre ellas. Antes de la filtración, el aceite crudo fluye por estas cavidades. Mediante la aplicación de presión hidráulica en las placas y la presión de bombeo, el aceite es forzado a pasar a través de la tela y los sólidos se quedan en las cavidades. El aceite sigue fluyendo a través del filtro hasta que se llenen las cavidades de sólidos. Las placas se separan (ya sea manual o automáticamente) y los sólidos caen. La descarga manual de sólidos tarda aproximadamente media hora por día al utilizar aceite de canola y depende del nivel de impurezas presentes en el aceite [11].

¿Cómo se compara esto con el aceite de *Jatropha*? Los siguientes datos clave aplican a los aceites de semilla de canola: el contenido de aceite en los sólidos separados es de aproximadamente un 35-50% y de 2-4 kg de sólidos separados después de la transformación de 100 kilogramos de semilla de canola. En el caso de la *Jatropha*, la cantidad de sólidos

separados después de procesar 100 litros de aceite crudo se espera sea de 15-25 kg con un contenido de aceite similar al de la canola. Esto significa que la descarga de sólidos es 5-10 veces mayor, lo que equivale a 2.5-5 horas por día. Claramente, esto no es práctico. Por lo tanto, la sedimentación es todavía necesaria antes de la mayoría de los métodos de filtración debido a la gran cantidad de sedimentos presentes en el aceite de Jatropha.

Después de la descarga, el ciclo del proceso se reinicia. El diámetro de los poros de la membrana es intencionalmente mayor al tamaño de las partículas a eliminar. Un filtro de placa debe utilizarse durante algún tiempo como un circuito cerrado para construir una capa de partículas (sólidos) en la membrana. De esta manera, los sedimentos presentes en el aceite, forman un filtro. Sea o no la capa de sedimentos un medio de filtración adecuado, dependerá de la distribución de tamaño de partículas presentes. En el caso que todas las partículas sean del mismo tamaño, la capa fácilmente se obstruirá.

La capacidad de un filtro de placa es directamente proporcional al área de la tela filtro en m^2 y por lo tanto se puede adaptar fácilmente. A menor tamaño de tela, menor capacidad. Por lo tanto, todavía son inciertas las velocidades de procesamiento para obtener niveles determinados de pureza del producto deseado. Aunque el filtro de placa es capaz de eliminar las partículas $<0.01\mu m$, se recomienda instalar una bolsa filtro antes de pasar el aceite por la prensa filtro para una limpieza segura. Dependiendo del tamaño de la placa del filtro, el contenido de aceite en los sólidos removidos será de alrededor de 10% [11].



Figure 14 Filtro de placa con capacidad de 150 litros/hora en Diligent Tanzania Ltd., producido por TEMDO Tanzania.



Figure 15 Filtro de placa utilizado en la industria alimenticia, con una capacidad de alrededor de 1,000 litros/hora.

4.4.3.4 Filtro de hoja presurizado

El filtro de la hoja presurizado consta de un recipiente cilíndrico lleno de placas filtrantes. Similar al filtro de placa, este filtro acumula una capa de partículas en operación a circuito cerrado.

El aceite crudo entra al filtro y sólo puede fluir a través del marco que rodea las placas

filtrantes. Para que el aceite entre en el marco hueco el aceite primero debe pasar por la placa del filtro donde las partículas sólidas son atrapadas. Cuando el filtro está lleno se aplica presión al sistema con bombas a 10-15 bar, luego el aceite comienza a fluir y el material sólido en el aceite forma una capa en la placa del filtro. Esta placa sirve como medio filtrante.

Un filtro de la hoja presurizada es capaz de filtrar las partículas $> 10\text{-}20\ \mu\text{m}$, dependiendo del tamaño de la malla seleccionada. Si la cantidad de sedimentos en el aceite crudo es $> 10\%$, la sedimentación es un paso necesario antes de pasar por el filtro de hoja presurizada. Como un dato guía del proceso de prensado, antes de la filtración, un contenido de aceite en las partículas sólidas $> 12\%$ se considera óptimo. La reducción del contenido de aceite en las partículas, por ejemplo a un 8% se obtiene después de una segunda repetición del proceso de prensado, esto resulta en aceite más fino, requiriendo una menor capacidad de filtro (amafiltergroup). Después de que el aceite pasa por el filtro de hoja presurizado casi todas las partículas $> 10\text{-}20\ \mu$ son eliminadas. Aun así, antes de que el aceite puede ser usado como combustible, será necesario aplicar medidas adicionales de filtrado.

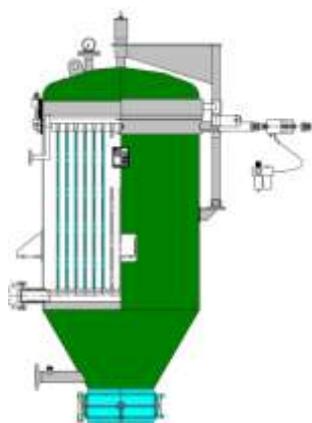


Figure 16 Dibujo de un filtro de hoja presurizado [Imagen: amafiltergroup].



Figure 17 Acercamiento a una de las placas o láminas del filtro. El marco alrededor de la malla está hecho de tubería perforada que sirve para la descarga del aceite limpio [Fotografía: amafiltergroup].

4.4.3.5 Filtros de bolsas

Los filtros de bolsas se basan en el mismo principio de todos los filtros, pero utiliza presión aplicada por una bomba eléctrica permitiendo un mayor rendimiento. Los filtros de bolsas se componen de un armazón con una cesta desmontable equipada con un filtro de bolsa, de forma similar a los utilizados para la filtración de gravedad. La figura 18 muestra una fotografía del filtro de bolsas. Las presiones típicas de funcionamiento son de 3-5 bar.

Un filtro de bolsa de $1\ \mu\text{m}$, significa que las partículas $> 1\ \mu\text{m}$ se eliminan con un rendimiento

nominal de 65-98%. Esto significa que la calidad del producto de salida fluctúa. Para cubrir estas fluctuaciones, el uso de los filtros de bolsas se complementa con un filtro de vela añadiéndolo al proceso. Los filtros de bolsas en general, tienen que ser limpiados cada 14 días. Algunos ejemplos de proveedores holandeses son Amafiltergroup, EFC filtration y Allfil filtertechnik. El precio de un filtro de bolsa varía de € 500 - € 1,000 sin incluir la bomba eléctrica y de € 1,000 - € 1,500 con bomba incluida. Los componentes del filtro, tales como la bomba eléctrica, mangueras y tanques de almacenamiento se pueden comprar localmente. Un filtro de bolsa es adecuado para el proceso de flujos de > 50 litros/ hora. Atención: la sedimentación o la pre-filtración son necesarias antes de pasar el aceite por el filtro de bolsa, ya que si se filtra el aceite crudo directamente después del prensado, el filtro de bolsa se obstruye en cuestión de minutos.



Figura 18 Filtro de bolsa con armazón de acero inoxidable (sin bomba o tanque de almacenamiento), en Diligent Tanzania ltd.



Figura 19 filtro bolsa contenido en cestas de filtrado de www.amafilter.nl. La bolsa del filtro se inserta dentro de la cesta y necesita limpiarse cada 14 días.

4.4.3.6 Filtros de velas

Los filtros de velas son conocidos como los filtros de pulido ya que a través de su uso se da el toque final al proceso de limpieza. Esto significa que el aceite tiene que ser muy limpio antes de entrar en el filtro. Un filtro de vela de $1\mu\text{m}$ significa que las partículas $> 1\mu\text{m}$ se quitan con una eficiencia nominal del 92%. El filtro de vela es estable, de manera que garantiza la calidad del producto. Una sola vela puede remover aproximadamente 60 gramos de partículas sólidas antes de que necesite cambiarse. Al utilizar este tipo de filtros con aceite de canola prefiltrado, las velas deben ser sustituidas cada 6-8 semanas. Si un filtro de bolsas se instala antes del filtro de velas, en el caso del aceite de Jatropha, se esperan intervalos de mantenimiento similares.

Los costos de un sistema de filtro de velas son comparables a los costos de un filtro de bolsas. El costo aproximado de las velas es de € 75 por cada set para un caudal de 200 l/h, que significan € 500 - € 650 por año, al cambiarlas con un intervalo de mantenimiento de 6-8 semanas. Hay que considerar que las velas no pueden limpiarse como en el caso de los filtros de bolsas. Un aumento en la presión de funcionamiento indica que las velas deben reemplazarse.



Figura 20 Instalación combinada de un filtro tipo bolsa y vela de amafiltergroup [Fotografía: Diligent Tanzania ltd.].



Figura 21 Armazón del filtro de velas con sus velas de www.amafilter.nl. Las velas deben ser sustituidas cada 6-8 semanas.

4.4.4 Centrifugado

Además de la sedimentación, el centrifugado es el segundo método de separación que se basa en la gravedad específica. Se explica este método al final del capítulo, debido a que en general, no es recomendable para proyectos pequeños. Sin embargo, vale la pena mencionar los principales puntos de esta tecnología ya que podrían proporcionar ideas sobre cómo desarrollar alternativas bajo este principio que sean de bajo costo.

4.4.4.1 Decantador y separador

Utilizar la fuerza centrífuga para la separación de partículas es una alternativa rápida a la sedimentación. Los decantadores y separadores son dispositivos industriales que funcionan según el mismo principio. Los decantadores y separadores de utilizan la diferencia de la gravedad específica entre el medio.

Para la separación sólido-líquido la viscosidad del líquido y la diferencia de densidad entre sólidos y líquidos determinan si el tiempo de residencia en la centrífuga es suficiente para que ocurra la separación [11]. El contenido de sólidos y tamaño de las partículas son de importancia secundaria, ya que los decantadores son ajustables. Los decantadores y separadores se utilizan con éxito en la separación de casi todos los procesos industriales

relacionados con la industria alimenticia. Debido a sus altos precios y capacidades, esta tecnología todavía no ha sido aplicada en proyectos de Jatropha. A pesar de que son quizás la mejor tecnología para la separación de aceite de Jatropha, los decantadores/centrifugadoras no son por lo general una opción para capacidades por debajo de 500-1,000 litros/ hora. Para esta capacidad el precio es de alrededor de € 50,000.



Figura 22 - Imagen del decantador Z23 con una capacidad de 500-1,000 litros/h [Fotografía: Flottweg Nederland BV]



Figura 23 - Imagen de una centrifugadora de disco AC100 [Fotografía: Flottweg Nederland BV].



Figura 24 - Ejemplo de un sistema de centrifugación con un filtro de bolsa como seguridad [12].

4.4.5 Observaciones finales de la limpieza de aceite

La limpieza del aceite es la etapa del proceso que determina la calidad del producto final. Aunque existen muchas soluciones tecnológicas disponibles, siempre se debe aplicar el principio KISS (Mantener la sencillez – por sus siglas en inglés) al seleccionar la opción a implementar en un proyecto de desarrollo.

La sedimentación es todavía la solución más favorable para volúmenes de producción pequeños (<50 litros/ hora). Las tecnologías de filtración y centrifugación son generalmente demasiadas caras para la mayoría de proyectos de pequeños grupos de agricultores. El desarrollo de versiones simplificadas de estas tecnologías, proporcionaría una solución que podría implementarse en este tipo de proyectos. La construcción de filtros simples es la mejor opción para la limpieza final del aceite después de la sedimentación. Un tamaño de poro adecuado de 1µm asegura un aceite libre de contaminación por partículas.

4.5 NORMAS DE CALIDAD PARA EL ACEITE VEGETAL PURO

Para las diferentes aplicaciones del aceite de Jatropha se requieren diferentes niveles de calidad. En la mayoría de los casos, el aceite de Jatropha es usado para una de estas tres aplicaciones:



1. Elaboración de Jabón: un filtrado apropiado del aceite es suficiente para este proceso.
2. Lámparas y estufas: un filtrado apropiado del aceite es suficiente para este proceso. Una reducción de la viscosidad, sería deseable con el fin de mejorar el flujo de combustible en mechas y boquillas.
3. Motores diesel: el aceite debe cumplir con la norma DIN 51605 para minimizar la posibilidad de daños en el motor. En general, la presencia y cantidades de ácidos grasos libres y fósforo será un problema y requerirá de una limpieza química. El fósforo y ácidos grasos libres, posteriormente pueden ser eliminados por desgomado y neutralización.

Se puede concluir que la calidad será un problema sólo cuando el aceite se utiliza para producción de combustible. Para el uso del aceite de canola como combustible en Europa, se ha desarrollado una norma de calidad que contiene las características del aceite que son importantes y sus valores límite. Como puede verse en el siguiente diagrama, las normas DIN documentan el procedimiento exacto para la determinación de las propiedades. Se hace una distinción entre dos tipos de propiedades, (a) las características que dependen de las semillas oleaginosas utilizadas, y (b) las variables que dependen de los procesos de transformación utilizados (prensado, filtrado, tratamiento posterior, etc.). Si bien esta norma ha sido desarrollada para el aceite de canola, los valores límite se aplican también a otros aceites como el de *Jatropha*, ya que son en su mayoría relacionados con el uso del aceite en motores.

Propiedades/ Constituyentes	Unidades	Estándares
Densidad a 15°C	900 – 930 Kg/m ³	Acorde con DIN EN ISO 3675 o Acorde con DIN EN ISO 12185
Punto flash: mínimo	220 °C	Acorde con DIN EN ISO 2719
Viscosidad Cinemática a 40°C máximo.	36.0 mm ² /s	Acorde con DIN EN ISO 3104
Valor calorífico mínimo	36,000	Acorde con DIN 51900-1, -2, -3
Ignición mínima	39	
Carbon máximo	0.40%	Acorde con DIN EN ISO 10370

Valor Iodine	95-125 g Iodine/100	Acorde con DIN EN 14111
Contenido de sulfuro	10 mg/ kg	Acorde con DIN EN ISO 20846 o Acorde con DIN EN ISO 20884

Propiedades Variables

Contaminación total	24 mg/ kg	Acorde con DIN EN 12662
Número acido	2.0 mg KOH/g	Acorde con DIN EN 14104
Estabilidad de oxidación a 110 °C mínimo	6.0 h	Acorde con DIN EN 14112
Contenido de fósforo máximo	12 mg/ kg	Acorde con DIN EN 14107
Monto total de magnesio y calcio máximo	20 mg/ kg	Acorde con DIN EN 14538
Contenido de cenizas (oxidasche) máximo	0.01%	Acorde con DIN EN ISO 6245
Agua máxima	0.08%	Acorde con DIN EN ISO 12937

Figura 25 - Norma DIN V 51605 para la canola, basándose en la norma anterior Weihenstephan o RK2000. El estándar DIN 51605 resume los criterios que determinan la calidad del aceite vegetal (SVO) como combustible para motores [7]. FACT recomienda el uso de esta norma para el uso aceite de Jatropha en motores diesel.

Para asegurar que las propiedades del aceite estén dentro del rango deseable, existen Diferentes variables que deben ser considerarse. Estas variables se analizan brevemente, junto con sus efectos en el proceso de producción.

Contaminación: describe la cantidad de material extraño (partículas) presentes en el aceite. Por supuesto, este parámetro está directamente relacionado con el proceso de purificación o limpieza. El valor de la contaminación determina la vida útil del filtro de combustible del motor.

Índice de acidez: es la medida del contenido de ácidos grasos libres en el aceite. Los ácidos grasos libres dan lugar a la descomposición del aceite (se pone "rancio") y de los componentes en contacto con él (oxidación). Su formación es causada principalmente por malas condiciones de almacenamiento, es decir, al existir contacto con el aire, exposición a la luz solar, calor, etc.



Estabilidad a la oxidación: significa que la calidad del aceite no se degrade en un ambiente caluroso. Esto es porque el combustible es expuesto a altas temperaturas cuando está en uso. Los mecanismos son los mismos que se explica para el índice de acidez.

Contenido de fósforo: cuando el prensado se hace en frío, la mayoría del fósforo presente en la semilla queda en el residuo del prensado y no en el aceite. La presencia de fósforo en el aceite (especialmente fosfolípidos) causa obstrucción en el filtro de combustible del motor y la oxidación de la cámara de combustión, porque a altas temperaturas el fósforo es un oxidante fuerte.

Contenido de cenizas: el contenido de cenizas refleja la cantidad de material que queda sin quemar después de la combustión del aceite en el motor. La mayoría de este material es la sal presente en el aceite. Su cantidad puede reducirse a través de un prensado suave y buena filtración.

Contenido de agua: el material vegetal contiene un porcentaje de agua. En el aceite el contenido de agua debe ser limitado, porque el agua hace que el material del filtro de combustible se obstruya. Además el agua puede oxidar el interior del equipo de inyección.

Algunos componentes no pueden eliminarse del aceite por los métodos de limpieza tratados en la sección 4.4. Ejemplos de ello son los ácidos grasos libres, fósforo, y varios tipos de contaminantes moleculares (Hierro, Magnesio, Calcio, etc.). Al limitar la temperatura de operación durante el prensado a ~ 60 °C (la temperatura específica para la *Jatropha* aún no se ha determinado) la formación de ácidos grasos libres y fósforo puede ser limitada. Al existir presencia de estos componentes en niveles demasiado elevados, se debe seguir refinando el aceite para asegurar el buen funcionamiento de los motores diesel. Las etapas de refinación estándar en la producción industrial de aceite para consumo y para combustibles son el desgomado y la neutralización.

4.5.1 Desgomado del aceite

La norma DIN 51605 dice que el contenido de fósforo debe ser inferior a 12mg/kg. Los fosfatos, gomas y otros compuestos complejos coloidales pueden promover la hidrólisis (aumento de los ácidos grasos libres) del aceite vegetal durante el almacenamiento. Además, estos compuestos pueden interferir en las etapas de refinación adicional como la transesterificación. La eliminación de estos compuestos es a través de un proceso llamado desgomado. El proceso se inicia calentando el aceite a 70-80 °C. Luego se le agrega agua y se agita. Las gomas y los fosfatos se disolverán en el agua y se retirará junto con el agua en una etapa de separación. Dependiendo del tipo de aceite y contenido de ácidos fosfatos (cítrico/fosfórico), se pueden añadir base o sales en lugar de agua [16].

4.5.2 Neutralización del aceite



Según la norma DIN 51605, el número ácido debe ser inferior a 2 mg KOH / g. Esto corresponde a un contenido de ácidos grasos libres del 1%. Cuando los ácidos grasos libres son removidos como jabones mediante un tratamiento con lejía, otros componentes no deseados, tales como los productos de la oxidación de ácidos grasos, fosfatos residuales, gomas y fenoles (por ejemplo, gosipol) también son "lavados". Durante la neutralización el aceite se calienta de nuevo a 40-80 °C, se agregan NaOH o KOH y se agita, causando la formación de jabón. El jabón, que contiene más ácidos grasos libres, se deposita en la parte inferior del recipiente y se puede eliminar fácilmente [16].

4.6 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL ACEITE

Autor principal: Janske van Eijck

Hay varios aspectos a considerar que afectan la calidad del aceite y su facilidad de manejo. Estos son especialmente importantes si el aceite se almacena a temperaturas elevadas en las zonas rurales.

4.6.1 Criterios de Manejo

Existen ingredientes tóxicos en el aceite de *Jatropha* (ésteres de forbol), que hacen que sea necesario manejar el aceite con precaución.

El contacto con los ojos causa irritación, mientras que su ingestión puede resultar en vómitos y diarrea. El contacto con la piel no es peligroso, pero se recomienda utilizar equipo de seguridad (overol, gafas y zapatos cerrados). Se debe evitar que el aceite vaya a los desagües, aguas superficiales y subterráneas. Aunque los aceites vegetales son biodegradables, al entrar en contacto con el agua cubren su superficie formando una capa que impide el intercambio del aire con el agua, así como con las criaturas que viven en ella. Además, cuando existe un contacto con el agua, los resultados de la hidrólisis derivan en la formación de dióxido de carbono, lo que provoca un desequilibrio del contenido de carbono en el agua.

Además, se debe evitar la inhalación del humo de combustión. Por favor revisar la hoja con datos de seguridad que se adjunta (MSDS por sus siglas en inglés) para saber cómo minimizar los riesgos. Una MSDS es un formulario que contiene datos relativos a las propiedades de una sustancia en particular; incluye instrucciones para su uso seguro y los riesgos potenciales asociados con un material o producto en particular.

4.6.2 Criterios de almacenamiento

Conservar en un lugar fresco, seco, evitando la exposición a la luz y a sustancias volátiles gaseosas potenciales (como la gasolina). El tanque en el cual el aceite se almacena de



preferencia debe ser hermético y llenado hasta su nivel máximo. Esto evita la condensación y por lo tanto la presencia de agua en el aceite. Los tanques de almacenamiento pueden ser reutilizados y, por tanto deben ser fáciles de limpiar. Para almacenar o transportar el aceite de *Jatropha*, se pueden utilizar dispositivos de acero o de plástico duro.

4.6.2.1 Enfriar la temperatura de almacenamiento

Los aceites vegetales contienen las enzimas originadas en las actividades metabólicas durante el crecimiento de las plantas. El coeficiente de actividad de las enzimas se duplica con cada incremento de 10 grados centígrados. Esto acorta la vida del aceite durante el almacenamiento, ya que promueve la autooxidación del aceite dando como resultado un cambio rápido de color y un aumento en el contenido de ácidos grasos libres. Por eso es importante mantener fresca el área de almacenamiento, a fin de evitar la inestabilidad y el aumento de los ácidos grasos libres. La mayoría de las enzimas presentes en el aceite se activan de una mayor forma a temperaturas superiores a los 30 grados centígrados. Por lo tanto, se aconseja almacenar el aceite a temperaturas inferiores.

4.6.2.2 Evitar las variaciones de temperatura (y por lo tanto, la condensación de agua)

Si el aceite de *Jatropha* se almacena en un tanque IBC (Internacional Bulk Container, 1000 litros) u otros recipientes, las variaciones de temperatura pueden producir la condensación de agua. Esto significa que el agua se disuelve en el aceite, lo cual no es bueno para su calidad.

La temperatura se debe mantener, en la medida de lo posible, al mismo nivel. Otra forma de evitar la condensación es mantener el envase hermético y llenado a su nivel máximo.

4.6.2.3 Oscuridad

Los aceites vegetales provienen de plantas y contienen compuestos fotosensibles como las clorofilas y carotenos. Entre estos compuestos, la clorofila es la que hace que el aceite parezca de color amarillo o rojo. En abundancia de luz estos compuestos se activan lo que resulta en el cambio de color del aceite. Para evitar esto se recomienda almacenar el aceite en zonas oscuras o zonas donde la intensidad de la luz sea baja. En general, esto implica la selección de una unidad no transparente para el almacenamiento.

4.6.2.4 Contacto con aire fresco

En condiciones inestables de almacenamiento del aceite, como temperaturas elevadas, es fácil que el oxígeno presente en el aire oxide los múltiples átomos de carbono unidos y sustituya los ácidos grasos; esto formará compuestos de peróxido. El incremento de estos compuestos hace al aceite más inestable.



Es difícil evitar el contacto del aceite con el aire utilizando una tapa normal o sello en los tanques de almacenamiento. Últimamente se ha utilizado nitrógeno para llenar recipientes con aceite y evitar su contacto con el oxígeno atmosférico. También pueden utilizarse sistemas de vacío, pero son bastante caros.

4.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Adriaans, T y Jongh, de, J., 'Jatropha oil quality related to use in diesel engines and refining methods', Fundación FACT, septiembre de 2007. (Disponible en: www.fact-fuels.org).
2. Beerens, P., 'Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling purposes in less developed countries', Eindhoven University of Technology, agosto de 2007. (Disponible en: www.fact-fuels.org).
3. Beerens, P., 'Jatropha under pressure', informe de investigación del grado de licenciatura, Eindhoven University of Technology, diciembre de 2005.
4. Ferchau, E. y Ansó, N., "Equipment for decentralised cold pressing of oil seeds", Folkecenter para la energía renovable, 2000 Archivo Kakute / Diligent Tanzania Ltd., 2004 (Disponible en: www.fact-fuels.org).
5. Groeneveld, GJ, "Development of a modification kit for diesel engines suitable for SVO", Fundación FACT, diciembre de 2008. (Pronto estará disponible en: www.fact-fuels.org).
6. Hui, YH, 'Bailey's industrial oil & fat products, volume 4 Edible Oil & Fat Products: Processing Technology', John Wiley & Sons, inc. 1996.
7. Hynd, A. y Smith, A., 'Meeting a Pressing Need, Project Appraisal of the Oilseed Ram Press and Approaches to Implementation, Design for Developing Countries', de 2004.
8. Jongh, de, J. y Beerens, P., 'Note on Jatropha pressing for FACT pilot plants', Fundación FACT, abril de 2008. (Disponible en: www.fact-fuels.org).
9. Wan, PJ, 'Introduction to Fast and Oils Technology', American Oil Chemists' Society, Champaign, Illinois, 1988.
10. Archivo de Diligent Energy Systems BV, 2005.
11. Archivo Diligent Tanzania Ltd., 2008.
12. Archivo Dajolka, Niels Ansø, 2005.
13. Archivo Kakute / Diligent Tanzania Ltd., 2004.



14. Visita a Flottweg, Holanda, con el director P. van Donselaar proveedor / fabricante de tecnologías de separación.

15. MSDS, Bioshape ltd. 2008.

16. Thomas, A., Fats and Fatty oils, Unimills Internacional, Hamburgo, República Federal de Alemania, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005.

5. APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE JATROPHA

5.1 INTRODUCCIÓN

La *Jatropha* tiene muchas aplicaciones potenciales. Sin embargo, hasta ahora, muy pocas se han realizado a mediana o grande escala. La *Jatropha* se cultiva principalmente para el aprovechamiento de su aceite. Sin embargo, este aceite no es el único producto utilizable de la planta. Durante el proceso de extracción del aceite, se crean también otra serie de productos muy útiles. Este capítulo inicia con la discusión de la aplicación del aceite de *Jatropha*, seguida por las aplicaciones de sus subproductos.

5.2 APLICACIONES DEL ACEITE DE JATROPHA

El aceite de *Jatropha* se puede utilizar de varias maneras. El aceite crudo (sin tratamiento) puede ser usado como combustible o para la producción de jabón. El aceite de *Jatropha* también puede servir para la producción de biodiesel. En primer lugar se discuten las aplicaciones del aceite crudo y luego la aplicación del aceite refinado para la producción de biodiesel.

5.2.1 Lámparas y estufas de aceite

Autor: Peter Beerens

En zonas rurales, los combustibles tradicionales utilizados en lámparas y estufas, son en su mayoría la leña, carbón y el combustible fósil. A través de la introducción de alternativas de combustible, tal como los aceites vegetales, y específicamente el aceite de *Jatropha* para su uso en lámparas y estufas, podría reducirse el uso de combustibles tradicionales. Los usuarios potenciales del aceite de *Jatropha* son aquellas personas que actualmente compran combustible (carbón, kerosén) en zonas donde no se encuentran combustibles alternativos gratis (como la leña).

5.2.1.1 Lámparas

La principal limitante de utilizar aceite de *Jatropha* para la iluminación es su alta viscosidad. La mayoría de las lámparas de mechas que utilizan kerosén pueden usarse también con aceite de *Jatropha*. En principio el suministro de aceite de *Jatropha* a través de la mecha es normal, pero a medida que el nivel de aceite disminuye y el aceite debe viajar largas distancias a través de la mecha, las luces se atenúan. Un segundo problema es la formación de coque (depósitos de carbono) en la superficie de la mecha, que es la segunda causa del porqué la luz se vuelve tenue. Por último, la temperatura de ignición de aceite de *Jatropha*

(240 °C) es mucho mayor que para el combustible fósil (84 °C). Esto hace que sea más difícil de encender el combustible.

Para superar estos problemas, el cual se da en el caso de lámparas con mecha fija, puede utilizarse una mecha flotante. Un ejemplo de una lámpara que utiliza este principio es la "Lámpara Binga" desarrollada por el proyecto forestal de Binga, en Zimbabwe. Cuando en esta lámpara baja el nivel de aceite, la mecha se hunde junto con él manteniendo una distancia constante entre la llama y el aceite. A continuación, se muestra una fotografía de la lámpara Binga.

El coque formado en la mecha se debe a la alta temperatura de evaporación del aceite de *Jatropha*. Al quemar combustible fósil, normalmente éste se evapora de la mecha, mientras arde; por lo que la llama arde a una pequeña distancia de la superficie de la mecha, dejándola intacta.

Debido a que el aceite de *Jatropha* no se evapora tan rápidamente, las quemaduras en la superficie de la mecha causan la formación de depósitos de carbono en la mecha. Después de 8 horas, la parte visible de la mecha está completamente carbonizada y debe ser reemplazada [1].



Figura 10 - Una lámpara común que funciona con combustible fósil (derecha) y una lámpara modificada que funciona con aceite de *Jatropha*. [2]

Figura 11 - Lámpara Binga desarrollada por el proyecto forestal de Binga en Zimbabwe. [3]

5.2.1.2 Estufas

Los diseños de estufas que funcionan con *Jatropha* se basan en tres métodos diferentes. El primero utiliza los núcleos de las semillas de *jatropha* como combustible sólido tal como la estufa UB-16, ver la figura 3. El segundo método utiliza el aceite de *jatropha* en estufas de kerosén con mecha. El tercer método utiliza el aceite de *jatropha*, vaporizado y rociado bajo presión en una estufa especialmente diseñada, como la 'Protos' (Figura 5). El principal

inconveniente de utilizar aceite de *Jatropha* en estufas es su alta viscosidad, lo que a menudo ocasiona la obstrucción de la tubería de combustible o quemadores de la estufa. Varias estufas han sido adaptadas o diseñadas específicamente para su uso con aceite de *Jatropha*, algunas de ellas se muestran a continuación. Aunque está documentado que las estufas de *Jatropha* tienen niveles de emisiones más bajos en comparación con las estufas de leña, todavía se desconoce si el humo del combustible de *Jatropha* es perjudicial debido a sus ingredientes tóxicos. Este es un aspecto importante para el cual se recomienda mayor investigación al respecto.



(3)



(4)



(5)

Figura 3 – Estufa UB-16 la cual funciona directamente con semillas de *Jatropha* (sin cáscara).[4]

Figura 4 – Estufa marca Wheel, un ejemplo típico de una estufa de kerosén adaptada para su uso con aceite de *Jatropha*.

Figura 5 – Estufa de aceite vegetal PROTOS desarrollada por BSH Bosch and Siemens Hausgeräte GmbH.

La estufa de aceite vegetal PROTOS fue desarrollada en el año 2004. Esta inusual estufa funciona con aceites vegetales crudos o refinados tales como el aceite de coco, de girasol, de colza, de *Jatropha*, de ricino, de semilla de algodón y aceite de maní. Excepto por el quemador, esta estufa puede ser producida a nivel local creando fuentes de empleo. Más de 500 estufas PROTOS han sido probadas en las Filipinas, India, Indonesia, Sudáfrica y Tanzania.

5.2.2 Uso de aceite vegetal puro como combustible directo en motores diesel

Autor: Niels Ansø

5.2.2.1 Introducción

Por naturaleza, generalmente el aceite vegetal puro (PPO por sus siglas en inglés) tiene excelentes propiedades para su utilización como combustible en motores diesel, también conocidos como motores de encendido por compresión. En general, cualquier motor de diesel caliente funcionará con aceite vegetal puro calentado. Sin embargo, los motores diesel han sido diseñados y optimizados para su uso con diesel como combustible. Debido a que algunas propiedades del combustible de aceite vegetal puro se diferencian de las del



combustible fósil (diesel), es necesario crear las condiciones a través de cambios (conversiones y modificaciones) en los motores. El conjunto de cambios necesarios a realizar en los motores son normalmente denominados como conversión o modificación.

Hay dos criterios igualmente importantes a seguir para utilizar con éxito el combustible de aceite vegetal puro en motores diesel:

- La calidad de los combustibles de aceite vegetal puro deben cumplir los criterios especificados en normas de calidad. En Alemania existe la norma de calidad DIN V 51 605 para el aceite vegetal puro de canola. Normas similares deberán hacerse para otros tipos de aceites vegetales.
- Los motores diesel que serán convertidos para que funcionen con aceite vegetal deben estar en óptimas condiciones de mantenimiento y ajuste. Además, al convertir un motor, se debe poner especial a consideraciones específicas para cada tipo de motor. Además, el motor debe utilizarse en forma adecuada (modo de carga)

Ambas condiciones garantizarán la combustión eficiente del aceite vegetal puro, minimizando las emisiones y el consumo de combustible, y garantizando una larga vida útil al motor. En estas condiciones, el rendimiento y el consumo de combustible de aceite vegetal puro será similar al utilizar diesel. Por otra parte, si el aceite puro vegetal se quema de manera ineficiente, tarde o temprano se pueden esperar problemas ocasionados por la formación de depósitos u otras formas de acumulación de combustible no quemado en el motor. O el aceite vegetal podría dañar el sistema de inyección debido a sus propiedades agresivas que conducen a la corrosión.

Todas las medidas, a considerar tanto para el motor como para sus combustibles, son simples y fáciles de entender. Un enfoque práctico es importante, y más importante, no subestimar el valor de cada medida para el cumplimiento de los criterios.

En el siguiente capítulo se tratará de cubrir los temas clave de interés para el funcionamiento de motores diesel con aceite vegetal puro en países en desarrollo. Esto incluye los requerimientos del combustible de aceite vegetal puro, la selección de motores aptos y las características que deben cambiarse en estos motores para funcionar de forma segura con aceite vegetal puro. Sin embargo, estos sólo son lineamientos. La fuente principal de este capítulo se basa en las experiencias de Niels Ansø con Dajolka [6] (en el Folkecenter), realizadas durante más de 10 años, con automóviles funcionando con aceite vegetal puro a un 100%, y la realización de muchas actividades prácticas, tales como la conversión de varios cientos de motores, principalmente de automóviles tipo turismo y camionetas, y también de motores diesel con otras aplicaciones. No obstante, el riesgo de seguir los consejos brindados en este capítulo son a cuenta propia.



5.2.2.2 Propiedades del combustible de aceite vegetal puro (PPO)

Para su uso como combustible, es esencial tener cuidado en la calidad del aceite a utilizar. Esto comienza por seleccionar el tipo adecuado de semillas, su cultivo, cosecha, transporte, manipulación y almacenamiento, luego su prensado y la filtración, manejo y almacenamiento del aceite (véase el capítulo 4).

La norma de calidad de los combustibles de aceite vegetal puro especifica dos tipos de parámetros:

1. **Propiedades características:** son las que se dan de manera natural y por lo general no cambian con la manera de producción, manipulación y almacenamiento de las semillas y aceite utilizada. Estas son menos importantes siempre y cuando se conozca el tipo de cosecha y / o de semillas a utilizarse.
2. **Propiedades variables:** son aquellas que son afectadas por la forma en que se hagan tanto la cosecha, transporte, manipulación y almacenaje de las semillas, así como en la producción, manipulación y almacenamiento del aceite vegetal puro. Estas propiedades son muy importantes para la estabilidad del aceite vegetal puro durante su almacenamiento para prevenir daños a los sistemas de inyección y para su combustión eficiente.

Todos los parámetros son importantes, pero algunos son más críticos que otros. Las variables remarcadas en negrita en la tabla de abajo, aunque son invisibles, pueden dañar un motor rápidamente si se superan considerablemente los límites. Es recomendable, hacer un análisis regular de estos cuatro parámetros variables en el aceite puro vegetal.

Tabla 5.1: DIN V 51 605 - Norma de calidad para el aceite de canola como combustible de motores, mostrando: las propiedades características y las propiedades variables.

Parámetro	Límite	Unidad
Propiedades Características		
Densidad a 15 °C	900 - 930	kg/m ³
Punto de ignición Pensky-Martens	min. 220	°C
Viscosidad cinemática a 40 °C	max. 36,0	mm ² /s
Valor calorífico (mínimo; incl. H ₂ O-corrección)	min. 36.000	kJ/kg
Número cetano	min. 39	-
Residuo de carbón CCR (del original)	max. 0,40	% (m/m)
Número de yodo	95 - 125	g yodo/100 g
Contenido de azufre	max. 10	mg/kg
Propiedades variables		
Contaminación total	max. 24	mg/kg
Número ácido	max. 2,0	mg KOH/g
Estabilidad a la oxidación	min. 6,0	H
Contenido de Fósforo	max. 12	mg/kg



Contenido de Alcalinotérreos (Ca + Mg)	max. 20	mg/kg
Contenido de cenizas	max. 0,01	% (m/m)
Contenido de agua	max. 0,075	% (m/m)

5.2.2.3 Otras propiedades

Otra diferencia es el contenido de energía, que es alrededor de 4% -5% menor por volumen del aceite vegetal puro en comparación con el combustible fósil. El menor contenido energético es en parte compensado por la combustión más eficiente causada por el contenido natural de oxígeno en la estructura de la molécula del aceite vegetal puro.

Tabla 5.2: Diferencia en las propiedades características constantes del aceite vegetal puro de canola y el diesel.

		Aceite vegetal puro	Diesel
Densidad	kg/m ³	920	830
Contenido energético por peso	MJ/kg	min 36,0 (típicamente 37,0)	42.3
Contenido energético por volumen	MJ/l	33.1	35.1
Contenido de oxígeno	%	11-12	0
Punto de ignición	°C	220	60-70

Viscosidad

Considerando los sistemas hidráulicos y mecánicos de un motor diesel, la viscosidad es la principal diferencia entre las propiedades del aceite vegetal puro y el diesel. La viscosidad del aceite vegetal puro es muchas veces mayor que la del diesel a temperatura ambiente. Esto hace que sea más difícil que el aceite vegetal puro fluya desde el tanque de combustible hacia el motor para su entrada en los inyectores. La elevada viscosidad, junto con un punto de ignición mucho mayor, hacen que sea más difícil arrancar el motor con aceite vegetal puro frío y se logra una combustión eficiente satisfactoria hasta que el motor está caliente.

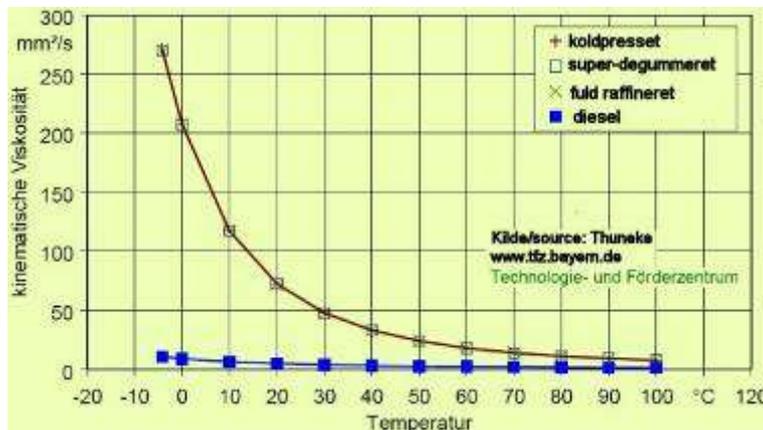


Figura 5.1 Viscosidad



La figura muestra la viscosidad cinemática del aceite de canola y el diesel en función de la temperatura. La línea color azul muestra la viscosidad del diesel, y la línea roja, la viscosidad del aceite de canola (prensado en frío, desgomado y completamente refinado). A 0 °C, el aceite vegetal puro es de 20-30 veces más viscoso que el diesel, pero a 60-70 °C, los valores de viscosidad se acercan a los del diesel, como se puede observar la curva se hace plana y la diferencia desaparece.

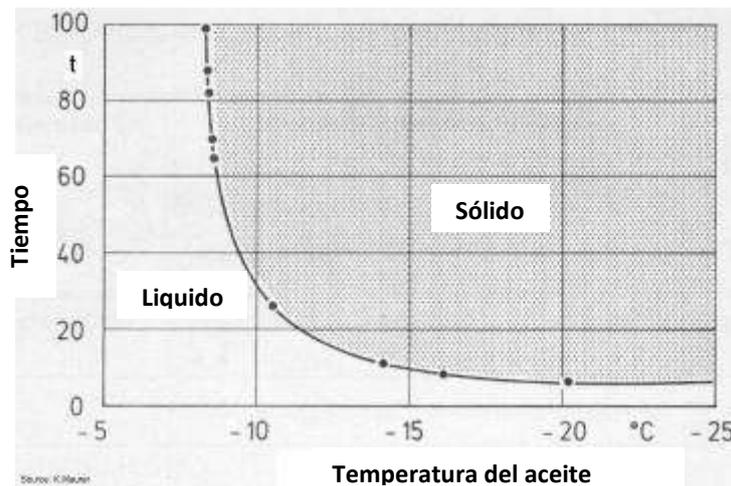


Figura 5. 2 Cambio de fase sólido / líquido del aceite puro vegetal.

El aceite puro vegetal se puede solidificar a bajas temperaturas. Es un proceso reversible, y es a la vez una función de la temperatura y el tiempo. La figura muestra las propiedades de las fases sólido / líquidas del aceite de canola.

Se debe destacar que para el aceite vegetal puro de *Jatropha*, estos números serán diferentes ya que en comparación con el aceite de canola, tiene una diferente composición de ácidos grasos con mayor proporción de ácidos grasos saturados. Por lo tanto, su curva de viscosidad (Figura 5.1) será diferente y su punto de solidificación estará a temperatura más alta.

5.2.2.4 Conversión de motores / Tipos de motores

Para que un motor funcione de manera segura utilizando como combustible el aceite vegetal puro, deberá ser convertido para que pueda manejar las propiedades del aceite que difieren del diesel. Por ejemplo, es necesario calentar el aceite vegetal puro con el fin de disminuir su viscosidad, por lo que deben modificarse los inyectores y bujías de pre calentamiento para que el motor funcione con aceite vegetal puro.

Debido a la gran variedad de motores de diferentes fábricas y configuraciones en su sistema de inyección, este capítulo sólo puede servir como una guía para las cuestiones básicas más relevantes para la conversión. Solamente se discuten los aspectos relacionados a los



motores con sistemas de inyección controlados de forma mecánica, ya que los sistemas de inyección controlados de forma electrónica todavía no son muy comunes en los países en desarrollo. Además, su conversión requiere de una tecnología más especializada, herramientas y mecánicos capacitados en estos sistemas.

Como se mencionó antes, en general, cualquier motor que trabaje con diesel caliente puede funcionar bien con aceite vegetal puro caliente. El principal reto es conseguir que el motor encienda y que funcione con una combustión limpia y satisfactoria hasta que alcance la temperatura normal de funcionamiento - típicamente cerca de 80-90 °C para el caso de motores refrigerados con agua.

5.2.2.4.1 Identificación del motor

Los motores diesel existen en diferentes tipos y tamaños. La mayoría de ellos se pueden convertir para que funcionen bien con aceite vegetal puro como combustible. Es importante identificar y elegir un motor adecuado, y luego decidir cómo debe ser convertido. La cuestión principal es, si el motor es de inyección directa o indirecta, y cómo está diseñado su sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración es importante porque controla la temperatura de funcionamiento del motor y el calor emitido por el motor podría utilizarse para calentar el aceite vegetal puro.

En general, todos los motores diesel de inyección indirecta (IDI) son muy adecuados para la conversión para que funcionen con aceite vegetal puro. Los motores de inyección directa (DI) también se pueden convertir, pero son más sensibles a la distribución de carga y calidad de los combustibles, por lo que su conversión es más compleja y requiere un sistema de tanque doble (2).

No es recomendable convertir los motores equipados con bombas de inyección fabricadas por Lucas, CAV, Delphi, Stanadyne o Roto-Diesel, debido a que existe un alto riesgo de dañar la bomba, por lo general cuando la bomba y el aceite están fríos. Otros motores pueden tener otros problemas, lo que los hace menos adecuadas para la conversión, por ejemplo, los motores de inyección directa donde el diámetro del cilindro es mayor al largo de pistón⁵.

Por lo tanto, antes de decidir convertir un motor, es importante identificar el motor, su tipo, fabricante del sistema de inyección, y el patrón de carga del motor. Basándose en estos factores, es posible determinar si la conversión de un motor es factible.

Inicialmente, es importante determinar el tipo de inyección que el motor tiene, si es directa o indirecta, identificar el tipo de sistema de precalentamiento disponible (si existe), el tipo de bomba de inyección, bomba de elevación e identificar el tipo de sistema de refrigeración

⁵ Véase http://en.wikipedia.org/wiki/Stroke_ratio



utilizado. A menudo puede ser útil hacer un dibujo del sistema de combustible, que muestre todos los componentes y líneas de combustible existentes.

Para la identificación exacta del motor, es importante obtener la siguiente información: fabricante, código de motor, año de fabricación, número de cilindros, cilindraje (cm^3) y potencia (hp / kW). En el código del motor por lo general, se encuentran todos los datos técnicos del motor, pero en algunos motores es necesario identificar físicamente el fabricante de la bomba de inyección de combustible debido a que algunos modelos pueden equiparse con diferentes marcas.

Situación del motor

Es esencial que el motor que se va a convertir se encuentre bien ajustado y en un buen estado de mantenimiento. Si el motor tiene emisiones excesivas o no esté funcionando bien aun utilizando diesel fósil, los problemas deben identificarse y corregirse antes de la conversión. Si los inyectores están dañados o las bujías quemadas, éstas se pueden modificar junto con la conversión. El sistema de refrigeración, incluyendo el termostato, deben trabajar correctamente para que el motor alcance la temperatura normal de funcionamiento lo más rápido posible - de lo contrario, si el termostato tiene algún defecto, el motor puede trabajar a una temperatura demasiado baja para la combustión eficiente del aceite vegetal puro. Si no existe ningún termostato instalado, por ejemplo, en motores refrigerados por aire, el motor puede enfriarse demasiado. En ese caso, el motor, puede tener problemas para llegar a una temperatura aceptable, especialmente a cargas bajas. Esto podría descalificar el motor para su funcionamiento con aceite vegetal puro. Por lo menos, en el motor, deberá medirse el aumento de la temperatura de funcionamiento de una manera segura.

5.2.2.4.2 Diferencias entre los motores de inyección directa (DI) y de inyección indirecta (IDI)

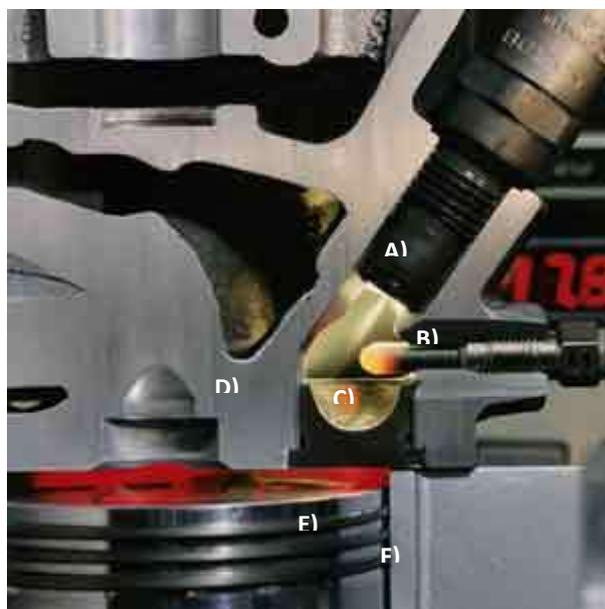


Figura 5.5: La fotografía muestra la sección transversal de una cámara de combustión de un motor IDI. A) Inyector de un solo orificio, B), Bujías de precalentamiento, C) Precámara, D) Culata, E) Pistón, F) Pared del cilindro. (Fotografía: Robert Bosch GmbH)

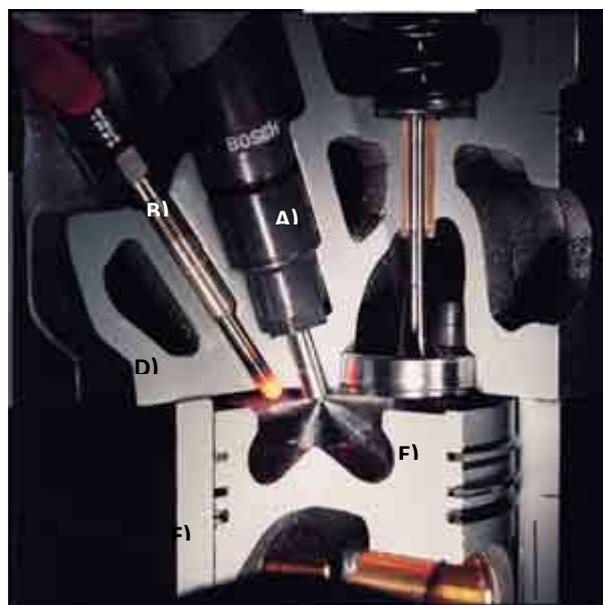


Figura 5.6: La fotografía muestra la sección transversal de una cámara de combustión de un motor DI. A) Inyector de orificio múltiple, B), Bujías de precalentamiento, D) Culata, E) Pistón, F) Pared del cilindro. (Fotografía: Robert Bosch GmbH)

Las figuras 5.5 y 5.6 muestran las áreas de sección transversal de un motor de inyección indirecta (IDI) y un motor de inyección directa (DI), respectivamente. El motor IDI es mejor para la combustión del aceite vegetal puro porque el combustible se inyecta a una precámara relativamente pequeña y caliente, donde la combustión se inicia, antes de continuar al cilindro. En un motor DI el combustible se inyecta directamente en el cilindro, que es relativamente grande y frío en comparación con la precámara. En ambas figuras se puede observar la presencia de bujías incandescentes de precalentamiento, lo que es importante para el arranque del motor y el mejoramiento de la combustión en frío. Las bujías se apagarán una vez arrancado el motor, pero se mantendrán activas durante unos minutos más.

En motores de inyección directa (DI), hay un mayor riesgo de que el aceite vegetal puro no quemado se aloje en la pared del cilindro el cual está más frío, lo que puede llevar a la formación de depósitos en el pistón y sus aros y al aumento del flujo de aceite vegetal puro a lo largo de la pared del cilindro hasta la caja del cigüeñal lo que diluirá el aceite lubricante.

Debido a su alto punto de ebullición, el aceite vegetal puro no se evapora en el aceite lubricante tal como pasa con el diesel y la gasolina, por lo que la concentración siempre irá

en aumento. Inicialmente, la dilución del aceite lubricante no es un problema. Después de un tiempo, las concentraciones de aceite vegetal puro en el aceite lubricante pueden exceder al 10%; la carga térmica de esta mezcla puede provocar la polimerización, lo que conduce a un aumento repentino y dramático de la viscosidad del aceite lubricante, causando daños o la destrucción total del motor. El fenómeno está relacionado tanto con el tipo y la calidad del aceite lubricante y el aceite vegetal puro [8].



Figura 5.7

En la fotografía se puede ver una muestra de aceite lubricante de un motor DI en donde ha ocurrido la polimerización. Para ilustrar la viscosidad del aceite, se derramó una pequeña cantidad en una hoja de papel tamaño A4, que luego fue puesta en posición vertical. La fotografía muestra la acción después de 26 segundos; el aceite fluye muy lentamente. Con el aceite viscoso, existe un alto riesgo de dañar el motor debido a la insuficiente lubricación y refrigeración. El operador puede obtener un aviso de la señal de advertencia de presión del aceite al arrancar el motor, ya que la presión del aceite se acumulará de manera más lenta de lo normal. Lo mejor es evitar esta situación mediante el control de la frecuencia, nivel y consistencia de los aceites lubricantes y tomando las medidas adecuadas.

5.2.2.5 La conversión del motor

La conversión debe ser siempre realizada por técnicos calificados, y su resultado evaluado por una persona con experiencia en motores diesel. Como se mencionó antes, en general, cualquier motor que trabaje con diesel caliente puede funcionar bien con aceite vegetal puro calentado. El principal reto es conseguir que arranque el motor y que funcione con una combustión limpia y satisfactoria hasta que alcance una temperatura normal de funcionamiento, normalmente cerca de 80-90 ° C para un motor refrigerado por agua.

Hay dos maneras de superar la parte más difícil, que es el arranque en frío y el funcionamiento del motor hasta que se haya alcanzado la temperatura normal de funcionamiento:

- 
- 
1. Con un sistema de tanque único (1), en el cual el motor arranca directamente con aceite vegetal puro. El tanque de combustible único puede ser llenado con aceite vegetal puro, diesel o cualquier mezcla de ambos.
 2. Con un sistema de tanque doble (2), el motor arranca con diesel alimentado por uno de los tanques de combustible, y funciona con diesel hasta que el motor alcanza la temperatura normal de funcionamiento, entonces cambia a aceite vegetal puro calentado suministrado por el segundo tanque de combustible. Antes de apagar el motor y su enfriamiento, debe estar en funcionamiento el tanque de diesel a fin de purgar el sistema de inyección. El tanque de diesel debe estar siempre lleno de diesel, pero el tanque de aceite vegetal puro se puede llenar con el mismo aceite, diesel y de cualquier mezcla de ambos.

5.2.2.5.1 Funcionamiento y operación de un sistema de tanque único

Los motores de inyección indirecta pueden convertirse fácilmente a un sistema de tanque único (1) lo que les permite iniciar rápida y directamente utilizando aceite vegetal puro como combustible. La primera condición para la realización de un sistema de tanque único es la presencia de una bujía incandescente en la cámara de combustión (ver figura 5.5). Además, es necesario instalar bujías incandescentes especiales e inyectores y se debe ajustar el tiempo y la presión de inyección.

La realización de un sistema de tanque único requiere especial atención en los inyectores, bujías de incandescencia y ajuste del motor. Un motor convertido con un sistema de tanque único es muy similar al motor diesel original. La única diferencia es el arranque en frío, donde el operador debe aprender a encender el motor que funciona con aceite, por lo general requiere dejar precalentarlo de 5-10 segundos combinando finalmente el ajuste del combustible con un poco del acelerador. Lo mejor es arrancar el motor y dejar que se caliente moderadamente, en lugar de dejar que el calor sea súbito o el motor se encienda a plena carga con altas revoluciones. La mayoría de los usuarios prefieren un sistema de tanque único porque es fácil de usar y no requiere cambios en los hábitos de los usuarios o dar cualquier inconveniente. Por estas razones, se recomienda muchas veces este sistema.

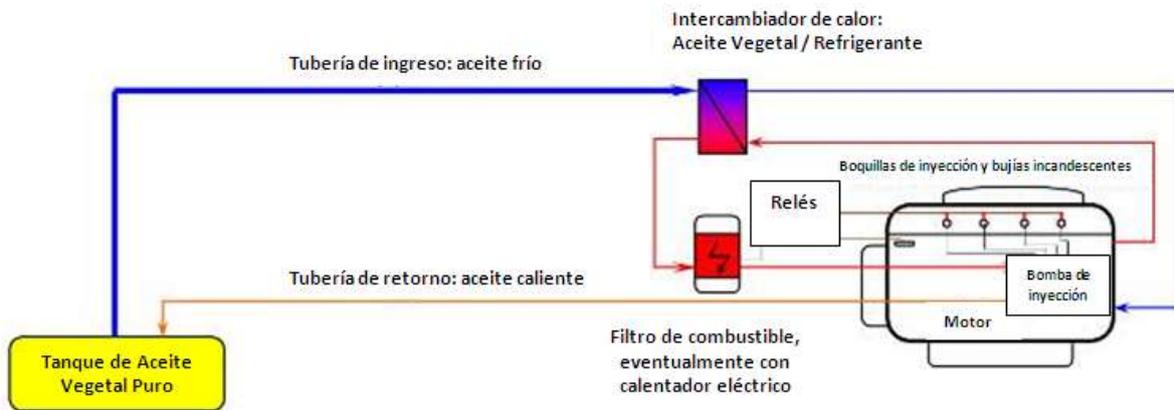


Figura 5.3 Configuración típica de un sistema de tanque único, incluye largas tuberías de combustible, intercambiador de calor, calentador eléctrico de combustible, inyectores, bujías de incandescencia, etc.

5.2.2.5.2 Funcionamiento y operación de un sistema de tanque doble

Algunos motores de inyección directa también se puede convertir a un sistema de tanque único, pero es mucho más difícil obtener una rápida puesta en marcha y una combustión limpia de un motor frío, así que los motores DI se suelen convertir a sistemas de tanque doble. La conversión típica de un automóvil se muestra en la figura 5.4. Para motores más básicos, por ejemplo, los utilizados en África (Figura 5.11), sin batería con encendido eléctrico, sin precalentamiento y una transmisión eléctrica controlada de combustible; el sistema de conversión suele consistir en lo siguiente: un filtro de combustible adicional, tanque de combustible y sistema de calefacción de combustible para el aceite vegetal puro, dos válvulas de bola (una para cada tanque de combustible), y algunas mangueras y accesorios para conectar las dos líneas de combustible en la bomba de inyección, y eventualmente para realizar un circuito de retorno del combustible al sistema de inyección.

Los desafíos a afrontar en el diseño del sistema son: minimizar el tiempo de purga, y garantizar que el aceite vegetal puro no se mezcle con el diesel en el tanque de diesel durante el proceso de purga. El tiempo de purga se minimiza al disminuir del volumen en el sistema a través de la válvula de control del flujo de combustible para el motor y la otra válvula de control del flujo de retorno. Por lo tanto, es mejor utilizar filtros diferentes, un filtro para el aceite vegetal y otro para el diesel. Será necesaria una válvula de control adicional en los motores con bomba de elevación externa, ya que ésta generalmente se coloca antes del filtro de combustible.

Realizar y operar un sistema de doble tanque es relativamente sencillo. El motor arranca con diesel como de costumbre, y luego se cambia a aceite vegetal puro calentado cuando el motor ya haya alcanzado la temperatura de funcionamiento - ya sea manual o automáticamente a través de un sistema de control, por ejemplo, mediante un interruptor termostático en combinación con una electroválvula de tres vías. Antes de detener o apagar



el motor para el enfriamiento, se debe volver al uso de diesel, de modo que el sistema de inyección se purgue con diesel y quede listo para el próximo encendido.

El tiempo de purga depende de las características específicas del motor y el diseño del sistema de doble tanque. Para los motores DI es mejor cambiar a diesel si se ejecuta a una carga muy baja por largo tiempo. Si el motor se enciende y apaga de manera seguida, marcha con baja carga o funciona sólo durante un corto período de tiempo, el sistema de doble tanque no es adecuado porque el motor se ejecutará la mayor parte del tiempo usando diesel.

El sistema de doble tanque es un poco incómodo para el usuario puesto que es necesario volver a diesel a su debido tiempo antes de apagar el motor y hay que estar muy pendiente del nivel de combustible en dos tanques diferentes. Además, el tanque extra para el diesel ocupa espacio, por lo general dentro de la cabina si se trata de un turismo o una camioneta, donde aumenta el riesgo de derrame durante su llenado (excepto si está instalado con un sistema de llenado externo).

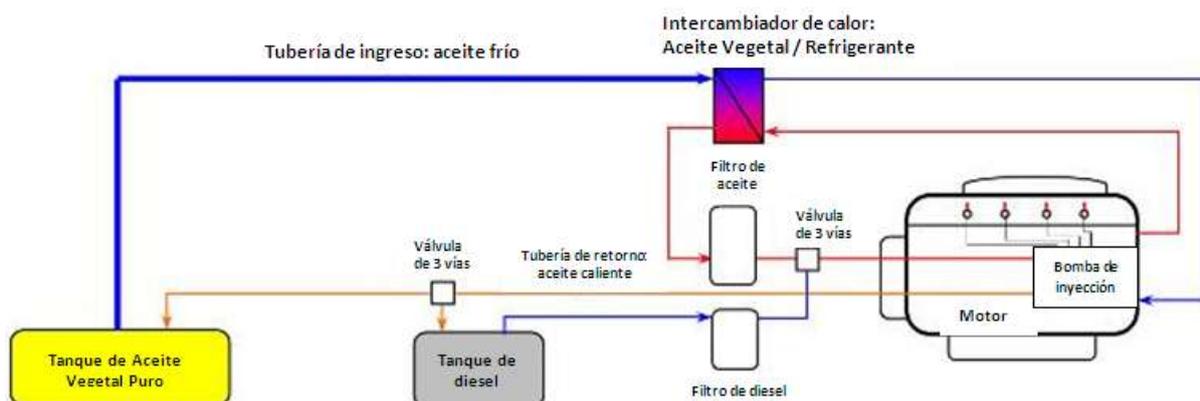


Figura 5.4 Configuración típica de un sistema de doble tanque en motores con ascensor integrado en la bomba de inyección. Incluye tuberías de combustible más grandes, intercambiador de calor, tanque de combustible adicional y un filtro de combustible para el diesel, válvulas de tres vías para hacer el cambio entre el uso del aceite vegetal puro y el diesel, etc.

La introducción del aceite vegetal puro al tanque del diesel puede ser evitada retrasando la válvula de retorno, de modo que el combustible siga su recorrido hacia el tanque de aceite vegetal puro durante el proceso de purga, pero esto aumentará el consumo de diesel. Otra forma es con un circuito de retorno de combustible a la bomba de inyección en lugar del tanque de diesel, cuando el motor esté funcionando con diesel. Esto reducirá al mínimo el consumo de diesel, pero aumentará el tiempo de purga considerablemente, ya que el combustible en el sistema de inyección se sustituye con la misma velocidad con la que el motor consume el combustible. Con el flujo de retorno al tanque de combustible, el combustible en el sistema de inyección se cambia mucho más rápido, porque la cantidad

total de combustible desplazado por la bomba elevadora a través del suministro y de retorno puede ser hasta 5 veces más que el consumo real.

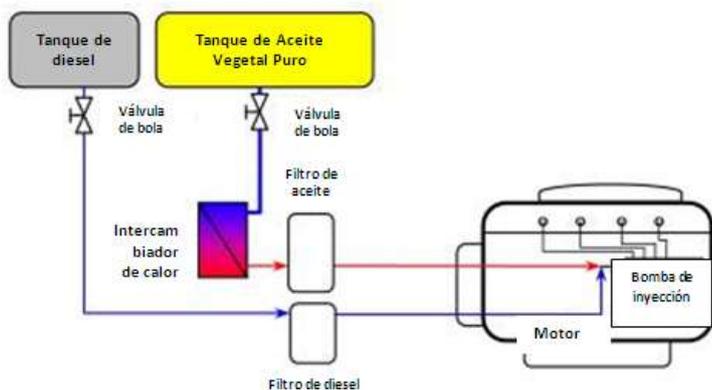


Figura 5.5: Sistema sencillo de doble tanque para motores sin sistema eléctrico y bomba de elevación de combustible. El cambio entre el diesel y el aceite vegetal puro se hace manualmente por 2 válvulas. La fuente de calor para el intercambiador de calor depende de las opciones disponibles para cada motor específico, por ejemplo, refrigerante, aceite lubricante, aire caliente o gases de escape.

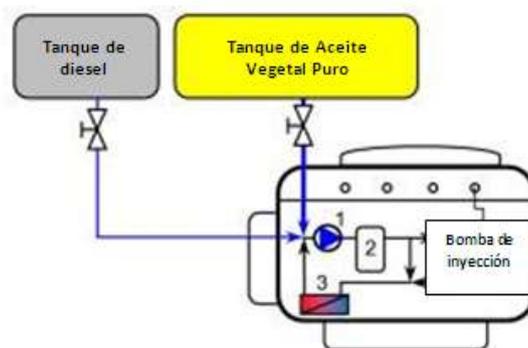


Figura 5.6: Otra variante de un sistema sencillo de doble tanque para motores sin sistema eléctrico, pero con una bomba de elevación de combustible (1). Este sistema fue instalado en una bomba de riego la cual se muestra en la figura 5.11. El filtro de combustible original (2) y un intercambiador de calor (3) se ha instalado dentro de un circuito de combustible de retorno desde la bomba de inyección. Como parte del circuito, la calefacción de combustible podría realizarse por una manguera de combustible circulando 1 vez por el cilindro del motor refrigerado por aire. Con sólo 1 filtro de combustible en el circuito, el tiempo de purga entre el diesel y la PPO es más largo, pero no es importante para un motor que funciona de forma permanente durante muchas horas.

5.2.2.5.3 Funcionamiento con Mezclas de Aceite Vegetal Puro – Diesel

El aceite vegetal puro y el diesel se mezclan con mucha facilidad, incluso el diesel reduce la viscosidad y el punto de inflamación de la mezcla. Si la mezcla se deja reposando en un tanque durante mucho tiempo sin movimiento, la concentración de aceite vegetal puro puede aumentar en las capas inferiores debido a su mayor densidad, pero esto no ocurre en un vehículo o motor con uso frecuente con circulación del combustible (flujo de retorno al depósito de combustible). En épocas de frío, una mezcla de diesel al 10-15% en aceite vegetal puro puede mejorar el arranque en frío del motor, pero cuando hay una conversión a un sistema de tanque único esto no es necesario.

Puede parecer atractivo el funcionamiento de motores diesel con mezclas, sin necesidad de conversión, incluso algunos motores IDI parece funcionar durante mucho tiempo con concentraciones de hasta el 50% de aceite vegetal puro. Pero para motores DI la concentración debe ser mucho menor, por ejemplo, un máximo de 20-30%. El principal riesgo es que con el tiempo, el motor se contamine con depósitos de aceite vegetal puro no quemado. En un principio puede parecer que el motor funciona bien, pero cuando la cantidad de los depósitos aumenta, puede conducir a problemas más graves e irreversibles.



Por lo tanto, no es posible recomendar el uso de mezclas en motores sin una conversión real.

5.2.2.6 Cuestiones técnicas importantes

5.2.2.6.1 Sistema de incandescencia

Una bujía de incandescencia es utilizada en la cámara de combustión para precalentar la combustión antes del arranque del motor en frío. Este es un dispositivo importante para la realización de un sistema de tanque único. Las bujías incandescentes generalmente son unos milímetros más largas que las bujías incandescentes originales instaladas en el motor, a fin de añadir más calor a la combustión en la precámara antes del arranque y para que el combustible rociado desde los inyectores alcance la punta caliente de la bujía de incandescencia. También es una ventaja combinar bujías de incandescencia largas con un sistema de precalentamiento, las bujías incandescentes son activadas pocos minutos después del arranque en frío, lo que mejora la combustión del motor en frío. Se requiere una clase especial de bujías de incandescencia diseñadas para aplicaciones de precalentamiento, de lo contrario las bujías de incandescencia se quemarán rápidamente.

Hay otros tipos de sistemas de precalentamiento, como la instalación de una bobina en el colector de admisión de aire, mediante la cual se encenderá una pequeña cantidad de combustible diesel. Tal sistema no funciona con aceite vegetal puro como combustible, así que lo mejor es convertir ese motor a un sistema de tanque doble. Si no existe un sistema de precalentamiento en el motor siempre debe ser convertido a un sistema de tanque doble. Si el motor está equipado con un sistema de precalentamiento de combustible, normalmente ubicado en la entrada de aire del colector, se debe tener cuidado de que este sistema sea alimentado con diesel.

5.2.2.6.2 Inyectores

Existen varios tipos de inyectores y pueden haber varias soluciones adecuadas para el mismo motor. Un sistema de tanque único requiere inyectores especiales y aumento de la presión de inyección, pero en un sistema de tanque doble, por lo general se utilizan los inyectores originales del motor y no se sustituyen a menos que estén dañados. Eventualmente, en un sistema de tanque doble, la presión de inyección se aumenta en función de la configuración original del motor. El cambio de inyectores podría parecer complicado y costoso, pero a menudo mejora el rendimiento de un motor usado, e incluso extender su vida útil, debido a una combustión más limpia.

Una regla general es que a mayor presión de inyección, se consigue un mejor rocío del combustible y por lo tanto un mejor comienzo en frío y una combustión más limpia. Por lo tanto, la presión de inyección debe ser aumentada, por lo menos hasta su valor máximo dentro del rango especificado por el fabricante del motor, o incluso ligeramente superior. Si



el aumento de la presión de inyección es mucho mayor que la presión original, puede resultar en un retraso en el compás o sincronización de la inyección y una disminución de la cantidad de combustible inyectada. Por lo tanto, podría ser necesario adelantar el tiempo y aumentar la cantidad de combustible, respectivamente.

Otra ventaja es utilizar inyectores que hagan una pequeña inyección antes de la inyección principal. Eso hace que la combustión de la inyección principal sea más rápida y completa. La inyección previa puede ser realizada por su forma con un inyector tipo aguja o con un inyector de primavera de configuración doble. Esta relación también fue encontrada por el estudio ACREVO [7].

5.2.2.6.3 Sincronización

La correcta sincronización de la inyección es crítica para el rendimiento del motor, especialmente en el arranque en frío. En general, una inyección “temprana” aumenta la temperatura de combustión y hace que el sonido del motor sea más fuerte, da un mejor arranque en frío y una combustión más eficiente. Una inyección retrasada puede provocar un mal arranque en frío, alta temperatura de escape y una combustión ineficiente, también puede observarse emisión de humo gris con un olor desagradable e irritante del aceite vegetal puro no quemado.

La sincronización es buena para lograr una inyección a la mayor brevedad dentro del rango especificado por el fabricante, o incluso mejorar ese tiempo un poco más en comparación con la configuración original.

Muchos motores están equipados con un sistema automático o un ajuste manual para la activación del arranque en frío, que mejora el tiempo y aumenta la velocidad de ralentí, mejorando así el arranque en frío. Es importante que esta función esté trabajando y ajustada correctamente.

5.2.2.6.4 Sistema de combustible

Debido a la mayor viscosidad y densidad del aceite vegetal puro en comparación con el diesel, habrá mayor resistencia del flujo de combustible del tanque hacia el motor. Por lo tanto, es importante minimizar la caída de presión, normalmente mediante el aumento del diámetro de las líneas de combustible, para eliminar las restricciones críticas en el sistema de combustible, y / o instalar una bomba de elevación eléctrica. Por lo general, el aumento del diámetro de las líneas de combustible y la eliminación de las restricciones es suficiente.

Las restricciones críticas pueden ser un prefiltro en el depósito de combustible o en la línea de combustible, o diferentes tipos de uniones o conexiones de la línea de combustible, con reducción del área de sección transversal. La succión de aire dentro del sistema de combustible también es un elemento perturbador común, por lo que es esencial tener

cuidado con el montaje de todas las uniones y conexiones del sistema de combustible, especialmente en el lado de succión de la bomba de inyección y elevación. Para la solución de estos problemas es una buena idea, instalar un pequeño trozo de tubo de combustible transparente justo antes de la bomba de inyección o de elevación, para ver si hay burbujas de aire en el combustible.

5.2.2.6.5 Materiales

Los materiales utilizados en el sistema de combustible deben ser cuidadosamente seleccionados para evitar cualquier interacción entre los materiales y el aceite vegetal puro.

El cobre debe ser evitado debido a su efecto catalítico sobre el aceite vegetal puro, lo cual conduce a la reducción de la estabilidad de oxidación del aceite vegetal puro. El acero galvanizado en superficies (excepto si es electro-recubierto) también reacciona con el aceite vegetal puro, formando grasa sólida con un alto punto de fusión. La capa de grasa formada puede desprender trozos más pequeños al flujo de aceite vegetal puro bloqueando los filtros de combustible. Se recomienda el uso de acero inoxidable o acero carbono en su lugar.



Figura 5.8 La fotografía muestra un pre-filtro en línea parcialmente bloqueado por pequeñas partículas de grasa sólida, liberado de una pequeña pieza de acero recubierto por zinc en el tanque del aceite vegetal puro.

Muchas de las mangueras de combustible modernas son resistentes al aceite vegetal puro. Normalmente las mangueras PA12 se utilizan para conexiones duras de manguera, y mangueras de goma gruesa resistente para conexiones suaves y flexibles, por ejemplo, NBR o el caucho VITON. Mangueras especiales han sido desarrolladas para resistir el biodiesel, que también son adecuadas para el aceite vegetal puro.

5.2.2.6.6 Bomba de elevación

En la mayoría de motores diesel se utiliza una bomba de elevación para aspirar el combustible desde el depósito y suministrar una presión de combustible correcta para la bomba de inyección. Estas son típicamente bombas mecánicas integradas en la bomba de inyección o bien en un dispositivo externo conectado al motor o la bomba de inyección.



Algunos motores no tienen bomba de elevación, así que la presión del combustible se genera por la gravedad debido a un depósito de combustible levantado. En varios vehículos modernos, una bomba de elevación en el tanque de combustible genera la presión del combustible. Al convertir el motor para que funcione con aceite vegetal puro, el sistema debe garantizar que tanto la succión como la presión del combustible se mantienen dentro de los límites originalmente diseñados para ese motor.

Una bomba de elevación de tipo paletas integrada en la bomba de inyección trabaja normalmente dentro de un rango de 0.2-0.3 bars de succión. Si se aumenta la succión, por ejemplo a 0.4-0.5 bar o más, la bomba de inyección puede tener insuficiente presión y cantidad de combustible, dando lugar a un mal funcionamiento de la inyección y una pérdida de poder. También hay un mayor riesgo de dañar la bomba de inyección. Para la conversión y para la solución de problemas más adelante, es útil medir el vacío en la línea de combustible antes de que éste pase a la inyección o bomba de elevación, con un medidor de vacío con una escala 0-1 bars.

Las bombas de elevación mecánicas externas tipo membrana generalmente se instalan antes del filtro de combustible, y debe superar la pérdida de presión a través del filtro de combustible y mantener una presión positiva en la bomba de inyección - típicamente de 0.1-0.5 bars. El material de la membrana puede no ser adecuado para su uso con aceite vegetal puro, y por lo tanto requiere ser cambiado con más frecuencia. Algunas bombas no pueden suministrar suficiente presión positiva con aceite vegetal puro frío y altamente viscoso. Esta situación podría evitarse mediante una solución de tanque doble, o modificaciones en la bomba de elevación, o mediante la instalación de una bomba externa de elevación eléctrica ya sea para apoyar o sustituir la bomba de elevación original. Hay que tener en cuenta que la presión de suministro en la bomba de inyección debe estar dentro de los límites originalmente especificados.

5.2.2.6.7 Calentamiento del combustible

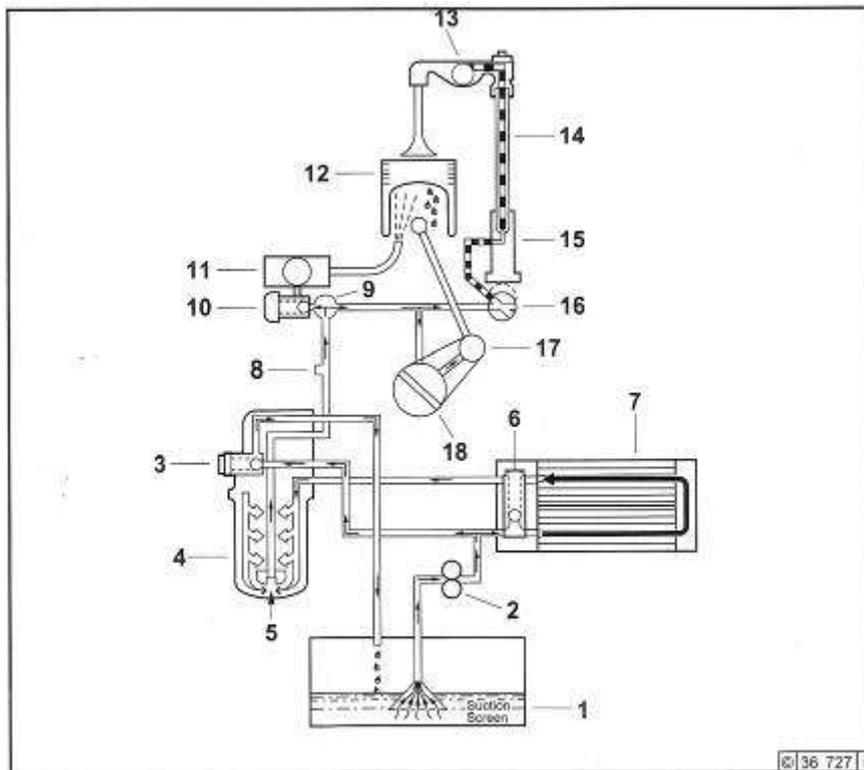
El calentamiento del aceite vegetal puro se realiza con el fin de reducir su viscosidad y, finalmente, derretir los sólidos o grasas semisólidas existentes en el aceite frío. El calor suele ser introducido antes de que el combustible pase por el filtro con el fin de reducir la caída de presión a través del filtro y evitar que éste se obstruya con grasas sólidas presentes en el aceite. La reducción de la viscosidad también permite el manejo del aceite en la bomba de inyección y mejora del rendimiento de los inyectores (atomización). El aceite vegetal puro es típicamente calentado con el exceso de calor del motor, el cual siempre está disponible en el caso de motores de combustión interna (60-70% del contenido energético del combustible). Temperaturas de combustible alrededor de 60-70 °C son típicamente de motores refrigerados por agua, utilizando el líquido de refrigeración como fuente de calor, y es autolimitado, debido a que el termostato controla la temperatura del refrigerante. Si el



motor es convertido para funcionar con diesel de vez en cuando, es bueno calentar el combustible por encima de los 70 °C debido a las propiedades lubricantes y el menor punto de ebullición del diesel, que puede conducir a la disminución de la lubricidad y la generación de burbujas de vapor en el combustible, causando desgaste y tensión mecánica en el sistema de inyección y el mal funcionamiento de la inyección de combustible. Si la temperatura del combustible supera los 70 °C, por ejemplo, al utilizar el aceite lubricante o escape de gas como fuente de calor, el sistema de calentamiento de combustible debe ser desactivado cuando se ejecuta con diesel. Mientras el aceite vegetal puro sea líquido, el calentamiento del tanque de combustible y las líneas de combustible no será necesario y es mejor para la estabilidad del aceite vegetal puro en el tanque.

Los motores refrigerados por agua suelen alcanzar una temperatura de funcionamiento de alrededor de 80-90 °C rápidamente y el refrigerante es un portador de calor. Una manera fácil y buena para calentar el aceite vegetal puro es a través del uso de un intercambiador de calor; éste puede ser hecho artesanalmente, pero también hay muchos intercambiadores de calor de placa adecuados y utilizados en la industria del automóvil, diseñados para el enfriamiento de combustible en motores diesel modernos. Estos están hechos de aluminio, y suelen tener un área de transferencia de calor de 300-600cm² para motores de automóviles. Si se considera un intercambiador de calor hecho localmente, hay que darse cuenta de que necesita algún área de contacto y por lo tanto, para que sea eficiente, su tamaño no puede ser demasiado pequeño.

En los motores refrigerados por aire la fuente de calor pueden ser el aceite lubricante, las corrientes de aire caliente, la radiación de los motores o los gases de escape. El aceite lubricante se calienta más lentamente que el refrigerante en un motor refrigerado por agua y el aceite es un portador de calor menos eficiente que el agua, pero aun así es una buena solución para calentar el aceite vegetal puro por un intercambio de calor entre el aceite lubricante y el aceite vegetal puro. Debido al menor flujo y capacidad térmica del aceite lubricante en comparación con un sistema de refrigeración, el intercambiador de calor debe tener un área de transferencia de calor más grande que en un sistema basado en el uso de refrigerante.



1. Cubierta
2. Bomba de aceite lubricante
3. Válvula de seguridad (bypass)
4. Filtro de aceite
5. Válvula de seguridad
6. Medición de presión de aceite
7. Refrigerante del aceite
8. Válvula de seguridad
9. Línea principal de aceite lubricante
10. Válvula de seguridad
11. Boquilla de refrigerante del pistón
12. Pistón
13. Alternador de válvula
14. Varilla empujadora
15. Empujador
16. Árbol de levas
17. Biela
18. Cigüeñal

La Figura 5.9 La figura muestra el circuito del aceite lubricante en el motor refrigerado por aire del motor Deutz 910 L03 (Fuente: Deutz AG)

Si el motor tiene un refrigerante de aceite externo, por ejemplo, el Deutz 910 (ver figura 5.9), es posible conectar el intercambiador de calor de manera que el aceite lubricante fluya caliente hacia el refrigerante de aceite. Otro caso es que el motor pueda conectarse con dispositivos externos al sistema de lubricación, por ejemplo, un filtro de aceite externo o una cabina de calentamiento. Es necesario obtener la documentación técnica detallada del motor, que muestre el circuito del aceite lubricante, incluyendo los datos de presión del aceite con el fin de estudiar cómo se diseñó el sistema de lubricación, y para averiguar la presión máxima que puede ocurrir cuando se conecta el intercambiador de calor al sistema de lubricación y evitar que explote el intercambiador de calor. También es importante ajustar el intercambiador de calor de modo que no pueda alterar la función del sistema de lubricación original.

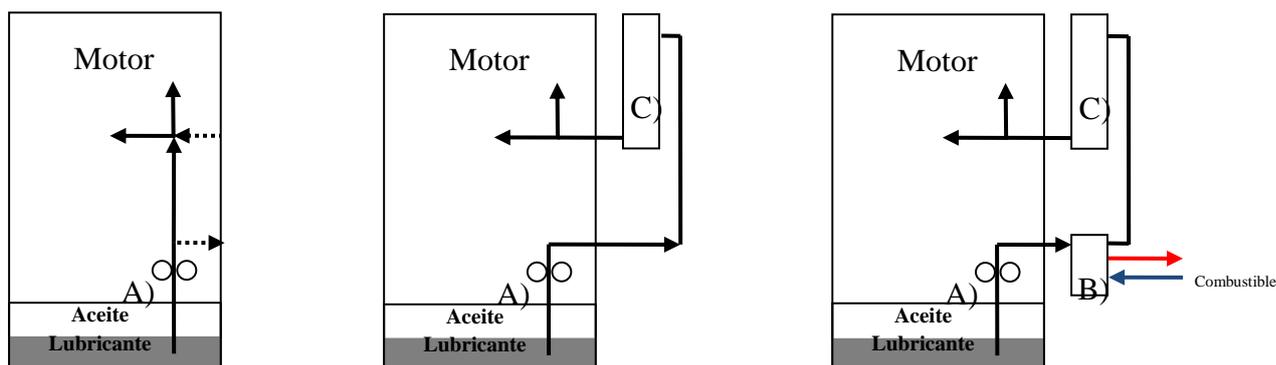


Figura 5.10. Tres variantes de un circuito simplificado de aceite lubricante de un motor refrigerado por aire. A la izquierda: el motor está preparado para una conexión externa del enfriador de aceite, filtro de aceite o la cabina de calentamiento (C). Al centro: el enfriador de aceite externo ya está instalado. A la derecha: un intercambiador de calor (B) se ha conectado a la tubería de aceite lubricante entre la bomba de aceite lubricante (A) y el enfriador de aceite externo (C)

El uso de los gases de escape como fuente de calor es también una opción que podría parecer atractiva, pero también tiene desventajas. Existe un riesgo técnico de que el aceite vegetal puro se sobrecaliente a causa de la elevada temperatura de los gases de combustión (hasta 500 °C) lo que conduce al agrietamiento y un riesgo de incendio, especialmente si está goteando combustible diesel dentro o cerca del sistema de escape. Debido a la diferencia muy alta entre la temperatura del combustible y de los gases de escape, el sistema no puede ser autolimitante. La temperatura del combustible debe ser controlada a través de un control preciso del flujo de combustible. Si el sistema de inyección incluye una línea de retorno al tanque de combustible, el flujo de combustible será mucho mayor que el consumo de combustible, y varía mucho dependiendo de la velocidad del motor, carga, temperatura del combustible, el estado del filtro de combustible, etc.

El calentamiento de combustible puede realizarse eléctricamente, o con una combinación de las soluciones descritas anteriormente. Algunas marcas de automóviles utilizan calentadores eléctricos de combustible para motores diesel, y es posible su adaptación a las soluciones existentes, pero muchos de ellos se apagan antes de que el combustible haya alcanzado una temperatura adecuada para el aceite vegetal puro. Por lo tanto, un calentador eléctrico de combustible debe ser bien seleccionado y eventualmente modificado para su uso con aceite vegetal puro. El calentamiento del aceite vegetal con una bujía incandescente puede parecer atractivo, pero hay un alto riesgo de que el aceite se queme debido a la transferencia de calor concentrado de alta potencia en un área muy pequeña. En general, no se recomienda utilizar la calefacción eléctrica como única fuente de calor para el aceite vegetal puro. Sin embargo, su uso complementario sí es posible, siempre y cuando el aceite lubricante o refrigerantes sean la principal fuente de calor.



5.2.2.7 Servicio y mantenimiento

Después de la conversión, el motor en general debe ser reparado y mantenido con los mismos procedimientos tal como si funcionara aun con diesel.

Filtro de combustible

Justo después de la conversión de un motor usado, el filtro de combustible rápidamente puede obstruirse debido a que el aceite vegetal puro puede liberar partículas y generar depósitos en el tanque de combustible, y debido a que la mayor densidad del aceite vegetal puro hace que éste levante y mueva más partículas que el diesel. Si el aceite vegetal puro es muy limpio, los filtros de combustible pueden durar tanto como con el diesel. Sin embargo, un filtro de combustible obstruido es un problema mayor cuando se usa aceite vegetal puro, por lo que es buena idea cambiar el filtro de combustible por lo menos una vez al año, por ejemplo, antes de la temporada de frío.

Aceite lubricante y su filtro

Con respecto al cambio de aceite lubricante y su filtro, se pueden mantener los mismos intervalos de mantenimiento que para el diesel para motores de inyección indirecta. Para los motores de inyección directa se recomienda reducir a la mitad el intervalo de cambio con respecto a su operación con diesel (cambiar el aceite con el doble de frecuencia). Esto se debe a que en motores de inyección directa existe una fuerte tendencia a que el aceite vegetal se diluya con el aceite lubricante, lo que puede propiciar la polimerización (ver figura 5.7). Para evitar que esto suceda, es importante comprobar regularmente el nivel y la consistencia del aceite en el motor. Si el nivel se ha incrementado, es una clara indicación de que el aceite lubricante se ha diluido con el aceite vegetal puro; en ese caso, el aceite debe ser cambiado y la razón del aumento del nivel debe ser encontrada. Las razones podrían ser, ya sea muchos arranques con aceite vegetal, la operación de carga es muy baja, la combustión ineficiente debido a la baja temperatura del motor, ajuste incorrecto, uso de aceite vegetal puro de mala calidad o un inyector defectuoso. En algunos motores, la bomba de inyección se adjunta a la máquina de una manera que el combustible podría drenar a través de fugas por una junta defectuosa y contaminar el aceite lubricante.

Si el motor consume un poco de aceite lubricante, es posible que la concentración de aceite vegetal puro en el aceite de lubricante se incrementa, sin que el nivel de aceite aumenta. Por esta razón es importante comprobar regularmente la consistencia del aceite lubricante al chequear el nivel de aceite del motor en frío. Si el aceite de repente parece más viscoso y pegajoso, es una señal de inicio de una polimerización, en ese caso, el aceite y el filtro debe ser cambiado inmediatamente, una vez calentado el motor.

Inyectores

Al utilizar aceite vegetal puro de buena calidad, los inyectores permanecerán limpios al



menos tanto tiempo como cuando se utiliza diesel, por ejemplo, 150 000 a 200 000 kilómetros, o una cantidad correspondiente a horas de funcionamiento, por ejemplo, 3500 a 5000 horas.

Bujías incandescentes

Las bujías incandescentes en un sistema de tanque único normalmente durarán menos porque se usan más. Normalmente para un automóvil, unas bujías de incandescencia buenas duran de 2 a 4 años. Para un sistema de doble tanque, al desgaste de las bujías de incandescencia no cambia.

5.2.2.8 Componentes externos conectados al motor

El motor puede ser equipado con diferentes dispositivos externos necesarios para su funcionamiento con aceite vegetal puro. Equipos típicos como cargadores turbo y convertidores catalíticos se adjuntan a la red de gas de escape. La adecuación para la operación con aceite vegetal puro es relevante para el correcto funcionamiento de los componentes, igual que del motor, así alargando su vida útil.

Recirculación de gases de escape

Muchos motores modernos están equipados con un sistema EGR (recirculación de gases de escape), mediante el cual se lleva una parte del gas de escape a la válvula de entrada del colector cuando el motor está a media carga, con el fin de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno. Durante el ralentí y cuando el motor esté a plena carga, la válvula debe permanecer cerrada. La válvula de control del EGR tiene tendencia a obstruirse con depósitos, después de años de operación. A veces, la válvula se mantiene abierta de manera permanente permitiendo que el gas de escape pase cuando el motor esté a plena carga, lo que empeorará el problema de obstrucción por depósitos y provocará la emisión de humo debido a la falta de oxígeno. Por lo tanto, es importante observar si la válvula EGR está funcionando correctamente, de lo contrario, se debe repararla y limpiar los depósitos tanto en la válvula como en la entrada de la misma.

Turbo

Normalmente no hay problema especial para que funcione un motor turbo con aceite vegetal puro. Sin embargo, un cargador turbo puede ser un punto débil si el motor está funcionando con combustión incompleta y, sobre todo si el aceite lubricante se espesa debido a la polimerización.

Catalizador

Un catalizador de gases de escape funciona bien con el escape del aceite vegetal puro y ayuda a reducir el olor del aceite vegetal puro no quemado. La formación de altas



cantidades de componentes de ceniza en el combustible (P, S, Ca, Mg) puede inhibir la función de catalizador. En general, la aplicación del aceite vegetal puro en motores con filtros de partículas todavía no se recomienda debido a que los filtros de partículas son muy sensibles a la ceniza, y debido a las dificultades del proceso de regeneración.

5.2.2.9 Emisiones

Al convertir un motor en buenas condiciones y utilizarlo con aceite vegetal puro de buena calidad que cumpla con los límites de calidad del combustible, las emisiones del motor estarán en el mismo nivel que al utilizar diesel de buena calidad, o incluso mejor.

Por supuesto, la reducción de CO₂ mediante el uso de biocombustibles como sustituto de los combustibles fósiles es la ventaja más importante, pero la emisión de CO, HC y sustancias particulares (SP) también pueden reducirse. Las emisiones relacionadas con azufre (SO₂ y SP) se reducen debido al bajo contenido de azufre que tiene el aceite vegetal puro de forma natural. Las emisiones de NO_x no están directamente relacionadas con la naturaleza del combustible, sino que se generan por el exceso natural de aire de combustión (con O₂) en un motor diesel caliente, por lo que la emisión de NO_x puede aumentar o disminuir un poco. Si el motor se ajusta para una inyección temprana, la temperatura de combustión y emisiones de NO_x pueden aumentar, pero por otro lado las emisiones de SP y el consumo de combustible se reducirán, debido a una combustión más eficiente.

El contenido natural de oxígeno (O₂) en el aceite vegetal puro mejora la eficiencia de la combustión y reduce la cantidad de humo negro, por lo general, un motor que funciona con aceite vegetal puro no emite humo negro. Es normal que un motor de inyección directa emita humo después del arranque en frío, pero un motor que funcione con aceite vegetal puro no debe emitir humo visible; si lo hace, puede ser una señal de una combustión incompleta, y las causas probables del problema deben ser investigadas y hasta que sean resueltas, es mejor hacer funcionar el motor con diesel.



5.2.2.10 Ejemplos de motores convertidos



Figura 5.11 Bomba de riego Lombardini 15 LD 440, (1 cilindro 442ccm, 10.5 HP) con motor de inyección directa refrigerado con arranque manual. Convertido a un sistema sencillo de 2 tanques. Honduras, Octubre de 2008 (Proyecto Gota Verde).

Materiales utilizados: 2 metros de manguera de hule Ø8mm, válvulas de bola de 2 ¼ pulgadas, accesorios y abrazaderas de manguera. El costo total de materiales es de alrededor de 20 euros.

El calentamiento de combustible es realizado por el circuito de retorno de combustible a un tiempo pasa por todo el cilindro caliente y da vuelta por la bomba de elevación. Después de un paso por el circuito, el combustible se calienta un poco, y después de unos minutos de funcionamiento del motor, la temperatura del combustible alcanza unos 60 °C.



Figura 5.12 Toyota Hilux 2.8 D (3L). Motor de inyección indirecta. Convertido por un sistema de tanque único Elsbett. Honduras, Octubre de 2008 (Proyecto Gota Verde).



Material utilizado: Kit de tanque único Elsbett para este motor específico, incluida la garantía y todos los materiales necesarios para la conversión. Precio 790 euros. Se estima que el precio de un kit de conversiones similares fabricada a nivel local, costaría alrededor de 300 euros, excluyendo las ganancias y las asignaciones para el desarrollo, prueba, documentación, garantía, etc.

Una observación sobre los precios: los precios varían mucho dependiendo del motor a convertir, la calidad del sistema de conversión, los deseos del usuario, y cómo y dónde se compran los componentes para la conversión.

5.2.3 Materia prima para la producción de jabón

Autor: Titus Galema

En varios países de África, el jabón se hace a nivel comunitario y, a veces a una escala industrial pequeña, como en Tanzania (Reinhard Henning, *Jatropha curcas* L. en África, Bagani). El proceso de fabricación de jabón es relativamente fácil, y requiere como ingredientes sólo un poco de sosa cáustica y agua. Si se desea, se pueden añadir colorantes y perfumes, lo que hace el jabón más atractivo para su uso doméstico. El jabón se hace a menudo en moldes simples (por ejemplo, de botellas de plástico) y después de endurecido, se corta en trozos adecuados. El jabón puede ser vendido a un buen precio, lo que hace rentable su fabricación como negocio a pequeña escala. El jabón se utiliza principalmente para lavar las manos. Debido a sus propiedades medicinales atribuidas, en Tanzania, el jabón de *Jatropha* puede venderse a buen precio (R Henning).

En general, para la fabricación de jabón se disuelve la soda cáustica en el agua (aproximadamente 150 gramos de soda cáustica en 0.35 litro de agua) y luego se mezcla aceite (1 litro) con un solvente y se deja endurecer toda la noche. Agregar menos agua da un jabón más duro, agregando más agua requiere la adición de harina o almidón para obtener una consistencia lo suficientemente sólida. Dos métodos para producir jabón se detallan en el apéndice del capítulo 5.

Se debe tener cuidado al manipular la soda cáustica, ya que tanto el hidróxido de sodio (NaOH) como el hidróxido de potasio (KOH), son sustancias agresivas⁶.

⁶ Apéndice del capítulo 5: Hoja de seguridad del hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH)

5.2.4 Materia prima para la producción de biodiesel

Autor: Thijs Adriaans

En lugar de adaptar el motor para funcionar con aceite vegetal puro, el aceite también puede ser tratado químicamente para producir biodiesel. Las propiedades del biodiesel son muy similares a las del combustible fósil (diesel), y por lo tanto puede ser utilizado en cualquier motor diesel sin adaptaciones. El biodiesel limpio, bien producido y refinado es al menos tan buen combustible de motor como el diesel. Incluso da una mejor ignición y combustión y emite menos componentes nocivos como el humo y azufre. Las desventajas son su contenido energético ligeramente inferior, dando lugar a un aumento en el consumo de combustible de cerca de 2-10%, y el hecho de que puede funcionar como un solvente. El biodiesel tiende a limpiar el sistema de combustible, removiendo la suciedad que se acumuló durante el uso anterior de diesel, por lo que puede causar un bloqueo del filtro de combustible poco después del cambio de uso de combustible. Además, su naturaleza disolvente puede afectar la integridad de las líneas de combustible y juntas del sistema de combustible, de acuerdo con su material.

5.2.4.1 Algo de química

La producción de biodiesel es esencialmente un proceso químico simple. Las moléculas de aceite vegetal (triglicéridos) se cortan en pedazos los cuales se conectan a moléculas de alcohol (metanol o etanol) para formar ésteres de metilo o etilo. Como un subproducto se forma glicerina. Esquemáticamente la reacción se representa en el siguiente gráfico:

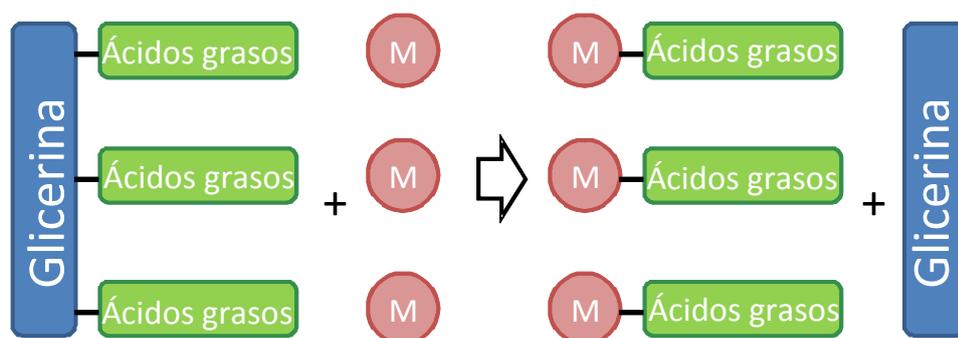


Figura 6 - Esquema del proceso de producción de biodiesel.

A la izquierda se encuentra una molécula de aceite vegetal puro (triglicéridos). Se agregan tres moléculas de metanol (M). La molécula de triglicéridos se divide en sus tres ácidos grasos los cuales se combinan con el metanol para formar ésteres metílicos. La glicerina combinada con la lejía o de potasio de ácidos grasos libres (jabón) queda como un sub producto. Las moléculas de biodiesel son más pequeñas que los triglicéridos mostradas al lado izquierdo en el esquema. Esto explica sus propiedades más favorables como



combustible. El catalizador necesario no se muestra en la imagen, tal y como aparece sin cambios en ambos lados. Una excelente y más extensa descripción se encuentra en el siguiente enlace: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>.

5.2.4.2 Tipo de alcohol

El tipo de alcohol utilizado para la reacción suele ser metanol, obtenido a partir de gas natural. En teoría, cualquier tipo de alcohol podría ser utilizado. La ventaja de utilizar etanol es que puede ser producido fácilmente a través de un proceso biológico, por ejemplo, mediante la fermentación. Sin embargo, el uso de etanol tiene cuatro inconvenientes:

1. **Costos.** El etanol de suficiente calidad es más caro que el metanol.
2. **Procesamiento.** El proceso de esterificación con etanol es más complicado y menos directo que con el metanol. Uno de los problemas es que el etanol debe estar libre de agua (anhidro), lo cual no se logra fácilmente en un entorno no industrial. En el sitio web de “Journey to Forever” se encuentran documentos que explican el porqué la producción de éster etílico puede ser un inconveniente.
3. **Propiedades.** Las propiedades de los ésteres metílicos son más favorables que las de los ésteres de etilo. Especialmente en cuanto a las calidades importantes en climas fríos en clima frío, por ejemplo las propiedades CFPP y la viscosidad, los ésteres de etilo están en desventaja. Aunque estos no son de gran importancia en los climas tropicales, es aconsejable convertir los motores para que funcionen con aceite vegetal en lugar de pasar por la molestia de producir éster etílico ya que su ganancia en cuanto a propiedades es marginal.
4. **Energía.** Para que la reacción tenga lugar, la mezcla debe calentarse a una temperatura cercana al punto de ebullición del alcohol. Cuanto más pesada sea la molécula de alcohol (debido a los átomos de carbono) más alta será la cantidad de energía necesaria debido a un punto más alto de ebullición.

Por estas razones, sólo se considera el uso de metanol en lo que sigue.

5.2.4.3 Preparación de la materia prima: aceite vegetal puro

El aceite vegetal puro puede ser producido a partir de varios recursos, pero la obtención del aceite vegetal fresco y limpio es la materia prima más sencilla y directa. Sin embargo, hay tres tipos de propiedades que pueden causar problemas: la composición, las impurezas químicas y las impurezas físicas.

Las impurezas físicas (partículas, sedimentos) son más fáciles de retirar en un principio. Éstas pueden ser lodos/ residuo del prensado de semillas oleaginosas en el aceite fresco, y partículas de arena o tierra. Aunque el aceite se puede filtrar mediante el uso de tela, la



opción preferida es dejarlo reposar durante algunas semanas para que se sedimente, luego el aceite se decanta del lodo; tanto el lodo como el agua se eliminan de esta manera. El agua es lo suficientemente limpia para hacer el biodiesel, solo si se mantiene clara, aun después de agitarla.

Las impurezas químicas no tienen por qué ser un problema. Si el aceite fue extraído a través del prensado de semillas oleaginosas frescas como las de jatropha o canola de acuerdo con las directrices en el capítulo 4 de este libro, el aceite debe ser de fácil aplicación como materia prima. En el caso del aceite de girasol sin refinar, éste debe desparafinarse. Si el aceite fresco se ha dejado en reposo en condiciones desfavorables, es conveniente comprobar el contenido de agua y, eventualmente su acidez (ácidos grasos libres). Véase el apéndice para el contenido de agua y pruebas de acidez.

Por último, la composición de los aceites y grasas es importante (para obtener más información sobre el contenido véase los cuadros en el apéndice). Esto se refiere principalmente a la temperatura por debajo del cual el aceite empieza a ser espeso o incluso en estado de gel o se solidifique.

El aceite fresco de jatropha, soya, girasol o canola permanecerán de color claro y en estado líquido hasta en temperaturas alrededor del punto de congelación (0 °C) o mucho más bajas. El aceite de palma, de coco y las grasas animales generalmente se solidifican en temperatura ambiente. Esto plantea problemas para su uso directo en motores, pero también tiene consecuencias para su uso en la producción de biodiesel. El biodiesel tendrá el mismo comportamiento que el aceite, pero a temperaturas más bajas.

El biodiesel producido a partir de ciertas materias primas por lo general es adecuado solamente durante el verano ya que el combustible puede convertirse en gel en condiciones invernales. Dado que esta propiedad no se puede cambiar sin grandes esfuerzos, se debe tener cuidado al elegir la materia prima adecuada. Lo mismo cabe para el caso de uso de aceite de cocina usado, dependerá del uso que originalmente se dio al aceite.

El almacenamiento de muestras del aceite usado a considerar en un refrigerador o congelador durante al menos varios días, puede dar alguna información sobre el comportamiento de este aceite en temperaturas frías. Si el aceite usado es una mezcla, puede consolidarse en parte. Si es así, se puede permitir que esto suceda durante una semana y luego decantar el aceite líquido de la parte superior. Este puede ser usado después de probar su comportamiento en frío.

5.2.4.4 Receta para la producción de biodiesel

En general, esta receta puede seguirse para producir biodiesel a partir de aceite vegetal puro fresco y metanol en un ambiente catalizado. La receta presentada a continuación es un resumen que brinda una pauta muy general. Muchos consejos, trucos y recomendaciones



de seguridad se han dejado fuera con el fin de que la explicación no sea muy extensa. Es bueno leer más sobre este tema antes de comenzar. Si usted prefiere trabajar con aceite de cocina usado, etanol u otro catalizador, existen muchos sitios de Internet que pueden proporcionar ayuda para adaptar la receta. Tenga en cuenta que el metanol y la lejía son productos químicos peligrosos. Asegúrese de saber lo que está haciendo, se debe trabajar en un área bien ventilada y usar ropa y equipo (gafas) protector.

Materiales requeridos

Los recursos que se requieren son los siguientes (todas las cantidades son para un litro de aceite vegetal puro): 1 litro de aceite vegetal puro, entre más fresco mejor, al menos 3.5 gramos de lejía (soda cáustica, NaOH > 95%); al menos 220 mililitros de metanol (> 99%). Es posible utilizar KOH (> 85%) en vez de NaOH, si es así, utilizar al menos, 5 gramos.

Descripción del proceso

Primero se disuelve la soda en el metanol. Se remueve hasta que la soda se ha disuelto lo que puede tomar unos 10 minutos. Es normal que la temperatura aumente. Esta mezcla se denomina metóxido de sodio. Luego, se coloca aceite vegetal puro en un recipiente lo suficientemente grande (por lo menos 150% de su volumen), de preferencia con una válvula en la parte inferior, y se calienta a unos 60 °C. Se agrega la mezcla de metóxido y se mezcla por lo menos por 10 minutos. Se deja reposar de manera que los diferentes componentes se separen por sedimentación. La glicerina se asentará en el fondo. Después de 8 a 24 horas, se completa la sedimentación y la glicerina puede removerse. Se aconseja no tratar de acelerar el proceso disminuyendo los tiempos de asentamiento. Lo que queda es biodiesel crudo. Si su lavado con agua se considera difícil, el biodiesel puede ser utilizado directamente, aunque su calidad puede ser inferior a causa de la presencia de impurezas. En este caso, se deja asentar por al menos una semana más para eliminar la mayoría de los jabones.

El silicato de magnesio (tierra blanqueadora)

El silicato de magnesio se utiliza en el proceso de purificación del biodiesel. Se utiliza para sedimentar las impurezas y permite luego su filtración. El silicato de magnesio asentado debe ser tratado como un residuo químico.

5.2.4.5 Refinado del biodiesel

Si el biodiesel producido no tiene un color claro, se eliminará la mayoría de estas impurezas mediante el lavado con agua o lavado de burbujas. El lavado de burbujas requiere menos agua, pero necesita aire comprimido y mucho más tiempo.

El lavado con agua se puede hacer una o más veces. La primera vez es mejor añadir una pequeña cantidad de ácido acético (vinagre) antes de añadir el agua. El ácido acético hace



que el pH de la solución sea lo más cercano a neutro, ya que neutraliza y elimina las gotas de lejía suspendidas en el biodiesel. Se añade el biodiesel en la parte superior de una capa de agua y se remueve lentamente. Se deja reposar durante al menos un día y luego se separan las capas ya sea por el drenaje del agua de la parte inferior o por el vertido cuidadoso del biodiesel.

El lavado de burbujas se hace con burbujas formadas con aire comprimido a través del uso de un difusor de aire, por ejemplo, los vendidos en una tienda de acuarios. Se añade aproximadamente 30 mililitros de vinagre (ácido acético) por cada 100 litros de biodiesel y un 50% de agua. Luego se enciende la bomba de aire. Las burbujas de aire suben a través del biodiesel, acarreando una película de agua que lava el biodiesel al pasa a través de él. En la superficie, la burbuja estalla, dejando una pequeña gota de agua que se hunde hacia abajo a través del biodiesel, lavándolo de nuevo. Si la mezcla está aún turbia después de un par de horas, se añade un poco más de vinagre. El lavado de burbuja toma de 12 hasta 24 horas, luego se escurre el agua de lavado, retirando la cera acumulada en la superficie. Se repita el lavado de burbujas dos veces más, manteniendo el agua de la segunda y tercera lavada para el lavado del siguiente lote. En el caso de formaciones severas de jabón, primero se calienta el biodiesel mezclado con jabón a 50 °C. Se añade vinagre suficiente para llevar el pH a ligeramente por debajo de 7. Luego se agita durante media hora, se deja enfriar y luego se sigue con el lavado de burbujas como de costumbre.

5.2.4.6 Biodiesel por productos

El principal subproducto del proceso de producción de biodiesel es la glicerina. Otros subproductos de la reacción y el proceso de purificación de biodiesel son el agua con residuos de jabón, silicato de magnesio con residuos de jabón, el metanol o etanol recuperado y los ácidos grasos libres. En los siguientes párrafos se presenta una breve descripción de la aplicabilidad de estos subproductos.

5.2.4.6.1 Glicerina

La glicerina es el alcohol de 3 dobles más simple y resulta cuando las moléculas del aceite vegetal se dividen en ácidos grasos y glicerina durante el proceso de producción de biodiesel. Los ácidos grasos reaccionan con el metanol en el biodiesel.

La glicerina es un líquido de alta viscosidad y alta densidad (1,26 kg/l) [11]. Su nombre viene de la palabra griega *glykys* que significa dulce. La cantidad de glicerina que se forma en la reacción depende del nivel de ácidos grasos libres del aceite utilizado, pero puede variar entre un 10% a 30% de la cantidad total del aceite utilizado. El biodiesel flota sobre la glicerina ya que la densidad del biodiesel es menor. La separación de la glicerina del biodiesel se puede hacer fácilmente por el drenaje de la capa inferior de un tanque de decantación después de un tiempo de sedimentación de ocho horas de ocurrida la reacción



del biodiesel. En un proceso continuo, la separación se hace con una centrífuga sobre la base de diferencia de densidad.

La glicerina puede ser usada como fuente para otros productos, incluyendo el jabón, abono orgánico, biogás, combustible y el alcohol reciclado para el proceso de producción de biodiesel (para más detalles, véase el apéndice).

5.2.4.6.2 Agua con residuos de jabón

Si el biodiesel se lava con agua, se disuelve en ella el jabón formado y el metanol residual. Si no existe ningún residuo de metanol en el biodiesel crudo, el agua de lavado puede ser utilizada directamente como agua desengrasante para propósitos internos de la industria. En la práctica, usualmente estará presente el metanol, por lo que primero éste debe eliminarse. Una manera de hacerlo es calentando un tambor abierto el agua de lavado en un área bien ventilada (preferiblemente al aire libre) a unos 50 °C. No inhale los vapores! Una mejor manera es recuperar el metanol para su reutilización ya sea por destilación o apagado.

5.2.4.6.3 Alcohol recuperado (metanol)

El alcohol recuperado puede reutilizarse directamente en el proceso de transesterificación. Se debe asegurar de que no haya agua presente en el alcohol recuperado. Se recomienda mezclar pequeñas cantidades de metanol recuperado con alcohol fresco para garantizar su calidad.

5.2.4.6.4 Ácidos grasos libres (FFA por sus siglas en inglés)

Los ácidos grasos libres residuales normalmente se mezclan con la glicerina y se pueden convertir en jabón (véase el apartado sobre jabón). También pueden ser neutralizados y separados y convertirse en biodiesel a través de un proceso de transesterificación de ácido / base. A menudo, las grandes calderas pueden manejar combustibles con varios porcentos de contenido de ácido, por lo que los ácidos grasos libres se podrían mezclar con aceite vegetal (neutral) y ser quemados para la generación de energía, aunque esto no es una aplicación muy común en países en desarrollo.

5.2.4.7 Observaciones finales

Hacer biodiesel es algo que debe practicarse utilizando diferentes materias primas y bajo distintas circunstancias. Las observaciones y los procedimientos pueden mostrar grandes variaciones. Con más experiencia, se podrá calificar los efectos y agilizar los procesos. Utilice esta sección como una guía y trate de usar literatura complementaria. Por ejemplo, *Journey to Forever* tiene una excelente página web, para obtener información más detallada.

5.3 APLICACIONES DE OTROS PRODUCTOS DE JATROPHA

Autor: Janske van Eijck

Al presionar las semillas oleaginosas, se extraen alrededor de 20% -30% de aceite. El resto queda en el residuo de las semillas prensadas. Este residuo no solo contiene todos los minerales de la semilla (el aceite vegetal puro prácticamente no contiene minerales), sino también tiene una cantidad considerable de energía debido a su contenido de aceite. El contenido energético del residuo del prensado es de 20-25 MJ / kg, el cual es aproximadamente la mitad del contenido en el aceite (40 MJ / kg), pero se ve compensado en el hecho de que se genera de dos a cuatro veces más cantidad de residuo que aceite.

Teóricamente, el mejor uso del residuo del prensado es en primer lugar los usos energéticos y luego como fertilizante. Su digestión para producir biogás deja intacto su valor nutritivo, por otro lado, si se usa como fertilizante se pierde su valor calorífico. Por el contrario, la combustión directa del residuo del prensado, generará energía y la mayoría de los nutrientes permanecerán en las cenizas, pero el nitrógeno se pierde con los gases de combustión. El esquema del proceso que se muestra más adelante, aclara un poco más el proceso.

Los siguientes productos se pueden distinguir: residuo del prensado de semillas, madera de los tallos y hojas.

5.3.1 Madera de los tallos y hojas

Las hojas de *Jatropha* contienen 4.7% de nitrógeno, 0.15% de fósforo, 3.77% de potasio, 0.61% de calcio, 0.49% de magnesio y 0.25% de azufre. También contiene elementos como zinc, boro, cobre, manganeso y sodio. Estos elementos, aunque se encuentran en cantidades pequeñas, son buenos para el crecimiento, producción y la tolerancia a la sequía, como es el caso del potasio. Cuando la planta bota sus hojas, al descomponerse estos minerales se incorporan a la tierra. La madera de *Jatropha* tiene un contenido energético de 15.5 MJ /kg y un contenido de nitrógeno del 3.3%, 0.1% de fósforo, 2.9% de potasio y 0.3% de calcio, además de otros nutrientes que sugieren que puede utilizarse como combustible (leña) en estufas, pero también es útil para aumentar el contenido de nutrientes en el suelo ya sea a través de su descomposición o como cenizas de la combustión [9]. Los tallos contienen una sustancia lechosa que dificulta su combustión inmediata, primero tiene que secarse.

5.3.2 Residuo del prensado de semillas (conocido en inglés como “presscake”)

5.3.2.1 Manipulación

Al almacenar el residuo del prensado de semillas (o “torta”) se deben evitar las siguientes condiciones:

- No conservar en temperatura altas con humedad. El residuo del prensado es propenso a los ataques de hongos.
- El lugar de almacenamiento debe estar por debajo de los 6 °C para condiciones óptimas, sin embargo, esto implica un sistema de refrigeración que para la mayoría de los proyectos será demasiado caro.
- El residuo del prensado debe ser secado para obtener un bajo contenido de humedad (5-7%) y almacenarse en un recipiente hermético o en un lugar seco y fresco.
- Alejar el residuo del prensado de agentes oxidantes y materiales inflamables [15].

5.3.2.2 El residuo del prensado como materia prima para la generación de biogás

La producción de biogás a partir de materia orgánica, como estiércol y desechos agrícolas, es realizada en unidades pequeñas en miles de hogares en países como China, Nepal y Vietnam. El tamaño estándar de las unidades para uso en el hogar es de 6 a 12 m³ por lo que de 4 a 10 vacas producen el estiércol suficiente para su funcionamiento. El biogás producido se utiliza para cocinar e iluminar. Con una producción de mayor tamaño también puede utilizarse para el funcionamiento de motores de gas. El biogás es una mezcla de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en una proporción de 60 – 40%, con un valor calorífico neto de aproximadamente 20 MJ/m³.

El residuo del prensado de las semillas de *Jatropha* se puede mezclar con estiércol de animales, como las vacas o incluso con el de las personas. Los resultados de análisis de laboratorio realizados por FACT han comprobado que cuando se inicia el proceso con fermentación bacteriana se obtiene una producción de biogás bastante buena. Basados en los resultados de estas pruebas se hizo una estimación real de la producciones de la siguiente manera: CH₄ contenido de unos 50-60% y rendimiento de CH₄ unos 0.5-0.6 m³/kg. El valor de calentamiento mínimo (*Lower Heating Value*, LHV, por sus siglas en inglés) entre 18-22 MJ / kg. [16]

Uno de los casos de producción de biogás a escala más grande es Diligent Tanzania, véase el caso más adelante.

El agua es otro insumo y después de la fermentación anaerobia en el digestor, se crean dos productos, el biogás y los lodos. Como con cualquier instalación de biogás, se requiere de una cantidad grande de agua para el proceso de fermentación. Por ejemplo, si se conectan los inodoros al biodigestor se asegura un flujo constante de agua. Si alguna vez el biodigestor se queda sin agua, todas las bacterias mueren y puede tomar hasta un mes poner de nuevo en marcha el sistema. Esto significa que el sistema de biogas tiene que ser supervisado. Cuanto más grande sea el sistema, más fácil será de mantener. Para un digestor con un tamaño de 60m³ por ejemplo, no hay problema si no hay flujo de agua durante un día o dos. Para sistemas más pequeños, el flujo de agua debe ser más constante.

El lodo que queda después de la fermentación del residuo del prensado puede utilizarse como fertilizante. Tiene un contenido más alto de nutrientes que el estiércol y, además, todos los agentes patógenos han sido eliminados durante la fermentación, lo que da un fertilizante natural muy limpio.

Existen diferentes diseños de biodigestores. Los más frecuentemente utilizados son: el biodigestor de domo fijo ("*fixed dome*"), biodigestor de tambor flotante ("*floating dome*") y el digestor de flujo ("*plug flow*") (Kerkhof, 2007). El biodigestor del caso Kerkhof es un domo fijo. No hay requisitos especiales para establecer un sistema de biogás ejecutado con la torta de prensado de *Jatropha*. Sin embargo, existe poca experiencia con sistemas que funcionen únicamente con esta torta.

El biogás no se puede ser almacenado. Esto significa que el usuario final tiene que estar cerca del área donde se ubican los biodigestores. Dependiendo del tamaño del biodigestor (y de la presión bajo la cual el biogas es transportado, de 0.2 bar) la distancia máxima entre el usuario final y el biodigestor debe ser de un kilómetro. Además de la utilización del gas en una cocina, también puede utilizarse un generador eléctrico que funcione con biogas, sin embargo, para esto se requiere un biodigestor de gran tamaño. El biodigestor presentado en el caso (biodigestor de 60 m³ con una producción de 12 m³/día de biogas) podría conducir un motor de 2 kW durante alrededor de 11 horas / día.



Figura 7: Esquema del proceso de un biodigestor de 60 m³, con materias primas combinadas basado en el biodigestor de Diligent (Tanzania).

Caso las instalaciones de biogas de Diligent (Tanzania)

Para un biodigestor de 60m³ alimentada por una combinación de inodoros (8 inodoros para unas 150 personas) y un aporte de 60 kilogramos de torta de Jatropha (como es el caso del biodigestor de Diligent en Arusha, Tanzania) y 1500 litros de agua diarios produce alrededor de 12 m³ de gas por día (que representa alrededor del 20% del tamaño total del biodigestor). Esta cantidad de gas es suficiente para alimentar tres estufas en una cocina que sirve a 250 personas.



(8)



(9)

Figura 8 - Estufa que funciona con biogas en Diligent Tanzania Ltd.

Figura 9 – Biodigestor de 60 m³ de Diligent Tanzania Ltd. (instalado por Camartec, Arusha)

5.3.2.3 Briquetas de residuo de prensado de Jatropha como combustible

5.3.2.3.1 Briquetas de residuo de prensado de Jatropha

El residuo del prensado de semillas (o “torta”) de Jatropha tiene un contenido energético de alrededor de 25 MJ/ kg. Aunque este residuo ya es en sí un producto presionado, su contenido energético por volumen puede ser aumentado de manera considerable al compactar el material para aumentar su densidad. Este proceso de compactación de la biomasa para aumentar su densidad (densificación de la biomasa) se conoce como fabricación de briquetas. Una máquina de baja presión para la fabricación de briquetas funciona de una forma similar a una prensa de tornillo: en ella, la torta es comprimido de nuevo. La fuerza de cohesión entre las partículas del residuo de prensado es pequeña, por lo que debe añadirse un material de fijación durante el proceso de elaboración de briquetas. Esto aumenta la compactación del sistema de baja presión. Un material de fijación adecuado puede ser, por ejemplo el almidón. También la quema ligera de la parte exterior de la briqueta aumenta su fuerza.

La desventaja del uso de briquetas de residuo fresco de prensado de semillas es la emisión de grandes cantidades de humo cuando se queman. Sin embargo, su contenido energético es muy alto.



(10)



(11)



(12)

Figura 10 - Ejemplo de briquetas de residuo de prensado de semillas en Diligent Tanzania Ltd.

Figura 11 - Ejemplo de briquetas de residuo de prensado de semillas en Diligent Tanzania Ltd.

Figura 12 - Máquina eléctrica para la fabricación de briquetas, producida por temdo Tanzania en Diligent Tanzania Ltd.

5.3.2.3.2 Briquetas de carbón vegetal

Una segunda opción es convertir la torta del prensado en carbón vegetal. Esto aumenta el contenido de energía y reduce el peso. El principio de la carbonización es el quemado del residuo del prensado de semillas sin oxígeno. La emisión de humo producto de la quema de estas briquetas de carbón es mucho menor que el emitido por la de briquetas de la torta fresca y se queman con más facilidad. La torta del prensado puede convertirse en carbón vegetal, antes o después de compactarlo y convertirlo en briquetas. La torta convertido en carbón (polvo) puede ser utilizado para hacer briquetas según un proceso similar que el utilizado en la fabricación de briquetas de torta fresca. Una vez más, se requiere de una sustancia fijador. Mediante el uso de un horno o a través de la forma tradicional de fabricación de carbón (cubierto con tierra), las briquetas de torta del prensado pueden transformarse completamente en carbón vegetal. El peso de una briqueta transformada en carbón será de alrededor del 60% de su peso original (briqueta de torta).



(13)



(14)

Figura 13 - Producción de carbón vegetal en TEMDO, Arusha, Tanzania (fotografía: JvE)



Figura 14 - Briquetas de carbón en Diligent Tanzania Ltd (fotografía: JvE)

5.3.2.4 *Torta del prensado como fertilizante*

La torta del prensado de *Jatropha* contiene altas cantidades de nitrógeno (3.8-6.4% en peso), fósforo (0.9-2.8% en peso) y potasio (0.9-1.8% en peso). También contiene pequeñas cantidades de calcio, magnesio, azufre, cinc, hierro, cobre, manganeso y sodio.

Una tonelada de residuo de prensado de semillas de *Jatropha* contiene aproximadamente 51 kilogramos de nitrógeno, 18 kilogramos de fósforo y 13 kilogramos de potasio. Lo cual es equivalente a 153 kilogramos de fertilizante NPK industrial con una relación de composición de 15:15:15, basado en el contenido de nitrógeno en la torta. [9]

Es necesario el compostaje previo de la torta para que pueda utilizarse como fertilizante. Esto se puede hacer dejando la torta durante algún tiempo (unos días) afuera. El uso directo de la torta como fertilizante puede afectar negativamente a las plantas: su alto contenido de aceite disminuye la permeabilidad del suelo.

5.3.2.5 *Insecticida de aceite y / o residuo del prensado de semillas*

El aceite de *Jatropha* también ha demostrado ser un eficaz insecticida. En un estudio realizado en el cual se roció una mezcla de 1.4 litros de aceite de *Jatropha* con 16 litros de agua en un cultivo de algodón, actuó de manera eficiente [10]. Una organización de Tanzania promueve el siguiente proceso para la obtención de un insecticida de semillas de *Jatropha*: moler las semillas de *Jatropha*, remojar en agua durante 24 horas, filtrar para remover las partículas de la mezcla y diluir la mezcla en una proporción de 1:10 con agua.

5.3.3 Lo que no se recomienda

Cuando se compacta la torta de *Jatropha* directamente en briquetas, al quemarlas producen una gran cantidad de humo. Por esta razón no se recomienda su uso en espacios interiores sin ventilación adecuada. Sin embargo, si se utilizan, por ejemplo, en calderas industriales u hornos con chimeneas, el humo no se inhala.

A diferencia de muchas otras semillas oleaginosas, la torta de *Jatropha* no se puede utilizar como alimento animal, ya que es tóxico debido a la presencia de varios componentes (ésteres de forbol, curcinas, inhibidores de la tripsina y otros).

5.4 REFERENCIAS

[1] <http://www.jatropha.de>

- 
- 
- [2] <http://www.jatropha.de/lamps/protzen2.html>
- [3] www.jatropha.de/zimbabwe/binga.htm
- [4] <http://www.fierna.com/English/UB-16.htm>
- [5] www.jatropha.de
- [6] DAJOLKA Automoviles con Aceite Vegetal Puro
http://dajolka.dk/en/our_ppo_cars_overv.htm
- [7] FAIR-CT95-0627 dvanced Combustion Research for Energy from Vegetable Oils (ACREVO)
<http://www.biomatnet.org/secure/Fair/F484.htm>
- [8] Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff Motorenöl und dem en Motoren pflanzenöлтаuglichen
http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/15951/bericht_7.pdf
<http://www.bsh-group.com/index.php?page=109906>
- [9] R.E.E. Jongschaap et al. (2007) Claims and Facts on Jatropha curcas L., Global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme, Plant Research International, Wageningen UR
- [10] Milaflor L. Morales a safe and effective pesticide, Cotton Research and Development Institute, Batac, 2906 Ilocos Norte, Philippines
- [11] Binas 1998, Commissie NVON, tabel 11
- [12] Wikipedia
- [13] Fuente: infopop.biodiesel.cc y <http://www.journeytoforever.org>
- [14] Fuente: <http://www.biofuelreview.com/content/view/1793/>
- [15] Groeneveld et al.
- [16] Adriaans T. et al. Anearobic digestion of jatropha curcas presscake, publicación FACT, enero de 2007.

Literatura utilizada:

- <http://www.journeytoforever.org>
- Manual D23: Construcción, instalación y mantenimiento de una planta de biodiesel pequeña, Gota Verde (2009)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- Begleitforschung von zur Standardización Rapsöl als pflanzenöлтаugliche Kraftstoff für Dieselmotoren en Fahrzeugen und BHKW
- <http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/16411/gelbesheft69.pdf>
- w1.siemens.com/responsibility/en/sustainable/protos.htm



- Henning (2001) - Manual para la *Jatropha curcas* L en Zambia
- Kerkhof, E., (2007) *Jatropha* presscake, waste or valuable? An investigation into possibilities of using *Jatropha* press cake in Tanzania, Eindhoven Technical University

6. IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS

Autor principal: Peter Moers

6.1 INTRODUCCIÓN

Una vez que se ha establecido la viabilidad de un proyecto de *Jatropha*, el proyecto puede realizarse. Esto se puede hacer de muchas maneras e involucra muchas decisiones. El diseñador del proyecto tendrá que tomar decisiones importantes sobre el modelo de propiedad (¿quién será propietario de las plantaciones? ¿y de la planta procesadora?), el modelo de producción (¿cómo será la cadena de producción?) y el modelo de financiamiento (¿cómo son las plantaciones, la planta de procesamiento, etc.? ¿quién financia?). Este capítulo proporciona una visión general de las opciones e indica cuál es la más adecuada, para un determinado contexto. Por último, este capítulo ofrece una idea de los criterios principales que deben tenerse en cuenta si el promotor intenta diseñar un proyecto sostenible de *Jatropha*.

6.2. MODELOS DE PROPIEDAD, PRODUCCIÓN Y FINANCIEROS

Los diseñadores de proyectos de *Jatropha* que se enfocan en la fase de ejecución, tendrán que tomar varias decisiones estratégicas acerca de quién será el dueño de las instalaciones de producción, qué productos incluir en la cadena y cómo financiar los diferentes componentes de la empresa. Estas decisiones determinan en gran medida el impacto social y la sostenibilidad de la cadena de producción a promoverse. Este capítulo tiene por objetivo describir las opciones más importantes, con sus respectivas ventajas y desventajas.

Como se mencionó antes, este manual sólo se centrará en las iniciativas pequeñas y medianas (parcelas pequeñas, hasta de 1000 hectáreas en conjunto), cuyo objetivo principal es mejorar las condiciones de vida de pequeños agricultores y sus familias. Esto excluye a los modelos basados en la compra de grandes extensiones de tierra para los monocultivos de *Jatropha*, en el que el papel de la población local, se reduce a la oferta de mano de obra barata.

6.2.1 Propiedad

La participación de los pequeños productores en la cadena de producción de *Jatropha* varía ampliamente en diferentes proyectos en todo el mundo. En esta sección, la propiedad se define como la participación económica de los pequeños agricultores en las diferentes etapas de la cadena de producción. Las cuestiones de propiedad son de gran importancia, ya que pueden hacer la diferencia entre recibir un precio justo o ser explotados. Pero si las condiciones no son las adecuadas, la propiedad puede conducir también a la corrupción, la ineficiencia y el fracaso empresarial.



Esta primera sección ofrece una visión general de los diferentes modelos de propiedad, cada uno con sus ventajas y desventajas. También se brindan las recomendaciones sobre la elección del modelo más adecuado con base a las oportunidades y limitaciones del contexto local.

6.2.1.1. Modelos de propiedad

Al describir el papel de los pequeños agricultores en la cadena de producción, pueden distinguirse tres modelos de propiedad pura y dos modelos híbridos, con base a dos criterios: la propiedad de plantaciones y la propiedad de la planta de transformación. La siguiente tabla da una visión general de las opciones de propiedad:

Tabla 3 – Resumen de los modelos de propiedad

Modelo	Propiedad de plantaciones		Propiedad de plantas de transformación	
	Agricultores	Empresas de transformación	Agricultores	Terceras partes
Modelos puros:				
A. Mega plantación pura		X		X
C. Productores subcontratados	X			X
E. Productores propietarios de empresa procesadora	X		X	
Modelos Híbridos:				
B. Mega Plantación con productores subcontratados	X	X		X
D. Productores co-propietarios de planta de transformación	X	(X)	X	X

6.2.1.1.1 Modelo de la mega-plantación pura (Modelo A)

En el modelo de la mega-plantación pura, una sola compañía (a menudo extranjera) compra o arrienda grandes extensiones de tierra (a veces miles de hectáreas) y establece las plantaciones de jatropha manejadas directamente por la misma empresa. Este modelo se utiliza especialmente en América Latina, donde el 44% de todas las iniciativas de Jatropha se manejan como grandes plantaciones de un solo propietario [1]. Teniendo en cuenta los altísimos costos de la compra de tierras, la mayoría de los promotores negocian concesiones a largo plazo o acuerdos de alquiler con administradores gubernamentales (locales) o con antiguos propietarios. Como se mencionó anteriormente, este modelo no se tratará más adelante, ya que no involucra a pequeños agricultores independientes.

6.2.1.1.2 Modelo de Productores subcontratados (Modelo C)

En el modelo de productores subcontratados, una empresa privada (nacional o extranjera) que se dedica a la transformación y la comercialización de biocombustibles, firma contratos con agricultores para el suministro de semillas de *Jatropha*. En general, la empresa prefinancia parte de la inversión en las plantaciones de los productores subcontratados, esperando a cambio el derecho exclusivo de comprar sus semillas. Algunas empresas de transformación crean fondos para proyectos sociales en las comunidades de sus productores.

La empresa procesadora no es necesariamente una empresa externa o de capital intensivo. Un ejemplo de un modelo de productores subcontratados que abastecen a una empresa procesadora comunitaria, son las plataformas multifuncionales (MFP) en África Occidental. Las plataformas son generalmente propiedad de y operadas por un grupo empresarial local (a menudo mujeres). Los agricultores llevan sus propios frutos de *Jatropha* a la prensa de la plataforma, pagan por el servicio, pero siguen siendo dueños del aceite y del residuo del prensado. La empresa de transformación puede pero no siempre está involucrado en la comercialización del aceite o del residuo del prensado. De esta manera, se presta un servicio a la comunidad y se crean empleos e ingresos locales. Estas plataformas también pueden coexistir con una instalación central de procesamiento, en el que las plataformas juegan el papel de centros de recolección locales. Al referirse a la sostenibilidad de estas plataformas, no se puede desestimar la importancia de la capacidad organizativa y las capacidades técnicas a nivel de la comunidad. Más información sobre las plataformas multi-funcionales de energía se puede encontrar en: <http://www.mfrfp.com>.

6.2.1.1.3 Productores propietarios de la planta procesadora (Modelo E)

En este modelo, que muy raras veces se encuentra, los agricultores productores de *Jatropha* son los propietarios del 100% de la producción y de la comercialización. Esto puede ser a través de una cooperativa (en la que el "excedente" se distribuye de acuerdo a la producción suministrada por cada miembro) o como una empresa privada (en el que los beneficios se distribuyen de acuerdo al valor de las acciones poseídas por cada propietario). Esta última es especialmente apropiada en los países donde el término «cooperativa» tiene una connotación de corrupción e ineficiencia. Para evitar el predominio de uno o más de los grandes agricultores en la empresa privada, BYSA en Honduras ha optado por incluir en sus estatutos un artículo que hace imposible que una sola persona posea más del 5% de todas las acciones.

La razón principal de que relativamente pocos productores de *Jatropha*, posean empresas de transformación, es la falta de confianza de los inversionistas (inclusive los bancos) en estas clase de empresas. Se espera que en el futuro próximo, cuando más evidencia de



campo es disponible sobre los rendimientos del cultivo, que más empresas con miembros de base (tales como cooperativas) invertirán en empresas de *Jatropha*.

6.2.1.1.4 Plantaciones y productores⁷ (Modelo B)

Una plantación central, y simultáneamente pequeños agricultores externos, es un modelo intermedio entre el modelo A (mega-plantación pura) y el modelo C (sólo productores subcontratados). Es el modelo más común en todo el mundo. Según una encuesta realizada en el 2008 por GEXSI en 240 proyectos de *Jatropha* en 55 países, dos tercios de todos los proyectos, tienen una participación de pequeños agricultores, sobre todo en combinación con una gran plantación manejada por los mismos promotores.

La popularidad de este modelo se debe a su combinación de bajo costo y menor riesgo. Trabajando con los productores se reducen los costos iniciales de manera significativa (no requiere la compra de tierras). Por otra parte, depender completamente de pequeños agricultores es considerado un alto riesgo por los inversionistas externos, debido a la falta de control de la materia prima. La combinación de la operación de una plantación propia para garantizar un mínimo de materia prima, y la contratación de productores para aumentar la tasa de ocupación de los equipos de proceso, es considerado por muchos inversores externos como una combinación atractiva.

6.2.1.1.5 Participación de los agricultores en plantas de transformación (Modelo D)

Las iniciativas de *Jatropha* en las que los agricultores son copropietarios de la empresa de transformación son raras, pero existen. Un ejemplo es la empresa BYSA en Honduras [2], que se establece como una empresa privada con 49% de las acciones propiedad de los agricultores productores de *Jatropha* y las acciones restantes por una organización no gubernamental de desarrollo local [3] que poco a poco venderá las acciones a los agricultores cuando la empresa crezca (transición al modelo E.). BYSA es, según el estudio realizado por GEXSI, la única iniciativa de este tipo en América Latina que no sigue el modelo A o B [4]. Otro ejemplo es BioCarburant en Malí, en la que el 20% es propiedad de una asociación de agricultores [5]. Con el fin de facilitar la compra de acciones por parte de los agricultores más pobres, una parte del pago de las semillas a los agricultores podría ser en forma de acciones.

6.2.1.2 Modelos Adecuados de Propiedad

Como se explica en las secciones anteriores, la participación económica (en términos de propiedad) de los agricultores de *Jatropha* en la cadena de producción de biocombustibles es la más baja en un modelo A, y la más alta en el modelo E. Si bien el modelo E puede ser

⁷ "Productores" son definidos en este documento como productores agrícolas independientes, casi siempre pequeños, que proveen semillas de *Jatropha* a una instalación de procesamiento externa, en la mayoría de los casos bajo una modalidad de contrato.

el mejor desde el punto de vista social (máxima distribución de valor añadido entre el grupo objetivo final, los productores agrícolas), la sostenibilidad puede verse afectada si no existe suficiente capacidad local en las principales áreas técnicas y gerenciales.

La siguiente tabla da una visión general de los principales factores que influyen en la elección del modelo de propiedad. Obviamente, estos factores son indicadores de contexto y no condiciones absolutas. Se hace una distinción entre los modelos de propiedad más centralizada (A, B, C) y los modelos con mayor participación de los pequeños agricultores (modelo D y E).

Tabla 4 – Resumen de los principales factores que determinan la elección del modelo de propiedad.

Factor	Favorece modelo A-B-C	Favorece modelo D-E
Capacidad local de manejo	Deficiente	Bueno
Capacidad técnica local	Deficiente	Bueno
Mercado	Principalmente extranjero	Local
Distribución de tierras	Desigual	Igual
Experiencias previas con empresas de agricultores (por ejemplo cooperativas)	Malas	Buenas
Capital de inversión local	No disponible	Disponible
Subvenciones para capacitación de pequeños agricultores y empresas de transformación	No disponible	Disponible

6.2.1.2.1 Modelos de propiedad B y C

Es evidente que los modelos B y C tienden a ser las opciones con menor riesgo en un contexto de bajas capacidades técnicas, de gestión, organización y de comercialización (todas características típicas de un contexto en zonas en desarrollo). La participación de una parte comercial con buena reputación que tenga estas cualidades puede compensar las deficiencias de las capacidades a nivel local. La participación en los modelos B y C de organismos sin fines de lucro⁸ y de capital de riesgo social⁹, con una visión clara y genuina de alivio de la pobreza, puede aumentar las posibilidades de un impacto social positivo.

En el caso de iniciativas de *Jatropha* financiadas a partir de fuentes (semi) comerciales, los modelos B y C son probablemente las opciones de arranque más aceptables para todas las partes involucradas, sobre todo en regiones con débiles capacidades, tales como África Subsahariana. El reto de los modelos B y C es el de garantizar condiciones justas para los

⁸ La participación de ONGs de desarrollo en proyectos de *Jatropha* con participación de pequeños agricultores es muy común: DED, GTZ (ambas alemanas), SNV, HIVOS, FACT, KIT, STRO (todos los Países Bajos) son sólo algunas de las muchas organizaciones sin fines de lucro activas en este campo.

⁹ El capital de riesgo social es una forma de inversión de capital de riesgo que proporciona capital a las empresas consideradas socialmente y ambientalmente responsable. Estas inversiones están destinadas a proporcionar tanto una rentabilidad atractiva para los inversores, como dar soluciones de mercado a las cuestiones sociales y ambientales



pequeños agricultores. SNV está promueve activamente el concepto de “Negocios Inclusivos”¹⁰ en América Latina, África y Asia, y puede ser una contraparte interesante para garantizar la distribución justa de los beneficios entre los inversionistas y los pequeños agricultores.

En un contexto con capacidades locales deficientes, FACT considera los modelos B y C, como modelos de transición aceptables para cubrir el período de transición en el que las capacidades locales se construyen o refuerzan como una condición necesaria para crear una empresa de transformación viable. Sin embargo, FACT recomienda en el largo plazo trabajar con modelos de propiedad que integren a pequeños agricultores, no sólo como proveedores, sino también como accionistas en la empresa procesadora.

La transición de agricultores de los modelos B o C a un modelo D o E, puede ocurrir naturalmente, una vez que las capacidades locales han sido desarrolladas suficientemente. Los agricultores pueden identificar oportunidades de transformación (de forma independiente de la empresa de transformación central), aumentando así sus ingresos. Es importante asegurar que los productores no estén atados a contratos estranguladores con el promotor (empresa de transformación central), manteniendo una relación de dependencia y explotación. Las condiciones de explotación en los contratos se refieren principalmente a la duración (por ejemplo, de 30 años de derecho de compra en forma exclusiva) y el precio (fijado arbitrariamente y exclusivamente por el promotor). Estas condiciones hacen que los agricultores difícilmente organizan su propia empresa con el fin de aumentar sus ganancias.

6.2.1.2.2 Modelos de propiedad D y E

En un contexto más desarrollada, donde las capacidades locales básicas de comercialización, tecnológicas, gerenciales y de organización están disponibles, los modelos de propiedad (D y E) suelen ser más apropiados ya que ofrecen mayores garantías de una distribución justa de los beneficios generados en la cadena de producción.

Alternativamente, en el caso de que este contexto no exista, pero se tiene acceso a ayudas, especialmente para la creación de capacidad tanto para la empresa (personal técnico y administrativo) como para los agricultores, se puede optar por el modelo D o (en caso de existir una fuerte organización propiedad de los agricultores) por el modelo E. En este caso, es importante garantizar que el proyecto tiene una duración suficiente para alcanzar el punto de equilibrio de la empresa de transformación (por lo menos 5 años).

6.2.2 Modelos de producción: la Cadena de Valor de la Jatropha

¹⁰ Para obtener más información sobre el enfoque de negocios inclusivos o Inclusive Business de SNV, véase, por ejemplo <http://www.inclusivebusiness.org/>



En ausencia de economías de gran escala, las pequeñas iniciativas de biocombustibles se enfrentan al reto de aprovechar al máximo todos los subproductos generados en su cadena de producción. Las diferentes opciones de producción se revisan en las secciones siguientes, empezando por la parte más básica de la cadena (producción de aceite de *Jatropha* y torta del prensado), seguido por un panorama de la cadena de producción extendida, que incluye una gran variedad de productos intermedios y finales (incluyendo el biogás, jabón, electricidad, biodiesel, aceites comestibles, entre otros). En cada sección se determinan las condiciones mínimas para la viabilidad de cada extensión de la cadena.

6.2.2.1 Cadena básica de producción de biocombustible de *Jatropha*

La cadena básica de producción de *Jatropha* tiene dos productos finales: el aceite y la torta del prensado.



Figura 12 – Cadena de producción de biocombustible de *Jatropha*.

6.2.2.1.1 Productos principales de la cadena básica del biocombustible

Aceite de *Jatropha* Puro



En la cadena más básica de producción, el Aceite de *Jatropha* Puro (JPO, por sus siglas en inglés) puede ser utilizado en una mezcla con combustible diesel fósil en motores diesel estacionarios convencionales (sin adaptaciones) (véase el capítulo 5.2.2). Otras aplicaciones de baja tecnología del aceite de *jatropha* puro incluyen la producción de jabón artesanal y su uso como un sustituto del queroseno en lámparas de aceite (como en el proyecto FACT, en Mozambique). En un contexto de baja tecnología, el 100% de aceite de *jatropha* puro puede utilizarse en motores diesel adaptados. Véase el capítulo 5.2.2 para mayor información sobre detalles técnicos.

Torta del prensado



Aunque desde el punto de vista del balance de nutrientes sea óptimo reintegrar la torta del prensado a los campos de cultivo de *Jatropha*, desde el punto de vista empresarial, pueden haber opciones más rentables. No hay (o no hay todavía) un precio preferencial para el aceite de *Jatropha* producido orgánicamente¹¹, mientras que sí existen sobrepuestos significativos para otros cultivos orgánicos certificados, tales como el café. La venta de la torta del prensado a productores orgánicos certificados (que pueden existir entre los mismos agricultores de *Jatropha*) puede estudiarse como una opción.

Es poco probable que la producción de biodiesel a una escala pequeña (menos de algunos cientos de litros por día) se convierta en una actividad factible de agregarse a la cadena básica. Para que sea rentable, los precios del diesel deben ser muy altos o deben existir fuentes de materia prima baratas y abundantes (por ejemplo, aceite vegetal usado) y debe existir un mercado para el fertilizante orgánico.

6.2.2.1.2 Principales factores que determinan la viabilidad de la cadena básica de los biocombustibles

La viabilidad económica y técnica de la cadena básica de *Jatropha* depende principalmente de tres factores:

- (a) Altos precios de los productos que compiten en el mismo mercado (Diesel / queroseno);
- (b) La presencia de un gran consumidor de combustible¹² o muchos pequeños¹³;
- (c) Acceso a un mercado preferencial de fertilizantes orgánicos.

Al menos dos de estas tres condiciones deben existir para que la cadena básica de biocombustibles sea viable. En zonas aisladas, donde el suministro de diesel no es posible o muy caro, la cadena básica puede ser rentable, incluso a pequeña escala [6]. El aceite de *jatropha* puro puede utilizarse en motores diesel que accionan generadores de electricidad, bombas de agua o equipos agroindustriales (como los molinos de granos). La ventaja es que con inversiones relativamente modestas, un impacto significativo puede lograrse. Las

¹¹ Las excepciones siempre confirman la regla: por ejemplo, En Diligent Tanzania el Aceite de *Jatropha* Puro se vende a un precio superior a las empresas de safari de Tanzania para conducir sus vehículos modificados. El uso de este biocombustible contribuye a que la imagen de las compañías de safari sea la de una empresa “verde” y socialmente responsable.

¹² Un ejemplo de un gran consumidor son los motores diesel estacionarios para la generación de electricidad que puede adaptarse (o usar una mezcla de diesel con aceite vegetal puro, véase el proyecto de demostración de FACT en Garalo, Malí).

¹³ Un ejemplo de muchos pequeños consumidores es el uso de aceite puro de *Jatropha* en lámparas de aceite. El diseño funcional más sencillo es el de la lámpara Binga. Esto fue demostrado durante el taller de FACT organizado en noviembre de 2008 en Chimoio, Mozambique, por Chrispen Zana de la GTZ-AMES. Véase: <http://www.jatropha.org/lamps/princ-burning.htm> para una descripción del funcionamiento de la lámpara.



pequeñas islas o zonas muy aisladas a las que no se puede llegar por carretera y con un tamaño de población razonable, pueden cumplir con estas condiciones.

Las zonas con suficiente acceso a diesel a precios normales, no gozan de la protección natural de una zona aislada. Por lo que se recomienda buscar otras maneras de sacar provecho de todos los productos y subproductos de la cadena de producción, de la infraestructura establecida y de los cultivos intercalados producidos por agricultores de *Jatropha*. La siguiente sección ofrece un panorama completo de las opciones para extender la cadena básica de los biocombustibles.

6.2.2.2 La cadena de producción ampliada

La cadena de producción básica descrita en la sección anterior se puede ampliar casi infinitamente con un gran número de actividades vinculadas, que aumentan el valor agregado en la cadena. Es muy difícil dar una indicación precisa del nivel de la producción mínima necesaria para alcanzar la rentabilidad de estos componentes adicionales. Las condiciones locales, tales como el precio de diesel, el mercado de subproductos, disponibilidad de servicios de reparación y mantenimiento, costos de inversión, entre otros, suelen ser factores más importantes que el tamaño de las plantaciones. Sin embargo, como regla general, se debe pensar en un nivel de producción mínimo de 250 hectáreas de plantaciones adultas de *Jatropha*, a fin de que las extensiones de la cadena básica sean económicamente viables, junto con cierta capacidad técnica y la existencia de consumidores potenciales en la zona de intervención.

En cuanto a la ubicación de la planta de procesamiento, se recomienda buscar lugares céntricos: cerca de los agricultores (para reducir los costos de transporte), cerca de los consumidores con mayor potencial (transporte pesado, instalaciones de secado de granos, de aserraderos etc.) y cerca de una capacidad técnica básica (mecánico de automóviles, reparación de maquinaria agrícola). Los sitios cercanos a pequeñas ciudades que desempeñan un papel como centro de servicios para zonas rurales circundantes, a menudo cumplen con estas condiciones.

6.2.2.2.1 Biogás

El primer candidato para ampliar la cadena de producción es una instalación de biogás. El biogás es una mezcla de 25-35% de CO₂ (dióxido de carbono) y 65-75% de CH₄ (metano) que se puede quemar directamente para generar calor o usar en motores de combustión para generar energía mecánica o electricidad. La torta del prensado contiene una cantidad



significativa de aceite¹⁴, el cual es un alimento favorito de las bacterias productoras de metano. Otras fuentes para la producción de biogás, como los residuos de plantas, estiércol de ganado vacuno y restos de animales, en general se encuentran disponibles en las zonas rurales. Pueden cultivarse pastos de rápido crecimiento (si el clima es adecuado) para complementar la materia prima del biodigestor, en caso de que el suministro de los demás materias primas sea irregular o poco fiable.

Una pregunta importante a responder antes de invertir en un biodigestor, es: ¿qué se va hacer con el biogás producido? Una limitación importante es que el transporte de biogás a clientes fuera de la planta de producción, es técnicamente difícil y costoso [7]. En el contexto de producción a pequeña escala, el biogás debe utilizarse en el sitio. A pesar de esta limitación, quedan muchas opciones. La viabilidad de estas opciones dependerá en gran medida de la demanda existente de la empresa de procesamiento y de otras empresas en la misma región. Entre más desarrollo industrial hay en el área, más fácil será la utilización del gas en forma rentable. Algunas opciones para utilizar la energía producida a partir de biogás, son:

Tabla 5 - Opciones para utilizar la energía producida del biogás

Forma de Energía	Para uso interno	Para uso externo
Calor	Instalaciones de secado (ej.: secado de frutas de <i>Jatropha</i> antes del descascarado)	Calentamiento intensivo de industrias locales dispuestas a trasladarse al sitio de procesamiento (ej.: instalaciones de secado de granos, fabricación de jabón, panadería etc.).
	Procesamiento del biodiesel (ej.: hervir el aceite vegetal para eliminar el agua, destilación del metanol, calentamiento del aceite antes de la reacción química)	
	Cocina (restaurante)	
Energía Mecánica	Extracción de aceite	Energía mecánica a industriales locales dispuestas a trasladarse al lugar de procesamiento (ej.: aserradero).
	Despulpado	
	Mover una banda transportadora, etc.	

¹⁴ La extracción mecánica del aceite a pequeña escala tiene en general una eficiencia del 70% o menos, lo que significa que el contenido de aceite máximo teórico en las semillas es del 38%, una prensa mecánica no será capaz de extraer más de un 20-25%.



Electricidad	Suministro de oficina y alumbrado.	Electricidad a industrias dispuestas a reubicarse al sitio de proceso (ej. punto de recolección de leche con equipo de enfriamiento, fábrica de hielo, etc.)
	La mayoría de los equipos antes mencionados en los que se usa calor y energía mecánica, también pueden ser utilizados con electricidad ¹⁵ .	Venta a la red (compañía de distribución de electricidad local o nacional)

N.B. El diagrama de flujo al final de la sección 6.2.2 ofrece varias ideas de cómo usar la energía de biogás.

En general, se debe tratar de satisfacer primero las necesidades de energía de la planta de procesamiento, y sólo si queda suficiente biogás desaprovechada, tratar de atraer a las industrias que están dispuestos a trasladarse al sitio. La venta de energía a la red es, en términos económicos, por lo general, la opción menos interesante y también puede implicar trámites burocráticos engorrosos. Si la atracción de otras empresas que consumen mucha energía al sitio de producción de biogás forma parte del plan de negocios, esto debe ser considerado al adquirir el sitio y en el diseño de las instalaciones.

Los factores que contribuyen a la viabilidad del componente de biogás son:

- Fuentes de energía (electricidad, combustible) caras o no disponibles.
- Las soluciones de energía alternativa más barata (por ejemplo, energía hidroeléctrica) no son viables.
- Disponibilidad de materia prima durante todo el año (humeda, poca fibra, concentrada)
- La materia prima no está disponible de forma gratuita ni a bajo costo¹⁶
- Disponibilidad de suficiente suministro de agua disponible¹⁷

13-Aunque el uso de la electricidad siempre es menos eficaz que el uso de calor directo y de la energía mecánica, en corto plazo el uso de la electricidad es a menudo más práctico y más barato (requieren menos inversiones). La sustitución de la energía eléctrica por el calor directo y la energía mecánica puede formar parte de un ejercicio posterior, una vez que la planta de procesamiento está en marcha.

¹⁶ Esto generalmente significa que no existe un uso alternativo para la materia prima, por ejemplo, como forraje animal, y que los costes de transporte son mínimos. También es importante tener en cuenta los posibles usos rentables de la materia prima prevista en el futuro, ya que esto puede afectar la disponibilidad. Por último, debe existir un margen suficiente para pagar a los proveedores de la materia prima una cantidad mínima, ya que se comenzará a cobrar por la materia prima una vez que esté claro que se utiliza de manera productiva. Tener acceso a diversas fuentes de materia prima en cantidad suficiente mantendrá este efecto manejable.

¹⁷ Por ejemplo, una instalación de biogás de 160 kW consume unos 30 m³ de agua por día. Sólo una pequeña parte del agua se consume en el proceso. Las aguas residuales de una instalación de biogás forman un excelente fertilizante que se utiliza para el riego. Incluso puede ser vendido como un fertilizante líquido.

- 
- 
- Suficiente demanda de energía de industrias locales y la población en general.
 - Política del Gobierno y legislación a favor de la entrada de nuevos proveedores de energía eléctrica (mercado para el excedente de energía eléctrica producida)

6.2.2.2 Biodiesel

Una segunda extensión lógica de la cadena de biocombustible de *Jatropha* es la producción de biodiesel (también llamado transesterificación). Para una descripción técnica del proceso de producción de biodiesel, véase la sección 5.2.4.

En muchos países, la producción y comercialización de biodiesel es regulada. La calidad debe cumplir con ciertas normas de calidad estándar¹⁸ y su comercialización tiene que seguir ciertos canales predeterminados. Aunque estas regulaciones son comprensibles desde el punto de vista de protección al consumidor, a menudo impiden a los pequeños productores de biodiesel vender a través del mercado regular. Esto es debido a que el equipo necesario para producir la calidad exigida por las normas, es demasiado caro y porque la comercialización, a través de la red existente de instalaciones de mezclado de y estaciones de combustible absorbe una parte importante del margen de utilidades.

Además, la producción de biodiesel es más cara que la producción de aceite vegetal puro. Esto significa que un productor de biodiesel es más sensible a los cambios en los precios de materias primas o de los combustibles fósiles, que un productor de aceite vegetal puro. Considerando la alta inestabilidad de los precios de mercado del combustible fósil¹⁹, es un argumento muy importante a favor del aceite vegetal puro, especialmente para pequeños productores, quienes generalmente, tienen márgenes de ganancia más pequeños que los grandes productores de biocombustibles.

Por lo tanto, FACT recomienda la producción de biodiesel en dos casos:

(a) Si la producción ha alcanzado una escala suficiente para justificar la inversión en equipo de alta tecnología para la producción de biodiesel a través del cual se cumplan las normas de calidad²⁰ de combustibles.

¹⁸ En general, adaptaciones o copias de la normas Americanas ASTM D 6751-07 o de las normas europeas EN 14214:2003

¹⁹ Los precios del petróleo subieron de 35 dólares por barril en 2003 a 146 dólares en julio de 2008, cayendo de nuevo a 37 dólares de los EE.UU. en diciembre de 2008.

²⁰ Como una indicación: el equipo más pequeño de biodiesel de AGERATEC (fabricante sueco de equipos de profesionales de biodiesel) tiene una capacidad de 1,000 litros diarios y cuesta alrededor de 80,000 euros. Si trabaja 250 días al año significa una producción de 250 millilitros de aceite por año. Esto equivale a que 250 hectáreas de plantaciones de *jatropha* madura deben producir 4 mil kg al año por hectárea, con una tasa de extracción de aceite del 25%



(b) Si la demanda interna de biodiesel es lo suficientemente grande y los consumidores internos aceptan que el combustible no siempre cumpla con las normas de calidad estándar. En este último caso, existe disponible equipo de bajo costo o se puede construir en el sitio²¹.

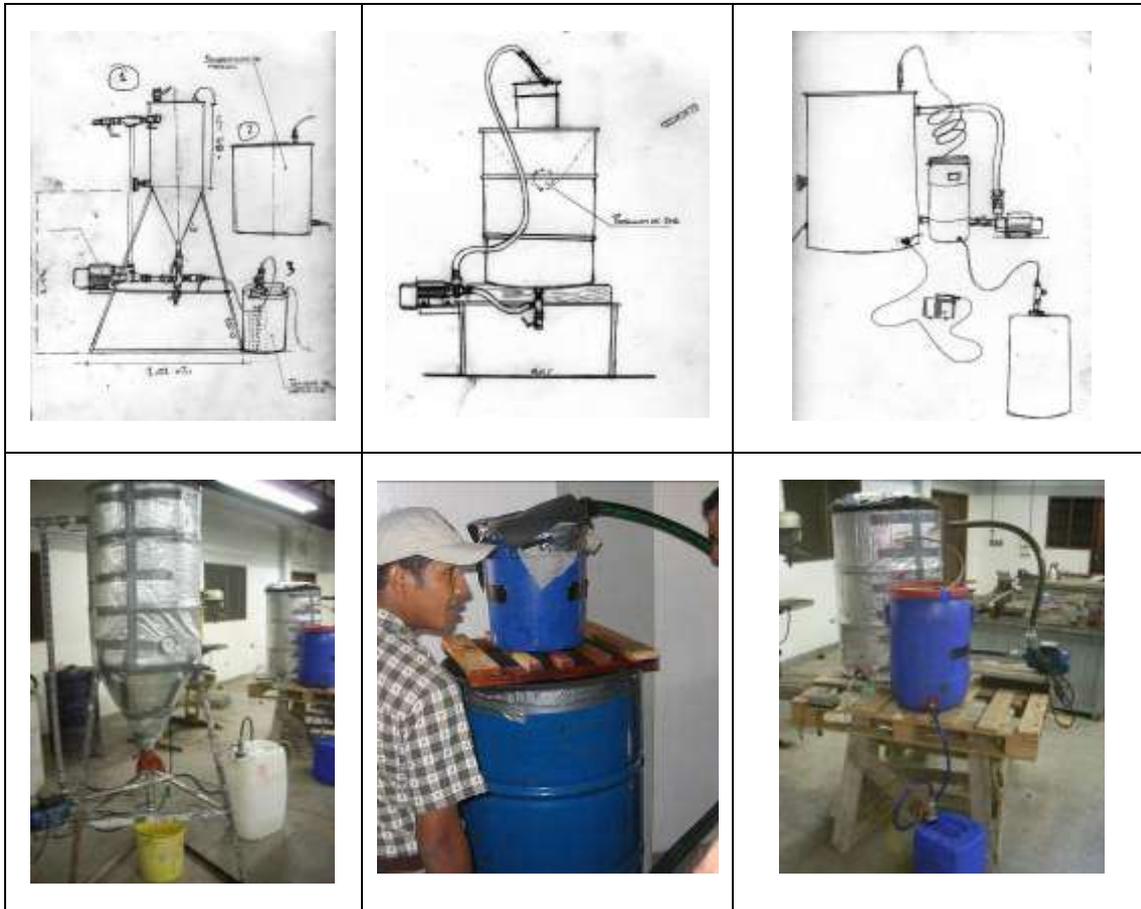


Figura 2 - Imágenes (dibujos y fotografías) de los equipos de biodiesel construidos localmente en Yoro, Honduras

Los factores que contribuyen a la viabilidad de la producción de biodiesel a pequeña escala son los siguientes:

- El combustible fósil (diesel) es caro.
- Disponibilidad de fuentes baratas de aceite vegetal usado o grasas animales²².

²¹ Una gran cantidad de información sobre la producción de baja tecnología de biocombustibles se pueden encontrar en <http://www.journeytoforever.org/biodiesel.html>. Los equipos utilizados en el proyecto de FACT en Honduras se construyeron siguiendo las instrucciones publicadas en el manual elaborado por Whitman Direct Action: [http://www.whitmandirectaction.org/downloads/documents/biodieselguide\(espagnol\).pdf](http://www.whitmandirectaction.org/downloads/documents/biodieselguide(espagnol).pdf)

²² Algunos fabricantes de equipos profesionales de biodiesel no garantizan el cumplimiento de las normas de calidad al utilizar otras materias primas diferentes a los aceites vegetales vírgenes.

- 
- 
- Presencia de capacidad técnica local para garantizar la reparación y mantenimiento de equipo.
 - Disponibilidad de metanol y NaOH o KOH a precios razonables.
 - Marco legal que permita la producción local y el uso interno de biocombustibles (por ejemplo, a nivel de una cooperativa, asociación, etc.), evitando así la comercialización a través de estaciones regulares de combustibles.
 - Política fiscal del Gobierno que establezca los precios del (bio)combustible.

6.2.2.2.3 Jabón

Una tercera extensión de la cadena de biocombustibles de jatropha a tener en cuenta es la producción de jabón. El jabón puede producirse tanto a partir de aceite puro de jatropha como de la glicerina (un subproducto del proceso de producción de biodiesel). Tradicionalmente, el jabón es fabricado a partir de aceite de Jatropha en muchas regiones de América Latina, África y Asia. Las mujeres son especialmente involucradas en esta actividad. Se cree que el jabón tiene propiedades medicinales contra enfermedades de la piel.

La fabricación de jabón es un proceso relativamente fácil (véase la sección 5.2.3), incluyendo el calentamiento del aceite y una reacción química con NaOH (en el caso que se desea jabón duro) o KOH (para jabón líquido). La incorporación de colorantes y fragancias puede mejorar la aceptación en el mercado.

Cuando se utiliza glicerina para fabricar jabón, antes de iniciar el proceso es importante eliminar por ebullición todo el metanol remanente. El metanol es tóxico para los seres humanos y altamente inflamable, por lo que la ebullición debe hacerse afuera en un lugar seguro y los vapores no deben ser inhalados.

Al utilizar glicerina cruda para hacer jabón, es importante saber que es bastante difícil deshacerse de su no muy agradable color marrón y olor típico, especialmente en el caso que la glicerina provenga de aceite vegetal usado.

El jabón elaborado de glicerina de aceite vegetal usado pueda ser vendido como un producto de limpieza barato y efectivo a mecánicos u otros talleres que trabajan con grasa. A ellos, generalmente no les importa el color y el olor del jabón, pero sí aprecian sus altas propiedades desengrasantes.

Otra posibilidad es suplir al segmento de mercado de lavandería a través de jabón para prendas gruesas. En ese caso, el jabón deber ser más barato que cualquiera de las marcas existentes. La purificación de la glicerina para fines farmacéuticos o cosméticos no es una opción viable en pequeña escala.



El jabón de aceite de jatropha puede comercializarse en los nichos de mercado de productos naturales para la salud y belleza, o incluso en el mercado del comercio justo (de exportación). Si se acompaña con un esfuerzo de marketing adecuada, esta actividad puede ser altamente rentable.

6.2.2.2.4 Diversificación con aceites comestibles

Complementar la cadena de biocombustibles descrita anteriormente con la producción y transformación de aceites comestibles (por ejemplo girasol, ajonjolí, maní, soya) puede ser una estrategia importante para estabilizar los ingresos de la empresa de transformación y ofrecer alternativas a corto plazo para los agricultores.

¿Por qué aceites comestibles?

- La torta del prensado de semillas oleaginosas comestibles, a menudo son fáciles de vender localmente (a granjas de ganado vacuno, granjas porcinas o avícolas): la torta es altamente nutritiva y por lo tanto de buen valor²³.
- Además, la elaboración de aceite comestible requiere en gran medida **la misma infraestructura y destrezas** utilizadas en la transformación de semillas para biocombustibles²⁴. Esto significa una mayor eficiencia, ya que se contrata el mismo personal técnico (el mismo personal puede operar, mantener y reparar la prensa para el aceite comestible y para la jatropha) y ya que se comparten ciertos equipos (por ejemplo, uso de biogás de Jatropha en las secadoras de granos y semillas de aceite comestible).
- En tercer lugar, los **agricultores** de Jatropha necesitan cultivos de ciclo corto para estar **motivados** a mantener las plantaciones de Jatropha. En lugar de pagar a los agricultores para eliminar la maleza en las plantaciones de Jatropha, la inversión en el cultivo de semillas para aceite comestible, puede ser más atractivo tanto para el promotor como para el agricultor.
- En un contexto de inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles, la diversificación de la transformación de biocombustibles con aceites comestibles, contribuye a la **estabilidad de la empresa**. La razón es que los precios mínimos de los aceites comestibles son determinados por el costo de producción a gran escala, el cual es superior a los costos medios de producción de combustible diesel (ver figura abajo). En otras palabras, el precio mínimo de los biocombustibles es menor que el del aceite comestible. Los productores de aceite comestible, como los productores de biocombustibles, se benefician de las alzas en el precio del petróleo pero no son tan

²³ En el caso de algunos aceites comestibles, como la soya, la torta incluso es el producto principal.

²⁴ Aunque las líneas de producción de biocombustibles y aceites comestibles deben ser separados por razones obvias.



afectadas por las bajas. Si los precios del petróleo suben fuertemente, los productores de aceite comestible pueden cambiar a biocombustibles y si los precios del combustible caen por debajo de los costos de producción, pueden cambiar de regreso aceites comestibles. Es esta flexibilidad, la que da más estabilidad a un negocio que combina la producción de aceite comestible con biocombustibles, frente a un negocio que produce biocombustibles a un 100%.

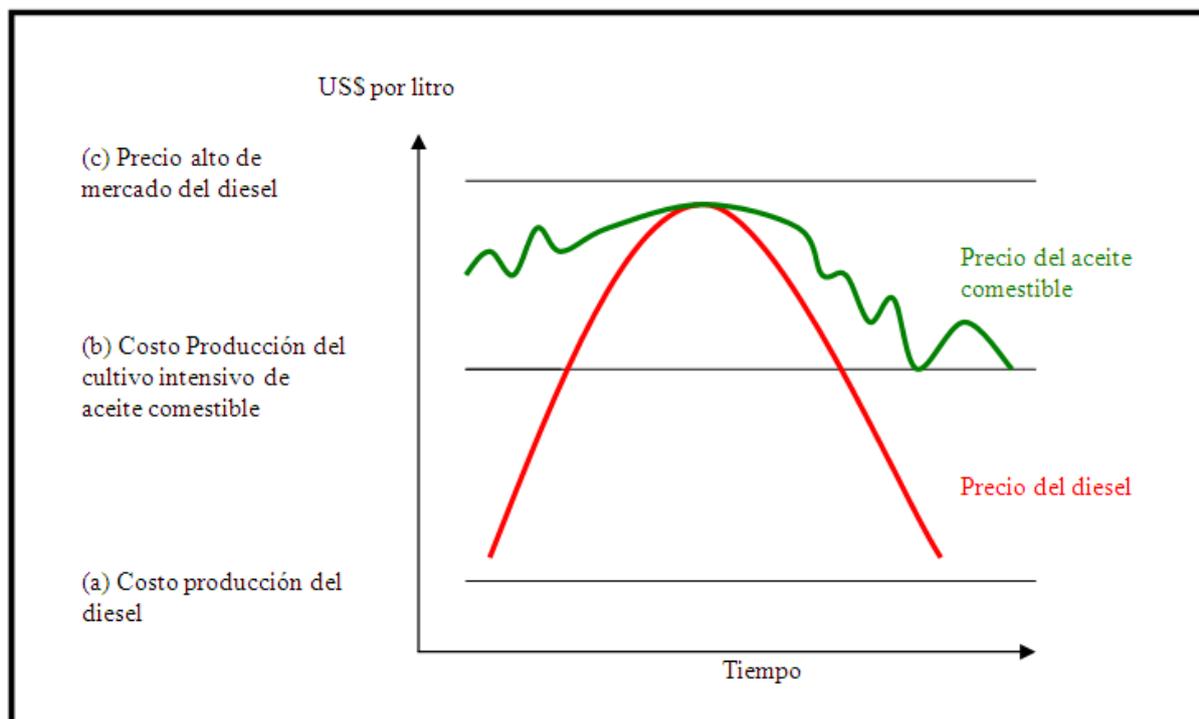


Figura 13 - Visualización (ficticia) de las variaciones de precios del aceite comestible y el combustible fósil.

Para compensar los bajos niveles de eficiencia de los pequeños agricultores de oleaginosas en comparación con los productores a gran escala y altamente mecanizados (como en Argentina y Brasil), es importante asegurarse de que la empresa de transformación pueda vender el aceite comestible y la torta del prensado directamente a usuarios finales (por ejemplo, aceite para restaurantes o agroindustrias, torta del prensado a productores de leche, granjas avícolas y porcinas). De esta manera, los canales de comercialización más cortos pueden compensar los menores niveles de eficiencia de pequeños agricultores. Esto es especialmente necesario, en los tiempos en que los precios de aceite comestible tocan fondo (b).

- Por último, casi todas las oleaginosas de ciclo corto se puede plantar al final de la temporada de lluvias. Por lo general, estos cultivos necesitan suficiente agua en el inicio de su ciclo de producción y prefieren condiciones más secas al final del ciclo. Por lo tanto, pueden plantarse en el mismo sitio que el grano básico y **no requieren tierras adicionales** para cultivar. Además, oleaginosas como el girasol, traen los nutrientes de

las capas más profundas del suelo hasta la superficie, así preparando el terreno para la siguiente siembra de granos básicos.

La siguiente tabla brinda un ejemplo de un plan de cultivo mixto de jatropha, granos básicos (por ejemplo, maíz) y una oleaginosa de ciclo corto (por ejemplo, de girasol, ajonjolí, etc.)

Tabla 6 – Ejemplo de un plan de cultivo mixto de jatropha - aceite comestible

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	Etc.
Temporada (lluviosa/seca)	D	D	D	D	D	R	R	R	R	R	R	R/D	D	D	D	D	D	R	
Cultivo de Jatropha (permanente)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cultivo de granos básicos						X	X	X	X	X	X							X	
Cultivo de oleaginosas de ciclo corto											X	X	X	X					

¡Precaución! Al cambiar del prensado de semillas de aceites no comestibles (como la Jatropha) a comestibles se debe tenerse cuidado de limpiar a fondo la prensa y no vender los primeros lotes de aceite como alimento, debido a la toxicidad de la Jatropha.

¿Qué oleaginosas comestibles se debe usar?

Los principales aceites comestibles que crecen en las mismas condiciones climáticas que la Jatropha son el girasol, maní, soya, ajonjolí y algodón. Sin embargo, muchas especies locales también pueden crecer bien. La canola crece generalmente en los trópicos a alturas (> 1,000 m), que no son óptimas para la Jatropha. La elección de la cosecha dependerá principalmente de la vocación del suelo, condiciones climáticas y la demanda del mercado local.



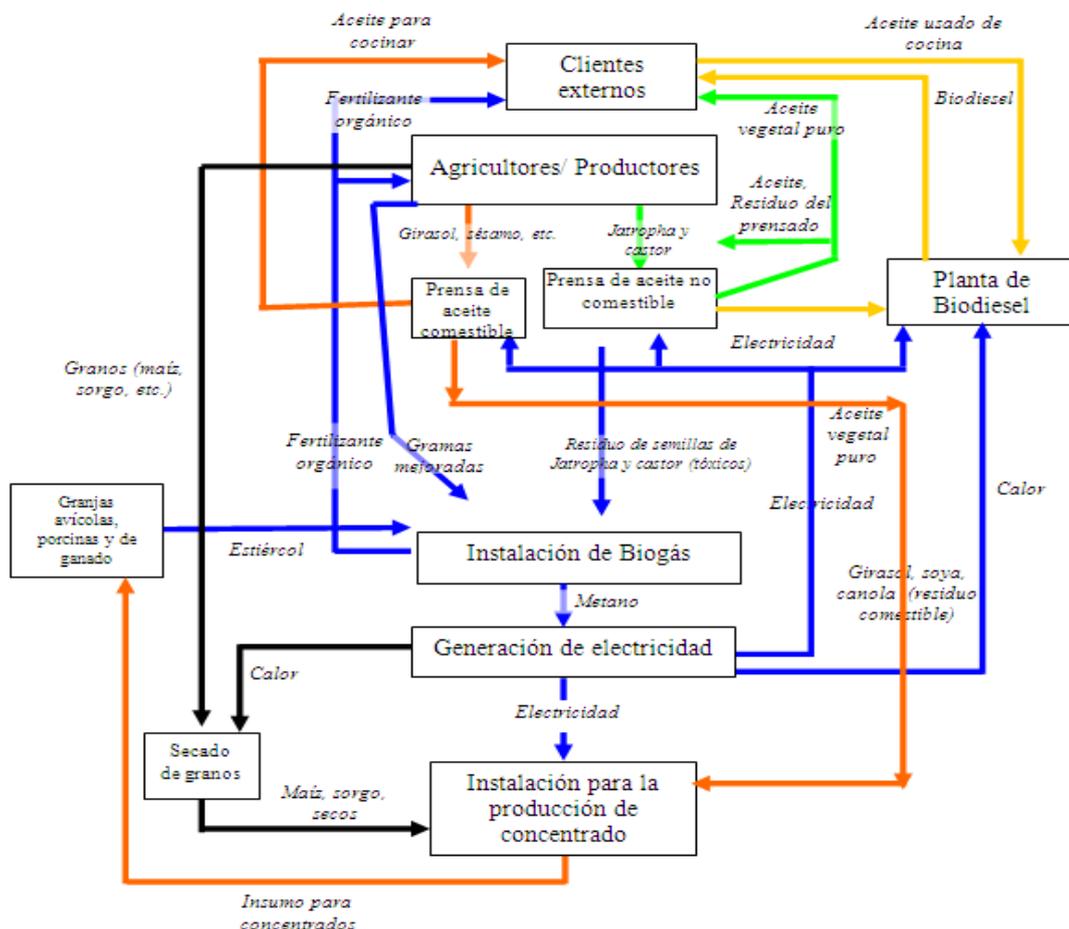
Control de malezas y actividades post-cosecha en la producción de soya en Yoro, Honduras



Preparación de la tierra, siembra y cosecha de semillas de ajonjolí (sésamo).

La siguiente figura presenta una visión general de las diferentes posibilidades de expansión de la cadena de biocombustible de *Jatropha*. La forma más fácil de interpretar la figura es empezar con la cadena básica de biocombustibles de *Jatropha* (resaltada en color verde), seguido de una expansión con un procesador de biodiesel (en amarillo), una expansión de cultivos de aceite comestible y forraje (en naranja), la expansión de una instalación de biogás (en azul), y, finalmente, la adición de una instalación de secado de granos (en negro). Obviamente, el proceso de expansión puede seguir otro orden y podría incluir sólo algunas de las ampliaciones aquí mencionadas.

Figura 4 – Cadena de biocombustible integrada



6.2.3 Modelos de financiamiento

6.2.3.1 ¿Cómo financiar las plantaciones de agricultores?

6.2.3.1.1 Introducción

El componente agrícola es la columna vertebral de la cadena de biocombustible de *Jatropha*. Dentro de este componente, el esquema de financiamiento ofrecido a los agricultores es uno de los factores más importantes que determinarán el éxito del emprendimiento.

El diseño de esquemas de financiamiento viables y aceptables para la *Jatropha* es un reto por varias razones. En primer lugar, es un cultivo nuevo en muchas regiones. En segundo lugar, es un cultivo perenne que toma varios años para ser plenamente productivo. Por último, la evolución de los precios es incierta ya que se rige por el altamente volátil mercado del petróleo. Por estas razones, se debe poner especial atención a la forma en que se financian las iniciativas de introducción de *Jatropha*.

La promoción de *Jatropha* entre pequeños agricultores requiere una eficiente planificación, un esquema de financiamiento bien diseñado, buen conocimiento de las costumbres locales y los patrones de producción, y sobre todo, paciencia. Experiencias de esquemas de promoción de pequeñas plantaciones muestran que la promoción masiva de agricultores, prometiéndoles grandes beneficios, pero sólo proveyendo las semillas y algunas visitas ocasionales de promotores, no funciona [8]. Los pequeños agricultores generalmente esperan recibir semillas, fertilizantes, apoyo en el control de plagas y malezas, un contrato de préstamo aceptable, un mercado estable y acompañamiento.

En esta sección, se describen tres esquemas de financiamiento estándares para iniciativas de introducción de *Jatropha* en agricultores. Los tres modelos son:

- (a) Esquema de financiamiento con productores subcontratados
- (b) Coinversión entre el promotor y el agricultor
- (c) Esquema de préstamos convencionales

No es el propósito de esta sección dar una visión exhaustiva de los posibles esquemas de financiamiento. Sin embargo, se espera que a través de la descripción de estos tres esquemas, el lector pueda elegir el que mejor se adapte al contexto y ajustarlo a las condiciones locales. En la práctica se encuentran muchas variaciones e híbridos de los esquemas mencionados.

Con el fin de poder comparar los esquemas, se han hecho los siguientes supuestos para cada uno:



- La planta comienza a producir semillas a partir del tercer año de crecimiento.
- El promotor del esquema es también el (co)propietario de la instalación de procesamiento de aceite (prensa).
- El promotor tiene demanda suficiente para vender todo el aceite producido.
- Se brinda asistencia técnica a los agricultores sin costo.

Durante la fase de introducción (en la que aún existe mucha incertidumbre), se recomienda que la asistencia técnica sea gratuita. En la fase de expansión, la asistencia técnica puede ser incluida como una contribución del promotor, especialmente en el caso de agricultores comerciales (no de subsistencia).

6.2.3.1.2 Esquema de financiamiento de productores subcontratados

En este esquema, los agricultores contribuyen con su tierra y mano de obra, mientras que el promotor aporta las semillas, fertilizantes y asistencia técnica inicial. Este modelo de financiamiento es común (pero no exclusivo) con productores subcontratados (modelos B y C). Se brinda asistencia técnica gratuita, mientras que el material de siembra y los fertilizantes se proporcionan en forma de un préstamo. Todas las contribuciones son en especie, por lo que no se dan flujos de efectivo entre el promotor y el agricultor hasta el tercer año, cuando los agricultores venden las semillas de jatropha al promotor. Es típico en este esquema, que el agricultor pague el préstamo con las semillas producidas. Esto significa que el tiempo de amortización del préstamo no es fijo: dependerá de la productividad de las plantaciones de los agricultores.

Tabla 7 – Ejemplo de esquemas de financiamiento para agricultores

Entrada	Año 1		Año 2		Año 3	
	Contribución de		Contribución de		Contribución de	
	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor
Tierra		X		X		X
Mano de obra		X		X		X
Semilla	X					
Fertilizante	X		X			X
Asistencia técnica	X		X		X	
Salida	Año 1		Año 2		Año 3	
	Ingresos para		Ingresos para		Ingresos para	
	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor
Semillas						X(1)
Aceite					X	
Residuo del prensado					X(2)	X(2)

Notas:

- (1) Generalmente el promotor firma un acuerdo con los agricultores en el que:



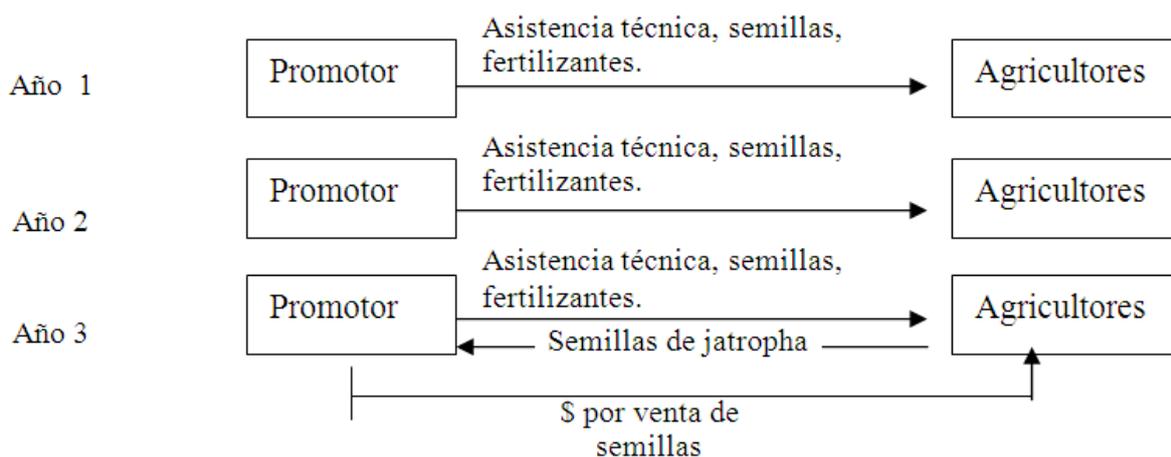
- El agricultor se compromete a vender toda su producción al promotor, y
- El promotor se compromete a comprar toda la producción de los agricultores a un precio fijo por kilo o a un precio directamente vinculado al precio de los combustibles.

A fin de mantener la motivación en los agricultores, se recomienda no retener el 100% del valor de las semillas como pago del préstamo, sino por ejemplo, retener el 30% y pagar el 70% restante al agricultor.

- (2) Véase la sección 6.2.1 (cadena básica de producción de biocombustible de Jatropha) sobre el uso de la torta del prensado de jatropha. Dependiendo de la situación del mercado, la torta puede venderse a terceros (obteniendo precios más altos por kilo para los agricultores) o devolverse a los agricultores (resultando en menores costos para los agricultores).

Los siguientes flujos tendrán lugar durante los primeros tres años.

Figura 5 – Productos, servicios y flujo de dinero en el esquema de financiamiento de pequeños agricultores.



Las ventajas de este esquema de financiamiento son:

- Su sencillez: los flujos financieros no se producen hasta el año 3. Esto es útil cuando se trabaja con un gran número de pequeños agricultores.
- Los productores de subsistencia, que suelen ser renuentes a los préstamos, pueden encontrar este modelo aceptable.
- El riesgo para el agricultor es mínimo: el promotor da la garantía de comprar a un precio fijo, cualquier cantidad producida.

Las garantías de compra y de precio sólo pueden darse cuando existe una empresa de procesamiento que sea económicamente viable. Esto sólo es posible si se provee volumen de producción suficiente.

Las desventajas de este esquema son:

- El riesgo es principalmente con el promotor.



- Los agricultores pueden no tener una idea clara del precio de mercado de su producto.
- No hay compensación por el trabajo de los agricultores durante los primeros 2 años.

Los factores que pueden contribuir al éxito del esquemas de financiamiento de productores subcontratados son:

- Contratos claros y estrictos: los agricultores saben que el incumplimiento intencional tendrá consecuencias.
- El financiamiento abarca un sistema integrado de producción (incluyendo jatropha y cultivos asociados).
- El promotor es el único comprador de semillas de Jatropha en la región.
- Contribución significativa y equilibrada de todas las partes implicadas.

6.2.3.1.3 La coinversión

Este esquema está implícita en los modelos D y E (agricultores son co-propietarios de la planta procesadora), descritos en el punto 6.2.1.2. Los agricultores comparten en las ganancias según el valor de las acciones que poseen (en caso de una empresa capitalista) o (en caso de una empresa cooperativa) los socios comparten el excedente de acuerdo a la cantidad de semillas que han contribuido.

Pero también en los modelos B y C (productores subcontratados), puede existir el espacio para negociar una coinversión. En este caso, el promotor y los agricultores acuerdan distribuir los resultados de la inversión (semillas, aceite, torta del prensado y los ingresos generados por la venta) de acuerdo al monto de inversión de cada uno. Con el fin de lograr esto, la contribución de cada parte debe ser valorada. Este esquema se presenta en el siguiente ejemplo numérico (los números son ficticios).

Tabla 8 – Ejemplo de un plan de coinversión

Entrada	Año 1		Año 2		Año 3		Total	
	Contribución de		Contribución		Contribución			
	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor
Tierra		1				1		3
Mano de obra		10		1		5		20
Semillas				5				
Fertilizante	1	7				8	1	22
Asistencia técnica	3		3	7	3	donación	9	
Procesador	donación		donación		30	15	30	15
Total	4	18	3	13	33	29	40	60
Salida	Año 1		Año 2		Año 3		Total	
	Ingresos para		Ingresos para		Ingresos para			
	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor	Promotor	Agricultor
Aceite					30	45	30	45
Presscake					10	15	10	15
Total					40	60	40	60



Las ventajas de este esquema son:

- El riesgo es compartido de manera más equitativa entre agricultores y promotores.
- Es más interesante para agricultores con espíritu empresarial, porque los beneficios potenciales son mayores.

Las desventajas son:

- Es necesario un seguimiento en campo más intensivo para impedir que los agricultores presenten informes de cosecha con datos menores a lo que realmente tienen. Este riesgo es menor si el promotor es el único comprador de semillas de jatropha en la región.
- La administración es más compleja en comparación con el modelo 1.
- No hay compensación por la mano de obra de los agricultores durante los primeros 2 años.

Los factores que pueden contribuir al éxito de esquemas de coinversión son:

- Contratos claros y aplicables.
- Seguimiento estricto durante el proceso de crecimiento.
- Significativa y equilibrada contribución de todas las partes implicadas.

6.2.3.1.4 Esquema de préstamos convencionales.

En este esquema, una institución financiera (posiblemente subcontratada por el promotor) otorga préstamos a los agricultores. Los préstamos de preferencia se limitan a insumos (semillas y fertilizantes), mientras que los agricultores aportan la tierra y la mano de obra. Se debe considerar un período de gracia de al menos 2 años, hasta que la plantación llegue a ser productiva.

En los siguientes dos casos, se pueden considerar otorgar créditos para mano de obra:

- Agricultores de subsistencia que sustituyan sus cultivos tradicionales (menos rentables) por cultivos de Jatropha. Esta transición puede resultar en una disminución temporal de sus ingresos hasta que la plantación de jatropha sea plenamente productiva.
- Los agricultores comerciales, que contratan mano de obra externa.

La principal diferencia entre el primer esquema de financiamiento (productores subcontratados) y el esquema de préstamos es que en el primero no hay un acuerdo de pago fijo por año (el pago se realiza de acuerdo a los niveles de producción). Por otra parte, en el primer esquema, el pago es exclusivamente en especie (semillas de jatropha), mientras que en el esquema de préstamos convencionales, el pago es probablemente con dinero y se cobra una tasa de interés para cubrir los gastos administrativos y financieros. En el esquema de financiamiento de productores subcontratados, el costo administrativo del financiamiento será tomado en cuenta por promotor al momento de fijar el precio de compra de las



semillas. Otra diferencia importante es que, en caso de pérdida total no intencional (por ejemplo, por inundaciones) en los dos primeros esquemas, es probable que el agricultor sólo pierda la mano de obra invertida, mientras que en un esquema de préstamo convencional el agricultor tendrá que pagar su deuda (por compra de semilla y fertilizante).

Otro aspecto importante del esquema de préstamos convencionales son las condiciones de pago. Para evitar que los agricultores pierdan el interés en el cultivo, es importante dejar una parte significativa de los ingresos de los agricultores durante el período de la primera producción, incluso si tiene que pagar una gran deuda. Esto implica un acuerdo de riesgo compartido entre el promotor y el agricultor. Es decir, si la producción es inferior a lo esperado, el agricultor recibe menos ingresos y el promotor recupera su préstamo a un ritmo más lento. Esto, por supuesto, no excluye la adopción de medidas contra agricultores que intencionalmente eliminan las plantaciones. Dar apoyo a los agricultores para el intercalado de cultivos es otra estrategia importante para mantener el interés.

Las ventajas del esquema de préstamo son:

- Mayor transparencia de los precios: los agricultores reciben precios de mercado para su producto.
- No hay necesidad de un control intensivo en campo.
- Existe la posibilidad de dar préstamos temporales de consumo durante los primeros 2 años.
- Menor riesgo financiero para el promotor.

Las desventajas son:

- Si no existe una capacidad de administrar préstamos, se debe crearla.
- La administración de préstamos (sobre todo si una institución financiera está involucrada) tiene un alto costo, que al final resulta en menores precios pagados a los agricultores.
- Los agricultores de subsistencia pueden ser renuentes a los préstamos.
- Es mayor la pérdida para los agricultores en el caso de una cosecha fracasada.

Los factores importantes que pueden influir positivamente en la tasa de pago de los préstamos son:

- Estudios de factibilidad basados en datos de rendimiento reales.
- Buena capacidad de administración de crédito (con el promotor o entidad financiera).
- Los préstamos se emiten en especie (semillas, fertilizantes).
- Se aceptan pagos en especie (semillas).
- Se proveen material de siembra (semillas) de buena calidad.
- Se trabaja con productores con experiencia en cultivos comerciales.
- Se brinda asistencia técnica.

- 
- 
- En las regiones seleccionadas no hay otros compradores de semillas de jatropha (evita la desviación de las cosechas).
 - Los agricultores introducen la Jatropha como cultivo adicional, junto con otros cultivos tradicionales.

6.2.3.1.5 Conclusiones sobre el financiamiento a los agricultores

La elección del esquema de financiamiento 1, 2 o 3 es determinado básicamente por la actitud de los agricultores y el promotor (o instituciones financieras) a los riesgos. La actitud de los agricultores frente al riesgo a menudo puede ser estimada por factores como: a) el acceso a fuentes alternativas de ingresos (entre más fuentes alternativas de ingresos tenga el agricultor, más fácil es que acepte el riesgo de involucrarse en un nuevo cultivo), b) la posición económica de los agricultores (ingresos altos significa una mayor capacidad para asumir riesgos), y c) el crecimiento de las operaciones de agricultores (los agricultores de subsistencia tienden a considerar la seguridad (cero riesgo) como más importante que el crecimiento de los ingresos).

En términos generales, se puede esperar que los agricultores de subsistencia tiendan a rechazar el riesgo y por tanto aceptar el esquema 1 (de subcontratación). Muchos agricultores comerciales (a pequeña, mediana o grande escala), con varias fuentes de ingresos y con espíritu empresarial, les puede parecer atractivo el esquema 2 (coinvertición). Posiblemente, estos agricultores estén dispuestos a coinvertir en la instalación de procesamiento. Además, muchos de estos agricultores utilizan equipos con motores diesel, por lo que no sólo generarán ingresos adicionales, sino también tendrán un ahorro importante en su factura de combustible.

El esquema 3 (préstamos convencionales) parece ser una opción adecuada en la fase de expansión cuando se dispone de una buena calidad de semillas, las predicciones de rendimiento son fiables y prácticas agrícolas adecuadas han sido determinados y adaptados al contexto local.

Como se mencionó antes, dentro de un proyecto, se pueden aplicar distintos esquemas de financiamiento, dependiendo de las características de los grupos destinatarios. Por ejemplo, a fin de asegurar que existe una producción mínima para que una instalación de prensado sea viable, se puede implementar un esquema mixto en el que el agricultor grande trabaja en una empresa conjunta con el promotor (esquema 2) y se tiene un acuerdo de compra con un gran número de pequeños agricultores de acuerdo al esquema 1.

Todos los esquemas de financiamiento enfrentan la dificultad de sobrevivir los primeros dos años de la plantación, cuando el agricultor no cuenta con una producción significativa. La práctica demuestra que los agricultores se ven tentados a sustituir las plantaciones cuando ven mejores oportunidades, o simplemente abandonan las plantaciones cuando no existe



un estímulo inmediato²⁵. Una solución simple es brindar crédito (o contratar a un equipo de trabajo) para la eliminación de las malezas en plantaciones. Una solución mejor y más productiva es el establecimiento de cultivos asociados: usar el espacio vacío entre las filas de jatropha para cultivos de ciclo corto. La limpieza (deshierbe) y la fertilización que se hace a los cultivos asociados también beneficia a la plantación de Jatropha. El establecimiento de un cultivo asociado requiere mayor inversión que sólo el deshierbe, pero por otro lado genera un beneficio inmediato (y por tanto capacidad de pago del préstamo). La inversión también se puede financiarse por fuentes de financiamiento convencionales en el caso de cultivos con una trayectoria en la región. Cualquiera de estas estrategias requiere de inversiones adicionales. Sin embargo, el costo de no aplicar ninguna de las estrategias anteriores resulte probablemente en una descapitalización mucho mayor, en forma de pérdida de plantaciones.

El proyecto Gota Verde ha desarrollado una serie de documentos de administración de crédito y herramientas que están disponibles a solicitud a través del FACT.

6.2.3.2 ¿Cómo financiar la empresa de transformación?

Muchos proyectos de Jatropha invierten demasiado pronto y demasiado fuerte en las instalaciones de procesamiento. Esto se debe principalmente a proyecciones sobreestimadas (demasiado optimistas) del rendimiento de los cultivos. También, el corto horizonte de muchos donantes, su preferencia por las estructuras físicas visibles y la falta de información de campo juegan un papel.

Tal como se explicó en el capítulo 2, las plantaciones entran en producción comercial a partir de una edad de 3 a 4 años. Durante los primeros 2 a 3 años, una iniciativa de jatropha a pequeña escala (sembrando hasta 150 hectáreas por año), puede funcionar con una instalación de procesamiento muy modesta, compuesta por una o dos prensas pequeñas, unas pocas despulpadoras manuales, una unidad de filtrado y algunas instalaciones de almacenamiento. Se pueden adaptar 2 o 3 motores (ver sección siguiente) con fines demostrativos en apoyo a la introducción en el mercado en años posteriores.

En los capítulos anteriores se presentaron un resumen de las opciones técnicas para cada equipo. El costo total puede ser estimado en menos de 20,000 dólares americanos. No incluye la asistencia técnica necesaria para instalar los equipos y la capacitación de personal. Si la iniciativa tiene un modelo de propiedad con la participación de los agricultores (modelo D o E.), la asistencia técnica se pueden obtener posiblemente a través de una subvención de organizaciones de desarrollo (véase el apéndice 6.1).

²⁵ Este problema no puede ser subestimado. Por ejemplo, en el proyecto FACT en Honduras (Gota Verde), más del 40% de las plantaciones establecidas durante los años 1 y 2 se perdieron en el año 3, de los cuales al menos la mitad pueden atribuirse a la desatención de los agricultores (otros factores importantes fueron las inundaciones y anegamientos).



Se recomienda buscar primero instalaciones agroindustriales abandonadas que puedan ser renovadas y alquiladas. Otra alternativa es que uno de los agricultores participantes contribuya al capital social de la empresa con la facilitación de un sitio temporal o permanente con infraestructura.

No se recomienda la compra de tierras y construcción de instalaciones desde el año 0, a menos que el proyecto sea financiado por inversionistas con una visión de largo plazo (10 años o más). Incluso en ese caso, es más prudente, invertir, durante los primeros años, en el establecimiento de las plantaciones y en brindar incentivos a los agricultores para mantener su motivación, que en la construcción de instalaciones de procesamiento con de gran capacidad.

Una vez iniciada la operación comercial de la plantación (a partir del año 4), la empresa de transformación ha acumulado suficiente información y experiencia para formular un plan empresarial convincente que apoye la adquisición de su propio sitio y más equipo de procesamiento. Para ver las fuentes potenciales de financiamiento, consulte el apéndice 6.1.

6.2.3.3 ¿Cómo financiar la conversión de motores?

Tal como se explicó en secciones anteriores, el uso del aceite vegetal puro como sustituto del diesel reduce considerablemente la complejidad y el costo de la producción de biocombustibles. Además, la mayoría de los problemas técnicos del uso de aceite vegetal puro están relacionados con bajas temperaturas exteriores, que es obviamente un problema menor en regiones tropicales aptas para el cultivo de *Jatropha*. La tecnología del aceite vegetal puro se considera apropiada para iniciativas a pequeña escala de biocombustibles en países en desarrollo. Sin embargo, el uso de aceite vegetal puro como sustituto del diesel requiere la adaptación del motor (véase el capítulo 5.2.2 para más detalles técnicos). Por lo tanto, la introducción de la tecnología del aceite vegetal puro encuentra dos obstáculos importantes: (a) falta de confianza y (b) el alto costo inicial para el usuario.

(a) ¿Cómo superar la falta de confianza inicial de los usuarios?

La estrategia recomendada para la introducción en el mercado es, comenzar previo a que la producción comercial llegue al 4to año, con la adaptación del 100% de los motores operados por el promotor del proyecto (vehículos del proyecto o empresa, tractores, camiones, bombas de riego, etc.). Esto permite a la empresa (y/o técnicos locales) adquirir experiencia en el uso de aceite vegetal, en la solución de problemas más comunes y empezar a investigar la posibilidad de preparar localmente los kits de adaptación. Si el aceite localmente disponible es insuficiente para estos experimentos internos, se pueden usar otras fuentes locales de aceite, como el aceite de palma refinado. Otra posibilidad para

ganar experiencia es la importación de aceites vegetales. Se puede utilizar con el mismo propósito, el aceite vegetal usado de buena calidad (no demasiado ácido)²⁶.

El período de experimentación y creación de capacidades puede tomar de 2-3 años (el mismo tiempo que la plantación requiere para ser productiva), debido a que ciertos problemas técnicos se presentan sólo después del uso prolongado de aceite vegetal puro. Si no se dispone de un experto local en aceite vegetal puro como sustituto de diesel, la empresa tendrá que contratar a un experto extranjero (caro), para guiar la experimentación. Una vez más, esta contratación (posiblemente junto con los kits experimentales) podría ser negociada como donación con organismos de desarrollo, sobre todo para las empresas bajo los modelos de propiedad D y E (véase el apéndice 6.1 para conocer las organizaciones con experiencia en este ámbito). Durante la fase de experimentación, los mecánicos de vehículos locales necesitan ser entrenados en la instalación, mantenimiento y reparación de motores diesel adaptados. Una vez que la empresa ha construido una capacidad local suficiente en estas áreas, se puede empezar la introducción al mercado comercial del uso de aceite vegetal en motores adaptados (véase punto (b)).



Figura 4 - Imágenes del taller dirigido a mecánicos de vehículos realizado en octubre de 2008 en Yoro, Honduras, a cargo de Niels Ansoe de la empresa danesa especializada Dajolka (<http://www.dajolka.dk>).

(b) ¿Cómo superar el alto costo inicial de los kits de adaptación para los usuarios?
Un kit de adaptación comercial para vehículos pequeños puede costar entre 1,000 a 1,500 dólares americanos. Sin embargo, con suficiente demanda local de equipos, pueden ser montados por 250 a 300 dólares americanos con piezas de repuesto disponibles a nivel

²⁶ Algunos fabricantes de kits de adaptación de aceite vegetal puro no recomiendan el uso de aceite vegetal usado, ya que tiende a ser más ácido. El contenido de acidez depende principalmente de cuánto tiempo el aceite ha sido utilizado y a qué temperaturas. El índice de acidez puede ser determinado utilizando el mismo método de medición utilizado en la producción de biodiesel. El siguiente artículo da una visión bastante completa de las consideraciones al utilizar aceite vegetal usado como un sustituto del diesel: http://journeytoforever.org/biodiesel_svo.html.



local. No obstante, incluso a este precio, la inversión inicial es un obstáculo para muchos usuarios potenciales. Para superar este obstáculo, la empresa de transformación de biocombustible puede considerar que la empresa financie la adaptación del motor y el combustible de aceite vegetal puro se vende a un precio garantizado el cual debe ser ligeramente inferior al precio local del combustible fósil (diesel). El tiempo necesario para recuperar la inversión dependerá en gran medida de la cantidad de combustible consumido y el nivel de precios del diesel. Se recomienda comenzar con los grandes usuarios industriales, como ser los equipos agroindustriales (secadores de granos, aserraderos, etc.), autobuses, camiones, tractores, generadores de electricidad, etc. Ya que éstos utilizan grandes cantidades de combustible, lo que significa bajos costos de comercialización y distribución por litro de aceite vendido. A medida que aumenta la producción de aceite, también lo puede hacer el número y tipo de clientes (particulares, industriales, de transporte pesado).

A más largo plazo (especialmente cuando los precios de los combustibles fósiles aumente considerablemente), se espera que los fabricantes de motores diesel ofrezcan modelos que sean directamente compatibles con el combustible de aceite vegetal puro.

6.2.3.4 Fuentes de financiamiento del proyecto

En las secciones anteriores, ha quedado claro que el establecimiento de una cadena de biocombustible rentable exige una inversión considerable en el establecimiento de las plantaciones, instalación de equipos y crear la capacidad técnica del personal local y servicios de apoyo. La búsqueda de fuentes de financiamiento para estas inversiones es una tarea difícil.

El primer lugar para buscar fondos es con los (futuros) propietarios de la empresa de biocombustible. Las contribuciones no tienen que ser necesariamente en forma de dinero en efectivo. Contribuciones de activos subutilizados tales como terrenos, edificios, vehículos, maquinaria, entre otros, pueden ser significativos para la empresa. Cuanto más los futuros propietarios estén dispuestos y sean capaces de contribuir a la inversión total, menos difícil será de encontrar el cofinanciamiento correspondiente. Los cofinanciadore s tienen que estar convencidos de que los promotores creen en su empresa; el principal indicador de ello es la voluntad de arriesgar su propio capital.

Cuando se buscan fuentes externas, el acceso depende en primer lugar del modelo de propiedad que se elija. La siguiente tabla da una visión general de cuáles son las fuentes más accesibles según el modelo de propiedad. En todos los casos se presume que los promotores presentan un plan de negocios de calidad y optimista.



Tabla 9 - Potencial de acceso a fuentes de financiamiento según el modelo de propiedad.

Modelo de propiedad/ Fuente de financiamiento	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D	Modelo E
Donaciones ²⁷	1	2	3	4	5
Préstamos	3	3	3	1	1
Capital de riesgo:					
- Convencional	5	5	3	2	1
- Social	1	2	3	4	5

1 = acceso más difícil; 5= mejor acceso (en comparación con otros modelos de propiedad)

N.B.1. Los ingresos generados por mecanismos de reducción de CO₂ no se consideran subvenciones. Fuentes de financiamiento para la reducción de CO₂ se puede encontrar en el siguiente enlace: <http://www.sef-directory.net/>.

N.B.2. La evaluación refleja un orden, en comparación con otros modelos de propiedad. No se pretende dar diferencias relativas o absolutas proporcionales entre modelos.

Las razones de estas valoraciones se han explicado en gran medida en la sección que aborda los modelos de propiedad. El capital de riesgo social y los donantes otorgan alta importancia a los beneficios sociales de los modelos D y E (generación de ingresos para los pequeños agricultores). Las fuentes de financiamiento convencionales, como los bancos (préstamos) y los inversionistas buscan maximizar sus utilidades con la mejor combinación posible de riesgo limitado y alta eficiencia. El destino del financiamiento también varía altamente de acuerdo al modelo de propiedad, como se refleja en el cuadro siguiente:

Tabla 10 – Comparación del destino de inversión, por modelo de propiedad

Modelo de propiedad/ Destino de la inversión	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D	Modelo E
Compra de tierras	5	4	0	0	0
Asistencia técnica a agricultores	0	3	5	5	5
Asistencia técnica a la empresa	1	1	1	4	5
Plantaciones ²⁸	5	4	3	2	1
Equipos de procesamiento ²⁹	5	5	5	3	3

²⁷ Incluye Asistencia técnica.

²⁸ Las necesidades de financiamiento por ha de plantación tiende a ser menor en el caso de modelos D y E, porque los agricultores en general contribuyen con su propio trabajo. Por otro lado, en el caso de los modelos D y E el riesgo de abandono de plantaciones es mayor. Al final, la inversión por ha de plantación adulta puede ser similar para todos los modelos.

²⁹ Las inversiones en equipo tienden a ser más bajas en los modelos D y E ya que sus mercados son generalmente locales o incluso internos, mientras que los modelos A, B y C generalmente producen para mercados de exportación con altos estándares de calidad.



1 = menos inversión, 5 = mayor inversión (en comparación con otros modelos de propiedad).

Las fuentes convencionales de capital (préstamos bancarios y capital de riesgo convencionales) no se consideran en este manual, ya que son más apropiados para los modelos A y B, que tienen muy poca o inexistente participación de los pequeños agricultores. Por supuesto, esto no significa que estas fuentes no sean factibles para los modelos, D y E. Se recomienda consultar en las sucursales de bancos locales para mayor información.

6.2.3.5 Esquemas alternativos de financiamiento

En esta sección, se describen dos esquemas alternativos de financiamiento que se consideran apropiados desarrollar en combinación con un proyecto que construya una cadena de producción de *Jatropha*. El primer esquema muestra que la producción de biocombustibles puede en realidad aumentar la producción de alimentos usando la capacidad de producción de las plantaciones de *Jatropha* como garantía. El segundo esquema describe cómo la empresa de transformación puede crear capital de trabajo barato adicional que ayude a impulsar las ventas.

A. Uso de *Jatropha* para aumentar el acceso al crédito para cultivo de alimentos

En el debate de alimentos – combustible, los cultivos de biocombustibles a menudo son acusados de afectar la producción de alimentos. Esta sección muestra un ejemplo de cómo un determinado modelo de financiamiento integrado por cultivos alimenticios y de biocombustibles más bien puede estimular la producción de alimentos. El modelo que se describe a continuación es especialmente relevante para los modelos de propiedad D y E (los agricultores son copropietarios de la empresa de transformación) y en un contexto de subutilización de la tierra cultivable.

Muchos agricultores sólo cultivan parte de las tierras cultivables que poseen. Cuando uno le pregunta a un agricultor por qué no cultivan toda la tierra con alimentos, uno de los principales obstáculos mencionados es la falta de acceso a crédito. Las instituciones financieras son reacias a financiar la producción de granos básicos, especialmente a pequeños agricultores, que tienden a consumir (en vez de vender) una gran parte de su producción. Como resultado, muchos agricultores tienen que sembrar con un mínimo de insumos³⁰, o se ven obligados a hacer acuerdos con intermediarios explotadores quienes les quitan una gran porción del margen de la utilidad del agricultor.

³⁰ De hecho, esto explica gran parte de la baja productividad de las tierras en muchos países en desarrollo.



La jatropha puede proporcionar una base financiera estable para que los pequeños productores se independicen (por voluntad propia) de las instituciones financieras o de la explotación de intermediarios, aunque inicialmente la ayuda externa sigue siendo necesaria. Un elemento crucial de la estrategia es la empresa de procesamiento de biocombustibles. El financiamiento externo puede provenir de inversionistas privados o de préstamos bancarios contraídos por la empresa de procesamiento, que a su vez administra los préstamos a pequeños agricultores. La estrategia involucra:

Tabla 11 – Uso de plantaciones de Jatropha para incrementar el acceso al crédito para cultivo de alimentos: descripción de estrategias por actor.

Año	Empresa de transformación	Agricultores
1-3	La empresa apoya el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones de Jatropha (preparación de tierras, semillas, fertilizantes).	Son estimulados para producir cultivos de alimentos entre las filas ³¹ de Jatropha (cultivo asociado).
4 -50	La empresa da préstamos para el mantenimiento de plantaciones de Jatropha y para la producción de alimentos. ³²	Pagan el préstamo en forma de semillas de Jatropha y (si así lo desean) con granos básicos.

Este enfoque está todavía en su fase de diseño en Yoro, Honduras. Será implementado cuando las plantaciones de Jatropha estén en plena producción y nuevos fondos de inversión estén disponibles.

El modelo tiene varias ventajas:

1. La administración del préstamo por la empresa de transformación de biocombustibles en lugar de una institución financiera, reduce los riesgos financieros de varias maneras:
 - Elimina el riesgo de autoconsumo de granos (y por lo tanto la falta de dinero en efectivo al momento de pagar su deuda). Los agricultores pueden sin problema consumir (o vender a terceros) los alimentos producidos como el maíz, ya que el valor de la cosecha de jatropha será suficiente para cubrir el valor total del préstamo.
 - El riesgo de desviación del préstamo o robo se reduce porque todas las transacciones se realizan en especie.
 - El riesgo de los agricultores de vender la Jatropha a terceros es generalmente pequeño, porque estos terceros no existen.

³¹ La presencia de una ONG de desarrollo rural o entidad estatal que está dispuesto a proporcionar préstamos para la producción de granos básicos, sería una gran ayuda.

³² El valor del préstamo para la producción de alimentos se determina sobre la base del valor esperado de la cosecha de Jatropha para el mismo año.



Menos riesgo puede traducirse en un menor costo financiero para los agricultores. A fin de limitar el riesgo, el valor del préstamo puede ser limitado, por ejemplo, al 50% del valor de la cosecha de jatropha que se espera en el año.

2. El modelo permite el acceso a créditos a agricultores que normalmente son considerados "no-bancables" por las instituciones financieras. La empresa de transformación de biocombustible ofrece una garantía colectiva (capacidad de producción, edificios, un plan de negocios bien sustentado, mercados asegurados) que los agricultores individuales no pueden ofrecer.
3. La empresa de transformación tiene la posibilidad de obtener descuentos en la compra de insumos al por mayor. Los costos de la empresa para la administración de los créditos a los agricultores puede cubrirse en gran medida por estos descuento recibidos.
4. La empresa de transformación también, como una tarea adicional, puede actuar como un comerciante de granos para agricultores. Sólo requiere una inversión adicional para almacenamiento de granos en la empresa de procesamiento.
5. En el caso de que la empresa también produzca alimentos (concentrados) para animales, los granos básicos son un ingrediente importante (así como la torta del prensado de las oleaginosas comestibles promovidos por la empresa). El valor añadido que se deriva de esta transformación, pone a la empresa en condiciones de ofrecer precios más altos para los granos básicos que la mayoría de los intermediarios.

Un sistema de vales, como el que se describe en la siguiente sección, puede facilitar estas operaciones. Los préstamos brindados por la empresa de transformación de biocombustible a los agricultores puede ser en forma de vales aceptados en puntos de distribución predeterminados para adquirir insumos agrícolas. Esto reduce la necesidad de capital de trabajo en efectivo de la empresa de transformación y por lo tanto disminuye sus costos financieros.

B. Vales para el desarrollo económico local

Una forma innovadora para que la empresa de transformación obtenga capital de trabajo es la emisión de vales respaldados por los biocombustibles. Estos vales son, básicamente, la deuda de la empresa de transformación, al portador. El vale le da al portador el derecho a comprar biocombustibles a la empresa de transformación por la cantidad correspondiente al valor del vale. La empresa de transformación puede emitir los vales de dos maneras:

- (a) Compras a proveedores: por ejemplo, en la compra de semillas a los agricultores, en el pago de servicios de transporte, pago de personal.
- (b) Préstamos de la empresa a los agricultores (u otros agentes económicos locales).

En la práctica, la emisión será una mezcla de vales y moneda nacional. La proporción de vales aceptable por el receptor dependerá del patrón de gastos y de los incentivos dados por la empresa de transformación (por ejemplo, bonificación, tasa de interés más baja en préstamos, etc.) La introducción de vales sólo es factible cuando se ha llegado a niveles de

producción comerciales y la empresa de transformación se ha ganado un importante nivel de confianza (económica) localmente.



Ejemplo de la moneda local emitida por la empresa de transformación BYSA en Yoro, Honduras.

Las ventajas de este sistema de vales para la empresa de transformación son múltiples:

- (a) Aumento del capital de trabajo a cero costo (en términos financieros, la emisión de vales equivale a recibir un préstamo a un interés del 0%).
- (b) Aumento de las ventas: cada vale gastado en las emisiones, es en el futuro, una venta asegurada.
- (c) Más seguridad: los vales no son interesantes para ladrones y asaltantes. Los vales sólo pueden usarse localmente, por lo que se detecta fácilmente un caso de robo³³.
- (d) Creación de una imagen institucional más fuerte. Los vales llaman la atención de los usuarios y los medios de comunicación, dan lugar a publicidad gratuita y la creación de una imagen positiva.

Las ventajas financieras para la empresa de transformación y el impacto en la economía local pueden mejorarse mediante la promoción de una amplia red de comercios locales (comercio, servicios de transporte, peluquerías, etc.) que acepten los vales. En ese sentido, el sistema de vales también se puede considerar como una herramienta para maximizar el impacto en la economía local por la riqueza creada en la cadena de biocombustibles.

Para ejemplos de trabajo con sistemas de vales en los países en desarrollo, véase el siguiente enlace www.stro-ca.org

³³ De hecho, varias organizaciones contraparte de STRO en Centroamérica han sido víctimas de robos y asaltos a mano armada. En todos los casos los bonos se han tirado o han sido desechados.



6.3. SOSTENIBILIDAD DE ACTIVIDADES DE JATROPHA CURCAS

Autor principal: Winfried Rijssenbeek

6.3.1 Introducción

La sostenibilidad de los biocombustibles se ha convertido en una cuestión de gran interés debido al aumento significativo de la producción de biocombustibles durante los últimos años, impulsado por los crecientes precios del petróleo durante los años 2007-2008 y los programas de estímulo promovidos por distintos gobiernos. Las razones por las cuales los gobiernos promueven la producción y uso de biocombustibles son tres: la mitigación del cambio climático, el apoyo a sus agricultores y la seguridad energética [1].

Desafortunadamente no todos los efectos pueden ser calificados como positivos. Debido al rápido crecimiento del sector, la atención a los biocombustibles se ha intensificado y los efectos se hicieron más visibles. Organizaciones gubernamentales y no gubernamentales temen que la producción no sostenible de biocombustibles cause impactos negativos en la vida de los más pobres, por falta de agua, pérdida de tierra, reducción de la seguridad alimentaria y pérdida de la diversidad biológica [2]. Debido a esto, la producción de biocombustibles debe cumplir una serie de requisitos que conducen a la producción, transformación y utilización sostenible. Los requisitos establecidos en las directrices, criterios e indicadores en estos momentos, todavía se están mejorando.

Muchos países del sur con bajas reservas de combustibles fósiles tienen altas expectativas en los biocombustibles. El biocombustible es a menudo visto como una panacea, ya que ofrece una buena oportunidad para estos países o regiones en desarrollo para la producción independiente de energía y por tanto, menos gasto de divisas. Además, el desarrollo de biocombustibles como sector implica oportunidades de empleo en zonas rurales. En la actualidad, parece que la actitud hacia los biocombustibles se ha convertido en menos positiva en los países más ricos del norte. Es poco probable que los países del sur lleguen a la misma conclusión, simplemente porque se mantiene la promesa de reducir la dependencia de combustibles fósiles importados, de la generación de empleo y de las oportunidades de exportación.

Debe aclararse que el FACT ha incluido este capítulo en el manual, con dos objetivos:

- 1) La sostenibilidad es una necesidad para todos los interesados, ya sean proyectos pequeños o grandes. El objetivo es que las actividades de jatropha se puedan sostener al largo plazo y que los beneficios a los involucrados sean equitativos y sostenidos.

- 2) Para diferentes actores deben aplicarse diferentes criterios de sostenibilidad: un esquema de exportación más amplio de jatropha tiene que considerar criterios diferentes a los de pequeños productores con una producción de una hectárea. En FACT, nos damos



cuenta de que los criterios que más se debatirán son los primeros: aquellos aplicables a proyectos de gran escala.

FACT recomienda tomar en cuenta sólo aquellos criterios que son aplicables a la producción a pequeña escala, ya que son más prácticos y útiles.

6.3.2 Criterios e iniciativas de sostenibilidad

Hay una serie de iniciativas dirigidas por diferentes partes de las que se han realizado los primeros borradores y notas de conceptualización. Algunos han avanzado más, a indicadores más detallados. Algunos criterios son específicos para la biomasa, mientras que otros sólo incluyen la parte de producción de biocombustibles. Unos se enfocan sólo en una especie de planta, mientras que otros se dirigen sólo a proyectos de exportación. A menudo, estas iniciativas iniciaron en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ya que sus gobiernos demandan la sostenibilidad como una condición en iniciativas financiadas o apoyadas a través de sus fondos para el cambio climático. No es posible discutir todos estos proyectos y notas. Los más importantes (la mesa redonda sobre biocombustibles y los criterios de Cramer) se analizan en el apéndice. Como resultado de esta discusión en curso, en el seminario internacional de expertos sobre jatropha, FACT preparó un documento de posición sobre cómo las empresas pueden actuar mejor en el campo de la jatropha. En este documento de posición, los criterios PPP (Gente, Planeta y Beneficio económico, por sus siglas en inglés) se traducen a la producción de Jatropha [3].

FACT sigue el principio 3-P (Gente, Planeta y Beneficio económico, por sus siglas en inglés) en su labor, haciendo hincapié en la necesidad de seguridad alimentaria, el impacto positivo sobre el medio ambiente y la generación de ingresos de los productores locales. Un punto de partida fue el establecimiento de los criterios de sostenibilidad desarrollado por el Gobierno de Holanda (conocidos como los "Criterios de Cramer). Bajo su programa, FACT supervisa la aplicación de estos criterios y trabajara en pro de la mejora de los mismos, teniendo en cuenta otros criterios de sostenibilidad desarrollados, como el de RSB y los criterios más elaborados del NEN 8080.

6.3.3 Criterios provisionales de FACT para el desarrollo sostenible de la producción de Jatropha a gran escala [11]

Gente:

- No se destruyen comunidades rurales y pueblos o estructuras sociales.
- No se infringen tierras comunales o derechos tradicionales de usuarios.
- No se desplazan personas.
- Mejora el empleo local o la generación de ingresos de la población local.
- Se pagan salarios decentes.



- De preferencia, las personas no dependen de una única fuente de ingresos (reducción de riesgos).

El respeto de los medios de vida de la población local, uso de recursos, sus puntos de vista y los derechos tradicionales es una necesidad. Los proyectos deben mejorar el bienestar social y económica de la población local. Idealmente, deben incluir la propiedad local o participación en la cadena de producción. Se deben evitar los riesgos de monocultivo y depender de una sola fuente de ingresos, tanto a nivel de la población involucrada como de la empresa procesadora.

Planeta:

- Tener cuidado en lo que es realmente tierras marginales o en desuso.
- Contaminación ambiental mínima y no permanente en la producción de agroquímicos y fertilizantes.
- Balance de gases de efecto invernadero, la reducción de las emisiones netas en comparación con el combustible fósil, incluyendo en su aplicación.
- No establecer monocultivos
- No utilizar tierras con una alta importancia de biodiversidad.
- De preferencia, establecer cultivos asociados, sobre todo en los primeros años.

Se debe hacer un análisis cuidadoso del uso del suelo, uso de nutrientes y agua para un proyecto a gran escala. En muchos casos, los ejecutores del proyecto descubren más tarde que el terreno previsto para el cultivo ya estaba en uso, por ejemplo, para pastoreo libre, etc.

La producción de biocombustibles puede aprender mucho de la producción de alimentos: no monocultivos, aplicación correcta y oportuna de nutrientes, disponibles los mapas de uso y clasificación de suelos, cultivos intercalados, cultivos asociados, etc. El uso de áreas de conservación y biodiversidad actuales y futuras deben por supuesto, evitarse.

Beneficio económico:

- Preparar planes de negocios claros basados en datos conservadores y comprobados.
- De preferencia, las ganancias de la empresa deben ser reinvertidas en el país.
- La *Jatropha* debe, en primer lugar, abastecer los mercados internos. El uso local, es energéticamente más eficiente y siempre habrá suficiente demanda interna.
- Se debe compartir los beneficios de la empresa con los agricultores y que los agricultores reciban pagos decentes.
- No se generan ganancias excesivas.
- La estabilidad de los ingresos es tan importante como el nivel de los ingresos: la diversificación de la cadena de biocombustibles (por ejemplo, los aceites comestibles



de cultivos asociados) pueden ayudar a la empresa a sobrevivir en tiempos de bajos precios del combustible.

Todos los planes deben ser viables para todas las partes interesadas: el beneficio neto para cada una de las partes puede definirse de manera diferenciada. Algunos verán el beneficio en la generación de empleo, mientras que otros pueden ver los beneficios de obtener energía moderna rural accesible. Esta viabilidad sostenible, puede exigir un marco legislativo sólido para cultivos alimenticios y de biocombustibles que podrían incluir precios mínimos (precios de red segura), esquemas accesibles de ahorro y crédito, y la capacitación y extensión.

La sostenibilidad de los ingresos puede también ser un objetivo, haciendo de los productores partes interesadas en la cadena de transformación de los cultivos de biocombustible a un producto comercial.

Las cuestiones son relevantes para la *Jatropha*, pero también puede aplicarse a otros tipos de biomasa.

Las opciones de biomasa (cuando se aplica a gran escala) pueden tener serios inconvenientes. Para mitigar sus efectos negativos, se deben establecer una larga serie de criterios.

Por eso FACT sostiene que es más eficaz diseñar una operación de biomasa en países en desarrollo por el inmediato desarrollo de la economía local y su compatibilidad con los objetivos del desarrollo sostenible:

- Reducción de la pobreza
- Biodiversidad
- Medio Ambiente
- Desarrollo socioeconómico
- Participación de actores locales

Es por esto que será más fácil crear una operación sostenible y, si tiene éxito, la sostenibilidad se puede ampliar y revisar regularmente utilizando los criterios ya sea de Cramer, RSB u otros.

6.3.4 Conclusión

FACT contribuye a la discusión sobre la sostenibilidad por las multifacéticas prácticas realizadas en sus proyectos piloto. Lo que resulta claro es que el “problema” de la sostenibilidad no existe, ni existe la “solución”. En cada contexto, las iniciativas de



biocombustibles dan lugar a cambios en muchas áreas, algunas positivas, otras negativas. Muchos agricultores y organizaciones no gubernamentales locales consideran que en iniciativas a pequeña escala con agricultores, los efectos positivos parecen ser mayores que los negativos, aunque son necesarias nuevas investigaciones para demostrarlo.

Los debates generales sobre si el desarrollo de biocombustibles es bueno o malo tienen una utilidad limitada si no se tiene información específica sobre las tierras de la región, disponibilidad de mano de obra, modelo de propiedad de la iniciativa, situación de mercado, etc.

En general, se puede concluir que los empresarios de plantaciones a gran escala deberían ser mucho más conscientes de los posibles impactos de su proyecto durante la fase de desarrollo. Con proyectos a gran escala es más fácil hacer daño al medio ambiente y a largo plazo, la contribución al desarrollo económico y social no existirá a menos que sea un objetivo de los desarrolladores del proyecto. Antes de iniciar a la producción de *Jatropha*, los estudios de viabilidad basados en datos conservadores y fiables son muy importantes. Los precios actuales del aceite de *Jatropha* probablemente ofrecen márgenes mínimos de ganancia. Además, los rendimientos son a menudo muy dependientes del contexto. Por ello se recomienda empezar a pequeña escala, desarrollar los conocimientos necesarios para una producción viable y el desarrollo del mercado de los productos finales de la *Jatropha*, teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad. En la actualidad, hay profesionales que afirman que su proyecto o negocio de *jatropha* es sostenible. Sin embargo, todavía la verificación independiente de la sostenibilidad de estos proyectos no está disponible. La verificación involucra cierta complejidad debido a que los criterios de sostenibilidad están en desarrollo por diversos actores y no se han sido probados lo suficiente todavía.

FACT apoya el desarrollo sostenible de producción de biocombustibles, colocando a la generación de ingresos para los pequeños agricultores y la población rural como la más alta prioridad. FACT apoya iniciativas para el uso y aplicaciones locales. Cuando el mercado no es para la exportación y sólo para uso local, debe entenderse que sería muy difícil para los pequeños agricultores y talleres locales cumplir con los estándares de calidad basados en la norma ISO que actualmente se están desarrollando para los criterios de Cramer (por ejemplo, NTA8080). Este grupo tiene un potencial muy grande, por ejemplo alrededor del 70% de la población en el Sahel en África Subsahariana vive en zonas rurales. Por lo tanto, FACT recomienda fuertemente que los criterios desarrollados para las empresas exportadoras, no se aplique a los pequeños agricultores. Es decir, en un esquema de productores subcontratados, los compradores o transformadores son los que tendrán que cumplir con los criterios de sostenibilidad y apoyar a los agricultores con las condiciones necesarias para adherirse a las normas.



Además, FACT recomienda que los gobiernos nacionales de países en desarrollo no apliquen estas normas de exportación orientada a la sostenibilidad de los productores locales por presión de organismos internacionales. Por supuesto, los gobiernos nacionales pueden establecer sus propias normas y FACT recomienda que estas normas sean viables para la población rural, pequeños agricultores y talleres, no imponer condiciones de todo tipo que sólo traen burocracia, y no resultados. La puesta en marcha de proyectos que sean sociales, económicos, ambiental y técnicamente viables requiere de grandes esfuerzos por parte de las organizaciones locales. FACT recomienda el establecimiento de normas en la fase de planificación cuando algunas de las normas pueden abordarse de manera relativamente simple y sin consecuencias.

6.4 REFERENCIAS

- [1] GEXSI, http://www.jatropha-platform.org/documents/GEXSI_Global-Jatropha-Study_ABSTRACT.pdf (p.14).
- [2] “Biocombustibles Yoro Sociedad Anónima”, una empresa de transformación de biocombustible promovida por el Proyecto Gota Verde de FACT. Ver <http://www.gotaverde.org/> y <http://www.fact-fuels.org>.
- [3] FUNDER (Fundación para el Desarrollo Empresarial Rural). Ver: www.funder.hn.
- [4] GEXSI (2008), “Estudio del Mercado Global de Jatropha, Informe Final – Resumen”, p. 28. http://www.jatropha-platform.org/documents/GEXSI_Global-Jatropha-Study_ABSTRACT.pdf
- [5] Ver <http://www.malibiocarburant.com/>
- [6] Ver: http://www.fact-fuels.org/en?cm=204%2C166&mf_id=202 para un informe de los principales hallazgos en el Taller de Chimoio, Noviembre de 2008.
- [7] Alguna literatura sugiere que el embotellado de biogás a pequeña escala no es imposible. Ver: [http://www.idosi.org/wasj/wasj1\(2\)/12.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj1(2)/12.pdf) para un estudio de factibilidad de una instalación en Pakistán.
- [8] Ver por ejemplo la experiencia en Zambia:
http://www.umb.no/statisk/noragric/publications/master/2008_lars_olav_freim.pdf (p. 30)
- [9] Perspectiva: “Sostenibilidad del uso de biodiesel de Jatropha”, WMJ Achten and others, Biofuels, bioproducts & biorefining, ISSN: 1932-104X, 2007.



[10] Producción y uso a pequeña escala de biocombustibles líquidos en África Subsahariana: Perspectivas para un desarrollo sostenible, Documento de antecedentes no. 2, UNDESA, Comisión de Desarrollo Sostenible, Nueva York, 2007.

[11] Revisión de literatura y perspectivas sobre Jatropha: Principales impactos potenciales sociales y ambientales derivados de plantaciones a gran escala, Mayo 2008, Proforest Ltd.

[12] FACT Documento de Posición

Literatura recomendada sobre sostenibilidad

1. Beleidsnotitie milieu en hernieuwbare energie in ontwikkelingssamenwerking, Ministry of Foreign Affairs, November 2008

2. FACT reactie op “Heldergroene Biomassa”, Stichting Natuur en Milieu, www.fact-fuels.org, 30 januari 2008

3. Empoderamiento de comunidades rurales a través del cultivo de energía, Mesa redonda de empresas bioenergéticas en regiones en desarrollo, documento de antecedentes, PNUD, 2008

4. Mesa Redonda sobre biocombustibles sostenibles, principios globales y criterios para la producción sostenible de biocombustibles, versión cero, école polytechnique fédérale de Lausanne, Energy Center, 2008. Title: Version Zero - Principles for sustainable biofuels Version 0.0 (August 2008) RSB-Steering Board (<http://cgse.epfl.ch/Jahia/site/cgse/op/edit/lang/en/pid/70341>)

5. El estado de los alimentos y la agricultura, biocombustibles: oportunidades y riesgos, FAO, 2008, ISSN 0081-4539

6. Nota de Discusión: Biomasa Sostenible para la Reducción de la Pobreza etc., 19/07/07 tbv Taller de Alimentos y Energía WR

7. Filosofía de 2 productos Prof. Kees Daey Ouwens

APÉNDICE DEL CAPÍTULO 2: ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE PLANTACIONES

Tabla 12 - Remoción de nutrientes de una tonelada de semilla seca de *Jatropha* en comparación con otros cultivos de semillas oleaginosas.

Tabla 18. Comparativo de la composición aproximada de nutrientes por tonelada métrica (TM) de producto.

Parámetro		Canola	Girasol	Cacahuete	Jatropha
		Semillas	Semillas	Vainas	Semillas secas
Producción	kg/ha/año	1,000	1,000	1,000	1,000
N	Kg	93	37	55	33
P2O5	Kg	37	25	14	4
K2O	Kg	100	110	23	27
Ca	Kg	0			7
Mg	Kg	11	20	11	5
S	Kg	26	0	8	2

Fuente: FAO, "First three crops plant nutrition for food security", capítulo 8.

Tabla 13 - Rendimientos en caso de: suministro óptimo de agua (lluvia de 1,200 – 1,500 mm)

Fertilidad del suelo	Bioenergía	Semillas secas (kg/ha/año)	Cáscaras de fruta húmedas (kg/ha/año)	Aceite (kg/ha/año)	Residuo del prensado (kg/ha/año)	Energía producida (kWh/ha/año)
Alta	cosecha (kg)	6,000	18,000	1,200	4,800	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	600	n.d.	2,400	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	1,200	4998	4,800	10,998
Media	cosecha (kg)	2,500	7,500	500	2,000	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	250	n.d.	1,000	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	500	2,083	2,000	4,583
Baja	cosecha (kg)	750	2,250	150	600	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	75	n.d.	300	n.d.
	electricidad	n.d.	150	625	600	1,375



	(kWh)					
--	-------	--	--	--	--	--

Tabla 14 - Rendimientos en caso de suministro de agua normal (lluvia de 700 – 1,200 o 1,500 – 2,500 mm).

Fertilidad del suelo	Bioenergía	Semillas secas (kg/ha/año)	Cáscaras de fruta húmedas (kg/ha/año)	Aceite (kg/ ha/año)	Residuo del prensado (kg/ha/ año)	Energía producida (kWh/ha/año)
Alta	cosecha (kg)	3,500	10,500	700	2,800	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	350	n.d.	1,400	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	700	2,916	2,800	6,416
Media	cosecha (kg)	1,500	4,500	300	1,200	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	150	n.d.	600	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	300	1,250	1,200	2,750
Baja	cosecha (kg)	500	1,500	100	400	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	50	n.d.	200	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	100	417	400	917

Tabla 15 – Rendimientos en caso de suministro de agua inadecuado (lluvia de 500 – 700 mm o > 2500 mm)

Fertilidad del suelo	Bioenergía	Semillas secas (kg/ha/año)	Cáscaras de fruta húmedas (kg/ha/año)	Aceite (kg/ ha/año)	Residuo del prensado (kg/ha/ año)	Energía producida (kWh/ha/año)
Alta	cosecha (kg)	1,500	4,500	300	1,200	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	150	n.d.	600	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	300	1,250	1,200	2,750
Media	cosecha (kg)	750	2,250	150	600	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	75	n.d.	300	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	150	625	600	1,375
Baja	cosecha (kg)	250	750	50	200	n.d.
	biogas (m3)	n.d.	25	n.d.	100	n.d.
	electricidad (kWh)	n.d.	50	208	200	458

Tabla 16 - Plagas y enfermedades de la *Jatropha curcas*

Nombre	Daños provocados y síntomas	Fuente
<i>Aphthona</i> spp. (escarabajo pulga dorado)	Daño en las hojas, las larvas dañan las raíces.	[1] & [2]
<i>Aphthona dilutipes</i> Jacoby (escarabajo pulga amarillo)	Daño severo en las hojas, daño en la raíz y muerte de la planta.	[1] & [2]
<i>Phytophthora</i> spp., <i>Pythium</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., etc.	Caída, pudrición de raíces.	[3]
<i>Fusarium moniliforme</i>	Manchas foliares.	[4]
<i>Helminthosporium tetramera</i>	Manchas foliares.	[5]
<i>Pestalotiopsis paraguayensis</i>	Manchas foliares.	[5]
<i>Pestalotiopsis versicolor</i>	Manchas foliares.	[6]
<i>Cercospora jatrophae-curces</i>	Manchas foliares.	[7]
<i>Julus</i> sp. (cienpiés)	Pérdida total de plántulas.	[3]
<i>Oedaleus senegalensis</i> (saltamontes)	Daños foliares y a las plántulas.	[3]
Lepidopterae larvae	Galerías en hojas.	[3]
<i>Pinnaspis strachani</i> (escamas)	Daños en las ramas.	[8]
<i>Ferrisia virgata</i> (áfido lanoso)	Daños en las ramas.	[8]
<i>Calidea dregei</i> (escarabajo azul)	Succión de frutas, aborto prematuro de frutas y malformación de semillas.	[8]
<i>Nezara viridula</i> (chinche verde)	Succión de frutas, aborto prematuro de frutas y malformación de semillas.	[8]
<i>Spodoptera litura</i>	Las larvas se alimentan de las hojas.	[9]
<i>Indarbela</i> spp.	Daño en la corteza.	[10]
<i>Clitocybe tabescens</i>	Pudrición de raíces.	[10]
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Manchas foliares.	[10]
<i>Phakopsora jatrophaicola</i>	Roya.	[10]
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Pudrición de collar de la planta.	[11] & [4]
<i>Rhizoctonia bataticola</i>	Pudrición de collar de la planta.	[11]
<i>Pachycoris klugii</i> Burmeister (Scutelleridae)	Succión de frutas, aborto prematuro de frutas y malformación de semillas.	[12]
<i>Leptoglossus zonatus</i> (Coreidae)	Succión de frutas, aborto prematuro de frutas y malformación de semillas.	[12]
<i>Achaea janata</i>		[13]
<i>Stomphastis thraustica</i> (blister miner)	Daño foliar.	[13]

APÉNDICE DEL CAPÍTULO 3: COSECHA

3.1 REGLAS DE ORO

Los lineamientos para el proceso de recolección (cosecha) son:

- Medir en el campo, el rendimiento de la recolección de semillas secas por hora, pidiéndole a un número de personas que recolecten;
- Busque plantaciones existentes de *Jatropha* que se encuentran en producción, para estimar la curva de rendimientos durante todo el año. Esto puede mejorar su entendimiento y realizar una mejor predicción del rendimiento de su propio campo y las necesidades de almacenamiento;
- No iniciar la producción de *Jatropha* en una zona donde los costos de mano de obra superan los 4 dólares americanos por día;
- Lo más probable es que sea más atractivo para un agricultor pagar la mano de obra por semilla recogida que por hora o por día;
- En campos de *Jatropha* con alto rendimiento se requieren aproximadamente 8 horas/ persona para recolectar aproximadamente 60 kg de semilla seca;
- Proporcionar a los recolectores herramientas apropiadas, canastas y capacitarlos sobre cómo recolectar de manera más eficaz;
- Donde la mano de obra es costosa, vale la pena experimentar con plantaciones en las que se deje espacio para el paso de tractores y carros de recolección;
- La densidad en volumen de las semillas secas de *Jatropha* es de aprox. 400 kg/ m³;
- Una hectárea puede producir de 0 a 6 toneladas de semilla por hectárea en el cuarto año de establecimiento de la plantación. Para obtener valores altos se requieren niveles óptimos de nutrientes en el suelo, clima adecuado, suficiente suministro de agua y selección de semillas de alto rendimiento. En ese sentido, todo está en función de los insumos y costos, y el equilibrio en cuanto a la rentabilidad de la inversión!

3.2 CONSEJOS Y TRUCOS

A continuación se dan algunos consejos en relación con la post-cosecha:

- Una planificación cuidadosa es vital para el cultivo exitoso de *Jatropha*;

- Optimizar el rendimiento de la Jatropha: la incorporación de grandes cantidades de nutrientes quizá no valdría la pena, sin embargo, cuando se da un agotamiento de nutrientes los rendimientos descenderán gradualmente;
- En cuanto a las experiencias en la región con Jatropha, es posible entrevistar a agricultores y propietarios de prensas para conocer los factores positivos y negativos en el cultivo de Jatropha. Se puede aprender mucho y así evitar los mismos errores.

APÉNDICE DEL CAPÍTULO 4: EXTRACCIÓN DEL ACEITE (PRENSADO) Y PURIFICACIÓN

4.1 EXPERIENCIA PRÁCTICA CON PRENSAS Y JATROPHA

Los institutos de investigación, pequeñas y medianas empresas y particulares han adquirido experiencia en el tema de prensado mecánico de las semillas de Jatropha Curcas en los últimos años. Un breve resumen de los resultados de algunas de los hallazgos de estas actividades se presentan a continuación [1,5,8]:

Malí: Proyectos de Jatropha de FACT en Bamako y Garalo, Enero de 2008

En un informe de progreso, Mara Wijnker, M.Sc., los miembros del equipo FACT reportan: Actualmente se encuentra disponible una prensa pequeña con capacidad de 14 litros / hora. Esta fue producida localmente por el taller militar de Bamako. La prensa presenta dificultades al prensar las semillas cuando son viejas (y secas) debido a su dureza.

Honduras: Proyecto Gota Verde actualización hecha en Enero 2008

Una prensa Taby de 40A (Amperios) se importó de Suecia, en octubre de 2007. La prensa ha sido probada en el Centro de Educación Vocacional Evangélico y Reformado “Dr. Ned Van Steenwyk” (CEVER). La capacidad de la prensa es de unos 20 kilogramos de semillas de Jatropha secas por hora. El aceite obtenido tuvo un rendimiento relativamente bajo (20%). se requiere mayor investigación para determinar si el bajo rendimiento se debe a un bajo contenido de aceite en las semillas o debido a la eficiencia de la prensa. Por otra parte, el eje de prensa no aguantó la presión y se rompió en dos partes; la razón exacta de este daño todavía se investiga.

Honduras: Proyecto Gota Verde

Joost Fokkink de Biocombustibles BV ha establecido la producción local y uso de una prensa de tipo cilindro hueco para el proyecto Gota Verde en Honduras. La prensa se basa en Taby y los diseños BT. La capacidad de procesamiento es de 8,5 kg / hora con un rendimiento de aceite del 23%. Algunas adaptaciones deben realizarse para su uso con Jatropha debido a



que, el primer prototipo fue dañado después de prensar una pequeña cantidad de semillas de jatropha.

Dinamarca: Dajolka

Niels Ansø en nombre de Dajolka ha estado involucrado en actividades relacionadas a los biocombustibles durante muchos años. Niels hizo algunos experimentos con semillas de Jatropha en una prensa de tornillo BT50; sus principales hallazgos fueron que la prensa funciona mejor cuando las semillas son aplastadas antes de ser prensadas. Además, reportó la presencia de grandes cantidades de sedimentos cuando el aceite sale de la prensa, lo que hace más el tratamiento del aceite más difícil.

Holanda: Universidad Tecnológica de Eindhoven

En el año 2007 Peter Beerens hizo su tesis de maestría basada en la aplicación de la prensa de tornillo para Jatropha en países en desarrollo. De las pruebas realizadas en la Universidad Tecnológica Eindhoven y en Diligent Energy Tanzania se obtuvieron algunos hallazgos interesantes en el proceso. Se realizaron pruebas con Jatropha utilizando las siguientes prensas:

- La Bio Prensa BT Tipo 50 (prensa de cilindro agujereado), con una capacidad de 12 kilogramos de semillas de Jatropha / hora.
- Prensa Sayari (prensas de filtro), con una capacidad de 70 kilogramos de semillas de Jatropha / hora.
- KEK Keller P0101 (prensas de filtro), con una capacidad de 70 kilogramos de semillas de Jatropha / hora.
- Reinartz AP08 (prensas de filtro), con una capacidad de 300 kilogramos de semillas de Jatropha / hora.

Los hallazgos más importantes de las pruebas con estas prensas fueron los siguientes:

- Las prensas filtro tiene características superiores desde el punto de vista operacional. El tamaño grande de las semillas de Jatropha y cantidad relativamente grande de cáscaras hace que las prensas de cilindro agujereado se obstruyan de manera rápida. Es más fácil limpiar la obstrucción de prensas filtro que en prensas de cilindro agujerado.
- Con una configuración adecuada de la prensa, la recuperación del aceite puede ser de alrededor del 85%. Esto significa que el 85% del aceite presente en las semillas es extraído, lo que equivale a 35 litros de aceite crudo en 100 kilogramos. Después de



filtrado, el aceite ya limpio es de 25-28 litros listo para su uso. Este dato es igual con el uso de los dos tipos de prensas (filtro y cilindro agujereado).

- Todas las pruebas revelaron una alta cantidad de sedimentos que oscilan entre 20-60%. Este sedimento contiene aproximadamente 50% de aceite. Ya sea a través de una reducción en la cantidad de sedimento o un método de filtrado adecuado para cantidades tan grandes de materiales sólidos, podrían aumentar la cantidad de aceite limpia con un 10-15 puntos porcentuales.
- Se ha alcanzado mejor eficiencia a bajas revoluciones (30-40 RPM para el BT50) lo que significa un rendimiento inferior en kg/ hr. Optimizar el tamaño de la boquilla conduce a un aumento en la recuperación de aceite de alrededor del 10% para una prensa de cilindro agujereado y hasta el 6% para la prensa filtro. Además de la configuración de la prensa, también la condición de las semillas influye la recuperación del aceite. La recuperación del aceite es mayor cuando existe baja humedad en las semillas (2-4%) y éstas están enteras y con sus cáscaras.
- No se encontraron resultados consistentes sobre el efecto del nivel de humedad y la temperatura en la calidad del aceite.
- Se prevé que las temperaturas de aceite por encima de 70 °C aumentan la cantidad de fósforo en el aceite; se requieren pruebas adicionales para confirmar esto.

Holanda: Universidad de Wageningen y Centro de Investigación, Departamento de Tecnología de Alimentos

La Universidad de Wageningen ha iniciado un programa de investigación del prensado de semillas de *Jatropha* desde finales del 2007. Su elección de utilizar la prensa filtro De Smet Rosedowns (MINI 200) confirma la sugerencia de Peter Beerens del uso de las prensas de filtro para el prensado de semillas de *Jatropha Curcas*. Actualmente (2009) la Universidad de Wageningen comenzó hacer pruebas prácticas con el MINI 200 y pretende hacer un diseño mejorado de la prensa para su uso con semillas de *Jatropha* .

Alemania: Reinartz Maschinenfabrik GmbH & Co. KG

En junio de 2006 Reinartz Maschinenfabrik GmbH & Co. KG llevó a cabo ensayos con semillas de *Jatropha* junto con Peter Beerens. Los resultados mostraron una recuperación de aceite del 90% bajo condiciones mejoradas.

Alemania: Egon Keller GmbH & Co KG

En junio de 2006 Egon Keller GmbH Co KG llevó a cabo ensayos con *Jatropha* junto con Peter Beerens. Los resultados mostraron una recuperación del aceite del 80% en valores normales. Se hicieron también pruebas que muestran mayor producción de aceite. Sin



embargo, Keller recomendó no utilizar estos parámetros debido al desgaste al cual la máquina es expuesto debido al aumento drástico de las presiones y fricción.

Honduras: Proyecto Piloto FACT Gota Verde

En abril de 2008, se construyó una prensa local en Honduras basada en los planos proporcionados por Joost Fokkink (www.biofuels.nl). El diseño se basó en la prensa de cilindro agujereado Taby Tipo70. Durante las primeras pruebas, la prensa corrió un 50% de la velocidad nominal, aproximadamente 25Hz. A esa velocidad la prensa tenía una capacidad de 8.5 kg de semillas de Jatropha por hora. Con una eficiencia del 22.8% de aceite limpio. Para el aceite de ricino se logró una capacidad de 13 kilogramos por hora y una eficiencia del 28%.

Mozambique: Proyecto Piloto FACT de Mozambique con la Finca Privada de EVRETZ en Chimoio.

Brendon Evans a través de EVRETZ, utilizó prensas de semillas de algodón, con dos 6YL-95 prensas de semillas de algodón del tipo Doble Elefante, hechas en China. Uno de ellas fue comprada a través de ATA en Zimbabwe y la otro en Sudáfrica. La prensa de Zimbabwe está funcionando mejor. Su experiencia con estas prensas de filtro es que el rendimiento del aceite es muy bajo (no hay número específico disponible). Al hacer un triturado previo de las semillas (por ejemplo, con un molino de martillo) parece mejorar la recuperación de aceite. Después de un corto tiempo de operación, los rodamientos se desgastaron y Brendon los sustituyó por unos de SKF. En el 2008 reportó que las máquinas estaban dando resultados bastante buenos. El mantenimiento se limita a la sustitución completa del gusano (que es en partes) en el término de un año.

Él conoce 10 de estas prensas que se encuentran en manos de varios propietarios en la región, y que están muy satisfechos con su uso.

4.2 INFORMACIÓN SOBRE FABRICANTES DE PRENSAS





manufacturer	model	press type: strainer (ST) or cylinder hole (CH)	capacity according to manufacturer, if not available calculated capacity (kg/h seed)	capacity Jatropha (kg/h seed)	minimum operation configuration price (€) (excl. feeder, filter)	price per kg/h seed (€)	Manual (M), Electric (E), Diesel (D)	power (kW)	size - length (m)	size - width (m)	size - height (m)	net weight press (kg)	city, country
KickStart Tanzania (previously ApproTEC)	Mafuta Mali	-	10	7	181	18.1	-	-	-	-	-	-	Bagamoyo, Tanzania
Camartec	Bielenberg Ram Press	-	10	7	200	20	M	-	-	-	-	-	Arusha, Tanzania
BT Maskinfabrik	BT30	CH	9	8	-	-	-	-	-	-	-	-	Dybvad, Denmark
BT Maskinfabrik	BT40	CH	25	18	2,893	107	-	-	-	-	-	-	Dybvad, Denmark
BT Maskinfabrik	BT50	CH	29	20	3,487	126	E	-	-	-	-	-	Dybvad, Denmark
BT Maskinfabrik	BT60	CH	68	39	6,634	101	E	-	-	-	-	-	Dybvad, Denmark
BT Maskinfabrik	BT100	CH	112	78	9,927	89	E	-	-	-	-	-	Dybvad, Denmark
Cimbria SKETGmbH	KP15	ST	285	200	-	-	E	11	2850	1090	500	2100	Thisted, Denmark
Cimbria SKETGmbH	KP21	ST	1042	729	-	-	E	57	6700	1800	900	7500	Thisted, Denmark
Cimbria SKETGmbH	KP26	ST	1200	840	-	-	E	132	7100	2200	1100	13200	Thisted, Denmark
De Smet Rosedowns Limited	Mini 40 electric	ST	40	28	10,668	267	E	4	0.70	0.85	1.45	200	Hull, UK
De Smet Rosedowns Limited	Mini 40 diesel	ST	40	28	-	-	D	4	0.88	0.96	0.70	500	Hull, UK
De Smet Rosedowns Limited	Mini 100	ST	100	70	26,001	280	E	7.5	1.5	0.375	0.5	500	Hull, UK
De Smet Rosedowns Limited	Mini 200	ST	200	140	26,335	127	E	16	2.2	0.88	0.84	900	Hull, UK
De Smet Rosedowns Limited	Mini 500	ST	275	193	29,338	107	E	22	2.3	0.7	0.85	900	Hull, UK
Frandsen Ecotec ApS	40-1	-	100	70	13,415	134	E	-	-	-	-	-	Hobro, Denmark
Goyum screw presses	Goyum 60	-	210	147	-	-	-	14	2.9	0.96	2.16	-	Ludhiana, India
Goyum screw presses	Goyum 100	-	250	175	-	-	-	16	2.175	1.1	2.2	-	Ludhiana, India
Hansen A/S, ABC	80	-	80	58	7,271	91	E	-	-	-	-	-	Randers, Denmark
Hansen A/S, ABC	300	-	300	210	38,488	128	E	18	-	-	-	-	Randers, Denmark
Heizomat GmbH	Heizopress S1	-	10	7	3,649	385	E	0.55	-	-	-	-	Gunzenhausen, Denmark
Henan Doubleelephants Machinery Co LTD	6YL-120	-	200	140	-	-	-	11	1650	630	2380	880	Henan, China
Henan Doubleelephants Machinery Co LTD	ZX-105A	-	250	175	-	-	-	11	2300	1780	1950	980	Henan, China
Hybren ApS	Hybren 60	CH	60	42	8,800	147	E	1.2	-	-	-	-	100 Uggerby, Denmark
IBG Monforts	Komet CA 95 1-H	CH	2	1	1,650	826	M	-	0.80	0.45	0.48	30	Mönchengladbach, Germany
IBG Monforts	Komet CA59G	CH	7	5	3,600	514	E	1	0.70	0.30	0.40	80	Mönchengladbach, Germany
IBG Monforts	Komet D85-1G	CH	18	13	8,600	472	E	3	1.25	0.60	0.55	210	Mönchengladbach, Germany
IBG Monforts	Komet DD85G	CH	35	25	11,900	340	E	3	1.25	0.60	0.55	210	Mönchengladbach, Germany
IBG Monforts	Komet S120F	CH	85	60	21,475	253	E	7.5	1.67	0.83	1.32	440	Mönchengladbach, Germany
Karl Strähle	SK 60/1	ST	14	10	3,468	248	E	2.2	0.75	0.85	2.30	135	Dettingen, Germany
Karl Strähle	SK 60/2	ST	17	12	5,836	343	E	2.2	0.75	0.85	2.30	194	Dettingen, Germany
Karl Strähle	SK 130/3	ST	130	91	20,391	157	E	7.5	2.33	0.93	0.76	750	Dettingen, Germany
Karl Strähle	SK 190/1	ST	300	210	41,801	139	E	22	4.02	1.07	1.16	4500	Dettingen, Germany
Karl Strähle	SK 190/1	ST	500	350	64,231	128	E	30	5.38	1.20	1.46	7000	Dettingen, Germany
KEK-Egon Keller GmbH & Co	KEK-P0020	CH	20	14	5,100	256	E	2.2	1.5	0.7	0.81	138	Remscheid-Hasten, Germany
KEK-Egon Keller GmbH & Co	KEK-P0101	ST	100	70	17,540	176	E	7.5	2.24	1.1	1.6	920	Remscheid-Hasten, Germany
KEK-Egon Keller GmbH & Co	KEK-P0500	ST	500	350	61,150	122	E	22	4.08	1.59	2.03	3700	Remscheid-Hasten, Germany
Mecanique Moderne, La	Oléane 50	ST	50	35	5,000	100	E	2.2	1.1	0.4	0.5	110	Arras Cedex, France
Mecanique Moderne, La	Oléane 100	ST	105	74	9,000	96	E	5.5	1.35	0.6	0.65	230	Arras Cedex, France
Mecanique Moderne, La	MBU 20	ST	100	70	16,400	184	E	7.5	1.975	0.805	0.875	880	Arras Cedex, France
Mecanique Moderne, La	MBU 40	ST	200	140	25,700	129	E	15	2.318	0.867	0.867	-	Arras Cedex, France
Mecanique Moderne, La	MBU 75	ST	400	280	57,700	144	E	22	2.95	1.795	1.392	-	Arras Cedex, France
New Dawn Engineering	Cooking Oil Press	-	12	8	700	58	-	-	-	-	-	-	Manzini, Southern Africa
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 08	ST	30	21	10,603	353	E	3.4	1.8	0.5	0.8	400	Neuss, Germany
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 10/06	ST	70	49	19,900	284	E	7.5	1.9	0.6	1.1	900	Neuss, Germany
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 12	ST	160	112	28,327	177	E	16	2.7	0.7	1.2	2000	Neuss, Germany
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 14/22	ST	250	175	43,330	173	E	22	3.41	0.99	1.23	2800	Neuss, Germany
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 14/30	ST	400	280	63,211	158	E	30	3.63	0.76	1.22	3000	Neuss, Germany
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 15	ST	750	525	124,894	187	E	46	4.87	1.47	1.68	9200	Neuss, Germany
Reinartz GmbH & Co. KG, Maschinenfabrik	AP 25	ST	1500	1050	221,750	148	E	90	6.885	1.82	2.07	21500	Neuss, Germany
Skeppsta Maskin AB	Täby T20	CH	6	4	909	152	E	0.55	0.4	0.4	0.43	11.2	Örebro, Sweden
Skeppsta Maskin AB	Täby T40a	CH	12	8	2673	223	E	1.1	0.97	0.26	0.3	46	Örebro, Sweden
Skeppsta Maskin AB	Täby T55	CH	28	20	5,045	180	E	1.5	1.02	0.35	0.3	64	Örebro, Sweden
Skeppsta Maskin AB	Täby T70	CH	50	35	7,407	148	E	2.2	1.22	0.3	0.31	95	Örebro, Sweden
Skeppsta Maskin AB	Täby T90	CH	95	67	10,520	111	E	4	1.42	0.4	0.37	160	Örebro, Sweden
Swea Produktion A/S	Swea-15	CH	-	-	3,000	-	E	3	-	-	-	-	Kolding, Denmark
Swea Produktion A/S	Swea-40	CH	30	21	6,000	200	E	1.5	-	-	-	-	Kolding, Denmark
Swea Produktion A/S	Swea-PP	CH	-	-	-	-	E	-	-	-	-	-	Kolding, Denmark
Tiny Tech	Tiny Oil Mill	ST	125	88	9,600	76	ED	9	-	-	-	-	Rajkot, India
United Oil Mill Machinery & Spares Private Ltd	UMAS' TIGER MK-I	ST	-	-	-	-	ED	-	-	-	-	-	New Delhi, India
United Oil Mill Machinery & Spares Private Ltd	UMAS' TIGER MK-II	ST	-	-	-	-	ED	-	-	-	-	-	New Delhi, India
Vyahu Trust	Sayari (diese)	ST	90	63	1,940	22	D	5.6	1182	1430	904	-	Morogoro, Tanzania
Vyahu Trust	Sayari (electric)	ST	90	63	2,200	24	E	7.6	1182	1430	904	322	Morogoro, Tanzania
Universal Equipment Industries	Sundhara	?	100	70	1,100	no eng.	-	7.6	1182	1430	904	322	Bahumukhi Path, India
W. König	W. König	?	15	11	1,028	68	E	-	-	-	-	-	Weihenhof, Denmark
W. Unsöld	W. Unsöld	?	130	91	16,413	126	E	-	-	-	-	-	Herrenberg, Denmark
Mr. Gräf	Mr. Gräf	?	750	525	77,960	104	E	-	-	-	-	-	Ufenheim, Denmark
Yenga hand press	Yenga hand press	?	-	-	-	-	M	-	-	-	-	-	-

Conversion factors for capacity calculation	
seed	factor
General capacity	1
Rapeseed	1
Jatropha	0.7

Conversion factors currency	
monetary unit	value
Euro, EUR	1.00
Danish Krone, DKK	0.13415
British Pound, GBP	1.3334
Swedish Krone, SEK	0.10735
Tanzanian Shilling	0.00060640
Us Dollar, USD	0.68204

Note on oil presses for pilot projects FACT, Jan de Jongh & Peter Beeren

Disclaimer: Although the greatest possible care has been exercised in the construction of this document by Agrotechnology and Food Innovations B.V., the possibility exists that certain information in time is outdated or incomplete. Agrotechnology and Food Innovations B.V. does not guarantee the topicality and completeness of the information contained in this document and is on no account liable for any direct or indirect damage which arises from the use of the information contained on this document.

APÉNDICE DEL CAPÍTULO 5: APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE JATROPHA

5.1. HOJAS DE DATOS DE ESTUFAS

5.1.1 Estufa de aceite vegetal “Protos”



Fuente: Informe: Estufa de aceite vegetal para países en desarrollo, Elmar Stumpf y Werner Mühlhausen, Instituto de Ingeniería Agrícola en Trópicos y Subtrópicos, Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania.

<http://w1.siemens.com/responsibility/en/sustainable/Protos.htm>

<http://www.bsh-group.com/index.php?page=109906>

Introducción

La estufa de aceite vegetal PROTOS fue desarrollada en el año 2004. Esta inusual estufa funciona con aceites vegetales crudos o refinados tales como el aceite de coco, de girasol, de colza, de Jatropha, de ricino, de maní y de semilla de algodón. Excepto por el quemador, esta estufa puede ser producida a nivel local creando fuentes de empleo. Más de 500 estufas PROTOS han sido probadas en las Filipinas, India, Indonesia, Sudáfrica y Tanzania. La forma en que funciona esta estufa es bastante simple. Una bomba de aire da presión a un tanque lleno de aceite. Como resultado, el aceite es forzado a través de un tubo vaporizador de acero inoxidable, donde se vaporiza por la aplicación de calor. Un calentador de etanol se instala debajo de la boquilla igual al utilizado en la mayoría de pequeños quemadores utilizados en los camping. El combustible vaporizado, se canaliza a través de una boquilla, mezclándose con el aire del ambiente en la cámara de combustión y produce una llama azul. El aceite debe ser precalentado a 180-260 °C antes de que se produzca la ignición. La fuerza de la llama puede ser regulada por medio de una válvula en la tubería de aceite. La desventaja de la estufa de la 'Protos' es el alto nivel de ruido que se produce cuando está funcionando (“Pflanzenölkocher sollen den Regenwald retten”, Handelsblatt, 8 de junio de 2006).

Especificaciones

Datos del Proveedor: BSH (Bosch y Siemens Hausgeräte GmbH)

Distribuidores en los países: La estufa Protos ha sido probada en las Filipinas, India, Indonesia, Sudáfrica y Tanzania.

Capacidad: 1.6-3.8 kW con una eficiencia de combustible de 40-50%

¿Cómo se mide la calidad de la producción y / o control? Investigación por parte del proveedor.

Potencia de entrada requerida: 2 litros de aceite por semana para una familia de 4-5, > 100 litros por año.

Requisitos de operación: 1 persona durante la cocción.

Mantenimiento requerido y piezas de repuesto: limpieza frecuente del quemador cada vez que se utiliza.

Tiempo de inactividad para mantenimiento: desconocido.

Dimensiones: Aproximadamente 30 x 30 x 30 cm.

Costos: precio de venta tentativo € 30 (Elmar Stumpf, BSH Bosch)

Emisiones: diez veces menor que con uso de queroseno de alta calidad.

Preguntas

¿Cuántas estufas de este tipo se han instalado? Más de 500 estufas probadas en más de 100 hogares en Las Filipinas.

¿Cuántas están en funcionamiento? Desconocido

¿Quién es el proveedor de este equipo? BSH Bosch y Siemens Hausgeräte GmbH

¿Cuál es la facilidad, rapidez y fiabilidad de la cadena de suministro, de nuevos equipos y de piezas de repuesto? El tiempo de cocción se reduce a 30-40% en comparación con las estufas de leña (Estufa de aceite vegetal Protos de BSH Bosch y Siemens Hausgeräte GmbH).

¿Es posible la capacitación de operadores? Por quién? BSH Bosch y Siemens Hausgeräte GmbH.

¿Cuáles son las experiencias de usuario? Según BSH Bosch la introducción en Tanzania tuvo éxito: los usuarios de la estufa Protos se mostraron positivos.

5.1.2 Estufa Kakute



Introducción

La estufa Kakute ha sido desarrollada por Kakute en colaboración con TIRDO (Investigación y Desarrollo Industrial de Tanzania). Todavía no hay información clara sobre si las estufas han sido vendidas comercialmente.

La GTZ probó las estufas Kakute junto con Green Mad en Madagascar. La estufa fue provista por SOLTEC y el aceite por ERI ubicado en Fianarantsoa. El principal objetivo de la prueba fue encontrar mechas aptos para su uso con *Jatropha*. Los mejores resultados se obtuvieron con mechas de lámparas de petróleo y crepé. Incluso con estas mechas se atenúa la llama después de 15-25 minutos de uso. La temperatura del agua en la mayoría de los casos no se incrementa más allá de 80 °C (Erik Jan Rodenhuis, Werkgroep Ontwikkelingstechnieken).

Fuente: <http://www.bioenergylists.org/kakutestove>

Especificaciones

Datos del Proveedor: Kakute junto con TIRDO

Distribuidores en los países: Tanzania.

Capacidad: desconocido.

¿Cómo se mide la calidad de la producción y / o control? desconocido.

Potencia de entrada requerida: desconocido.

Requisitos de operación: 1 persona durante la cocción.

Mantenimiento requerido y piezas de repuesto: desconocido.

Tiempo de inactividad para mantenimiento: desconocido.

Dimensiones: Aproximadamente 30 x 30 x 30 cm.

Costos: desconocido.

Preguntas

¿Cuántas estufas de este tipo se han instalado? ninguno.

¿Cuántas están en funcionamiento? ninguno.

¿Quién es el proveedor de este equipo? Kakute junto con TIRDO

¿Cuál es la facilidad, rapidez y fiabilidad de la cadena de suministro, de nuevos equipos y de piezas de repuesto? desconocido.

¿Es posible la capacitación de operadores? Por quién? desconocido.

¿Cuáles son las experiencias de usuario? desconocido.

5.1.3 Estufa de semillas de *Jatropha curcas* L. "UB - 16"



Introducción

Esta estufa funciona con las semillas de *Jatropha* en lugar de su aceite. Se debe eliminar la cáscara de semillas para obtener una mejor combustión, ya que el contenido de energía por unidad de masa es mayor para el núcleo de la semilla. Fuente: <http://www.fierna.com/English/UB-16.htm>

Especificaciones

Datos del Proveedor: desconocido.

Distribuidores en los países: desconocido.

Capacidad: 300 gramos de semillas.

¿Cómo se mide la calidad de la producción y / o control? Se necesitan 8 minutos para hervir 1,500 mililitros de agua. La eficiencia energética se ha calculado en 58% basado en el tiempo de calentamiento requerido para 1 litro de agua.

Potencia de entrada requerida: 200 gramos de semillas despulpadas son capaces de mantener un fuego de 60 minutos. Con base de 10-15 litros de agua hirviendo por día y para

el total de energía requerida por una familia se necesitan 100-150 kilogramos de semillas de *Jatropha Curcas L* por familia al año.

Requisitos de operación: 1 persona durante la cocción.

Mantenimiento requerido y piezas de repuesto: desconocido.

Tiempo de inactividad para mantenimiento: desconocido.

Peso: 12 kilogramos.

Dimensiones: Aproximadamente 27x 27 x 27 cm.

Costos: desconocido.

Preguntas

¿Cuántas estufas de este tipo se han instalado? ninguno.

¿Cuántas están en funcionamiento? ninguno.

¿Quién es el proveedor de este equipo? Desconocido.

¿Cuál es la facilidad, rapidez y fiabilidad de la cadena de suministro, de nuevos equipos y de piezas de repuesto? desconocido.

¿Es posible la capacitación de operadores? Por quién? desconocido.

¿Cuáles son las experiencias de usuario? Desconocido.

Además de las tres estufas mencionadas, se encontró información sobre algunas otras estufas. Debido a que el nivel de detalle de la información es muy limitado, a continuación se presentan las imágenes de dichas estufas con el fin de proporcionar al lector ideas creativas.



Estufa Natur

<http://suar-group.indonetwork.net/962986/kompor-minyak-jarak-pagar-naturstove-jatropha-curcas-oil.htm>



Estufa Hanjuang de Java



Estufa de pasta de Jatropha West Nusa Tenggara



Estufa de ITB
www.jatropha.de



Estufas marca Butterfly
www.jatropha.de



Estufa Kakute, Tanzania
<http://www.bioenergylists.org/kakute>
[stove](http://www.bioenergylists.org/kakute)



Estufa Aristo del Grupo Ari SA, Santo Domingo, República Dominicana (Erik Jan Rodenhuis, Werkgroep Ontwikkelings Technieken).

Figure 6 – Vista de otros tipos de estufas.

5.2 RECETA PARA ELABORACIÓN DE JABÓN

La receta para elaboración de jabón es la siguiente:

- Preparar una solución de la soda cáustica diluyendo la soda en el agua (si la mezcla se hace al revés hay riesgo de quemaduras!)
- Remover la mezcla hasta que esté totalmente disuelta. El contenedor de la mezcla se pondrá caliente, enfriar con agua fría en el exterior, o simplemente dejar que se enfríe durante un tiempo.
- Verter el aceite en un recipiente grande junto al contenedor de la mezcla de soda cáustica.
- Verter la solución de soda cáustica en el aceite poco a poco, revolviendo continuamente.

Inmediatamente la mezcla se tornará color blanco y pronto se volverá cremosa.

- Continuar revolviendo hasta que la mezcla parezca mayonesa. En ese momento se debe añadir aditivos como la glicerina, perfumes, etc.
- Si la mezcla es aún cremosa, se vierte en un molde, donde se puede endurecer durante la noche. Los moldes se pueden hacer de una bandeja de madera o una caja

de cartón, forrada con una lámina de plástico. Como alternativa, se considera conveniente el uso de moldes plásticos con formas atractivas.

- La mezcla se endurecerá durante la noche en temperaturas tropicales, o en varios días en regiones templadas. Entonces, se desmolda el jabón y si es necesario se corta. Un tamaño recomendable de venta del jabón es en piezas no mayores de 150 gramos o de 6 x 8 x 2 centímetros.
- Incluso después de este primer endurecimiento, el jabón continúa madurando durante algún tiempo. Por lo que deben conservarse durante unas dos semanas en una plataforma antes de su venta.
- Envolver el jabón en un papel bonito o un plástico transparente añade en gran medida valor a sus ventas!
- Por último, pero no menos importante, se debe limpiar correctamente todos los utensilios utilizados, ya que la soda cáustica tiene propiedades agresivas y el aceite de jatropha es tóxico.

5.2.1 Jabón Artesanal

Otra receta aplicable a áreas más rurales utilizada en todo el mundo para la fabricación de jabón es la siguiente³⁴:

Ingredientes: (Proporciones)

- Núcleo de semillas de jatropha mólido (100)
- Ceniza seca (50)
- Agua (20)
- Tres recipientes (uno con un agujero en la parte inferior)
- Un paño o trapo
- Fuego para cocinar
- Opcional: otros aceites o grasas de origen animal

El procedimiento es el siguiente:

1. Calentar una olla con el agua. No es necesario hervirla, pero debe ser bastante caliente.
2. Colocar el trapo en la parte superior de una olla y colocar en él las cenizas (similar al llenar un filtro de café con café).
3. Verter lentamente el agua caliente sobre la tela con la ceniza para lograr una mezcla. Es importante que el agua de ceniza sea bastante fuerte. Esto puede comprobarse simplemente por el sabor picante de la mezcla, poniendo una pequeña gota en la punta de la lengua (con cuidado, sin tragar)
4. Colocar el núcleo de semillas de jatropha molido en una olla y ponerla a fuego lento.
5. Si se desea, se puede añadir otro tipo de grasas al núcleo de jatropha.
6. Agregar lentamente el agua de ceniza al núcleo de jatropha.

34 Esta receta está basada en la información recolectada en zonas rurales de Honduras; Departamento de Yoro.



7. Mezclar lentamente.
8. El núcleo de jatropha lentamente absorberá el agua de cenizas. Seguir añadiendo el agua de ceniza hasta que la grasa sea convertida. Este es un proceso que requiere de mucha paciencia, que debe hacerse a fuego lento.
9. Después de conseguir una forma más sólida, se pueden hacer las bolas.
10. Después de tres días las bolas de jabón están listas para usar.

Las bolas de jabón de jatropha son conocidos por curar la caspa y en general por sus propiedades de limpieza.

5.3 PRUEBAS DE CONTENIDO DE AGUA Y DE ACIDEZ DEL ACEITE

- Para probar el contenido de agua en el aceite se calienta en una cacerola en la estufa aproximadamente 0.5 litro de aceite controlando la temperatura con un termómetro. Cuando existe un contenido de agua de más de 30%, el aceite empieza a hacer sonidos crepitantes a los 50 °C. Si todavía no cruje al estar en los 60-65 °C no debe haber necesidad de deshidratarlo. Para eliminar el agua, mantener el aceite a 60 °C durante 15 minutos y luego verter el aceite en un tanque de sedimentación. Se deja reposar durante al menos 24 horas, permitiendo que el agua se vaya hasta el fondo. Luego se vierte el aceite de arriba. Se debe asegurar que nunca se vacíe el decantador más de 90%.
- Para probar el contenido ácido (ácidos grasos libres) se necesita hacer una valoración del aceite con lejía y un indicador. Esto significa que se debe agregar cuidadosamente pequeñas gotas de lejía a los aceites preparado, hasta que el ácido en la mezcla haya sido neutralizado. Entonces se puede calcular la cantidad de lejía adicional que será necesaria para neutralizar los ácidos grasos libres en la conversión. Se requerirá algunas herramientas de cocina básicas, así como una jeringa con indicación de mililitros y algunos productos químicos básicos: agua desionizada, NaOH, isopropanol y fenolftaleína. A continuación se describe cómo hacer la prueba: Disolver 1 gramo de lejía pura de hidróxido de sodio (NaOH) en 1 litro de agua destilada o agua desionizada (0,1% w/v de solución de NaOH) (peso sobre volumen). En un pequeño beaker, disolver 1 mililitro de aceite de deshidratado en 10 mililitros de alcohol isopropílico puro (isopropanol). Calentar el vaso suavemente de pie en agua caliente y revolver hasta que todo el aceite se disuelve en el alcohol y la mezcla se torna de color claro. Añadir 2 gotas de solución de fenolftaleína (indicador de acidez). Con una jeringa graduada, agregar el 0,1% de NaOH gota a gota solución al aceite-solución alcohólica de fenolftaleína, revolviendo todo el tiempo. Podría resultar un poco oscuro, mantener la agitación. Seguir cuidadosamente agregando la solución de lejía hasta que la solución se torne color rosa (en realidad, magenta) durante 15 segundos. Tomar el número de mililitros de solución de lejía al 0,1% que se utilizó y añadir 3,5 (cantidad básica de lejía necesaria para el aceite vegetal). Este es el número de gramos de lejía que se necesitará por litro de aceite para procesar el aceite.



Para el aceite usado se deben mantener estas mismas precauciones y procedimientos, por lo general la calidad del aceite usado es menor que la del aceite nuevo, lo que conduce a la necesidad frecuente de deshidratación y determinación de la acidez.

5.4 EXPERIENCIA PRÁCTICA Y POSIBLES PROBLEMAS CON EL USO DE ACEITE VEGETAL PURO EN MOTORES

El combustible para motores diesel debe cumplir con cierta calidad para evitar problemas en el funcionamiento. Al utilizar combustibles sin la calidad adecuada, el motor puede presentar los siguientes problemas [1]:

- Erosión de la cabeza del pistón y la entrada;
- Aumento del desgaste de los anillos de pistón;
- Polimerización del aceite lubricante;
- Corrosión de inyectores, debido a un alto contenido de agua en el aceite;
- Combustión incompleta con exceso de ruido, olor y emisiones debido a su alta viscosidad;
- Fallo de los inyectores, debido al alto contenido de ácidos grasos libres;
- Efecto abrasivo sobre los inyectores de combustible y las cámaras de combustión, debido a la presencia de fósforo;
- Frecuente obstrucción del filtro de combustible del motor debido a la presencia de fósforo y sólidos;

Algunas experiencias concretas se describen a continuación [5]:

Holanda / Mozambique: Proyecto FACT

A finales de 2008 Ger Groeneveld de la empresa PPO Groeneveld llevó a cabo varias pruebas de purificación del aceite y pruebas del motor. Ajustó dos motores para funcionar con aceite vegetal puro: un ST3 Lister de 17 kW y un Feidong 18 kW 295 GJ. Se realizaron pruebas de resistencia con los dos motores. Después de 500 horas de pruebas, el motor Lister, usando principalmente aceite de girasol, no mostró problemas relacionados con el combustible. La viscosidad del aceite de girasol (17.1 cS a 38 °C) es algo menor que el aceite de jatropha (37-54 cS a 30 °C).

La elevada viscosidad del aceite de Jatropha puede provocar que al motor le hace falta combustible. Los motores diesel han sido diseñados para viscosidades de 1.7-2.4 cS. Cuando al motor le hace falta combustible, puede dañar los pistones y el rocío de los inyectores o incluso su obstrucción. La viscosidad de los aceites vegetales se puede reducir a través de su calentamiento. Una viscosidad inferior a 5 cS es aceptable para la mayoría de los motores diesel [5].



Si el nivel de ácidos grasos libres es superior al 3%, hay un riesgo de daños en el motor por corrosión. Los problemas de corrosión son relevantes en motores que funcionan de manera continua. El oxígeno tiene un cambio para catalizar la corrosión. El ácido del aceite vegetal puro destruirá las capas protectoras que normalmente evitan la corrosión.

Michael Allan (2002)

Pruebas de resistencia llevadas a cabo con un motor Kabota diesel con aceite de palma. El motor funcionó perfectamente durante más de 2000 horas con aceite de palma refinado. La refinación incluye el desgomado y neutralización. Sin embargo, utilizando aceite de palma crudo, el motor se rompió después de 300 horas y otra vez después de 550. Tanto el puerto de entrada y la cabeza del pistón parecían muy erosionadas, los anillo estaban desgastados y el aceite lubricante se había polimerizado. Estos son claramente los efectos del uso de combustibles de mala calidad [5].

Colombia, Aprotéc

Mauricio Gnecco encontró grandes cantidades de carbón en la precámara de motores de inyección indirecta al utilizar aceite de palma refinado. Usuarios del motor Lister de 10HP reportaron un sello de calor quemado al romperse el motor. El análisis de Mauricio mostró de nuevo grandes depósitos de carbón en la garganta de la precámara de inyección indirecta.

5.5 TABLAS DE PROPIEDADES DE ACEITE VEGETAL Y BIODIESEL

Todos los aceites vegetales y grasas animales contienen diferentes mezclas de los siguientes componentes básicos:

Tabla 1: contenido de aceite vegetales comunes ³⁵			
Ácido	Formula Elemental	Formula Constitucional	Nombre Sistemático
Laurico	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	C12:0
Mirístico	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	C14:0
Palmítico	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	C16:0
Esteárico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	C18:0
Oleico	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ (CH) ₂ COOH	C18:1
Linoleico	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ (CH) ₄ COOH	C18:2
Linolénico	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ (CH) ₆ COOH	C18:3

³⁵ CRC Manual de Química y Física 55th edición.



Tabla 2: Porcentajes de los ácidos grasos más importantes en grasas y aceites comúnmente utilizados^{36,37}.

Grasa o aceite	Laurico	Mirístico	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Jatropha			10-20	5-10	30-50	30-50	
Coco	45	20	5	3	6	-	-
Palma	55	12	6	4	10	-	-
Sebo (res)	-	2	29.0	24.5	44.5	-	-
Sebo (cordero)	-	2	27.2	25.0	43.1	2.7	-
Manteca de cerdo	-	-	24.6	15.0	50.4	10.0	-
Oliva	-	-	14.6	-	75.4	10.0	-
Maní (cacahuete)	-	-	8.5	6.00	51.6	26.0	-
Semilla de algodón	-	-	23.4	-	31.6	45.0	-
Maíz	-	-	6.0	2.0	44.0	48.0	-
Semillas de Lino	-	3	6.0	-	-	74.0	17.0
Soya	-	-	11.0	2.0	20.0	64.0	3.0

5.6 PROPIEDADES DEL BIODIESEL

La siguiente tabla presenta un resumen de las propiedades del biodiesel para materias primas diferentes. Cuando las grasas y aceites se transforman en biodiesel (FAME o FAEE), sus propiedades cambian. Las propiedades de la tabla son más o menos generales para cada materia prima específica. Otras características como el índice de acidez y el contenido de ceniza, lodo y agua son variables de acuerdo al lote, temporada o geografía (ubicación) de producción. Todos los parámetros son importantes para lograr un buen tiempo de almacenamiento, manejo y uso, potencia y vida útil del motor, consumo de combustible, etc. La tabla muestra el CN (índice de cetano) que determina la calidad de ignición, LHV (valor calorífico inferior) que indica el contenido de energía, la viscosidad, el punto de conexión en frío (CP) y el punto de congelación (PP) que son relevantes para el clima frío, y el punto de inflamación (FP) que está relacionado con la seguridad.

36 E. T. Webb, Aceites y grasas en la fabricación de Jabón, Gazette and Perfumer, October 1, 1926, xxviii, 302

37 Heller (1996): Nuez física



Propiedades físicas relacionada a los combustibles de esteres de aceites y grasas³⁸						
Materia prima	CN	LHV (MJ/kg)	Viscosidad (mm²/s)	CP (°C)	PP (°C)	FP³⁹ (°C)
<i>Ésteres de metilo</i>						
Semilla de algodón ⁴⁰	51.2	-	6.8 (21°C)	-	-4	110
Canola ⁴¹	54.4	40,4	6.7 (40°C)	-2	-9	84
Cártamo ⁴²	49.8	40,0	-	-	-6	180
Soya ⁴³	46.2	39,8	4.08 (40°C)	2	-1	171
Girasol ⁴⁴	46.6	39,8	4.22 (°C)	0	-4	-
Sebo ⁴⁵	-	39,9	4.11 (40°C)	12	9	96
<i>Ésteres de etilo</i>						
Palma ⁴⁶	56.2	39,1	4.5 (37.8°C)	8	6	190
Soya	48.2	40,0	4.41 (40°C)	1	-4	174
Sebo ⁴⁷	-	-	-	15	12	-

Muchos de los parámetros del biodiesel son muy similares a los del diesel. La viscosidad del diesel es un poco más baja (más fluido) por lo que es deseable el calentamiento de biodiesel para reducir su viscosidad. El punto de conexión en frío, el punto en que un filtro de combustible se obstruye con las grasas sólidas, es más alto en el caso de biodiesel, por lo que es una ventaja utilizar un filtro de combustible que puede ser calentado. Pero teniendo en cuenta los parámetros del biodiesel y considerando las temperaturas de ambiente en países tropicales, no se esperan problemas relacionados al clima frío y el biodiesel.

38 G. Knothe, R.O. Dunn, and M.O. Bagby, *Biomasa en Combustibles y Químicos*. Washington, D.C.: Sociedad Química Americana.

39 Algunos puntos de ignición son muy bajos, esto tal vez se debe a errores tipográficos en las referencias o quizás, los materiales podrían contener alcoholes residuales.

40 Geyer, S.M.; Jacobus, M.J.; Lestz, S.S. *Trans. ASAE* 1984, 27, 375-381.

41 Peterson, C.L.; Korus, R.A.; Mora, P.G.; Madsen, J.P. *Trans. ASAE*, 1987, 30, 28-35.

42 Isigür, A.; Karaosmanolu, F.; Aksoy, H.A.; Hamdallahpur, F.; Gülder, Ö.L. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 1994, 45-46, 93-102.

43 Bagby, M.O. In *Proc. 9ena Conf. Intern. Usos de la Jojoba, 3rd Int. Conf. New Industr. Crops Prod.*; Princen, L.H., Rossi, C., Eds.; Assoc. Advancem. Industr. Crops. publ. 1996; pp. 220-224.

44 Kaufman, K.R.; Ziejewski, M. *Trans. ASAE* 1984, 27, 1626-1633.

45 Ali, Y.; Hanna, M.A.; Cuppett, S.L. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1995, 72, 1557-1564.

46 Avella, F.; Galtieri, A.; Fiumara, A. *Riv. Combust.* 1992, 46, 181-188.

47 Nelson, L.A.; Foglia, T.A.; Dunn, R.O.; Marmer, W.N. enviado para publicación.

5.7 HOJA DE SEGURIDAD DE MATERIALES

5.7.1 Alcohol metílico (metanol), reactivo ACS, al 99,8% (GC)

ACC# 95294

Sección 1 – Identificación del Producto Químico y de la Compañía

Nombre de MSDS: Alcohol metílico, reactivo ACS, el 99,8% (GC)

Números de catálogo: AC423950000, AC423950010, AC423950020, AC423955000, AC9541632, AC423952

Sinónimos: Carbinol, metanol, hidróxido de metilo; Monohidroximetano; espíritu de Pyroxílico; alcohol de madera, nafta de madera; espíritu de madera; Monohidroximetano; hidrato de metilo.

Identificación de la Compañía:

Acros Organics N.V.

One Reagent Lane

Fair Lawn, NJ 07410

Para obtener información en América del Norte, llame al: 800-ACROS-01

Para emergencias en los EE.UU., llame a CHEMTREC: 800-424-9300

Sección 2 – Composición e información sobre los ingredientes

CAS#	Nombre Químico	Porcentaje	EINECS/ELINCS
67-56-1	Alcohol metílico	99+	200-659-6

Símbolos de Riesgo: T F

Frases de Riesgo: 11 23/24/25 39/23/24/25

Sección 3 – Identificación de Riesgos

GENERALIDADES SOBRE LAS EMERGENCIAS

Apariencia: transparente, sin color. Punto de inflamación: 11 ° C. Venenoso! No puede hacerse no venenoso. Provoca irritación de ojos y piel. Puede ser absorbido por la piel. Esta sustancia ha causado efectos adversos en la reproducción y el feto en los animales. **¡Peligro!**



Líquido y vapor inflamables. Es nocivo si se inhala. Puede ser fatal o causar ceguera si se ingiere. Puede causar depresión del sistema nervioso central. Puede causar irritación del tracto digestivo con náuseas, vómitos y diarrea. Causa irritación del tracto respiratorio. Puede causar daño en el hígado, el riñón y el corazón. **Órganos que afecta:** riñones, corazón, sistema nervioso central, hígado y ojos.

Efectos Potenciales en la Salud

Ojos: produce irritación, que se caracteriza por una sensación de ardor, enrojecimiento, lagrimeo, inflamación y posible lesión corneal. Puede causar sensibilización dolorosa a la luz.

Piel: Causa irritación moderada. Puede ser absorbido a través de la piel en cantidades dañinas. Exposición prolongada o contacto repetido puede causar pérdida de la grasa de la piel y dermatitis.

Ingestión: Puede ser fatal o causar ceguera si se ingiere. Puede causar irritación gastrointestinal con náuseas, vómitos y diarrea. Puede causar toxicidad sistémica con acidosis. Puede causar depresión del sistema nervioso central, caracterizada por excitación, seguida de dolor de cabeza, mareos, somnolencia y náuseas. En etapas avanzadas pueden causar el colapso, inconsciencia, coma y muerte por insuficiencia respiratoria. Puede causar efectos en el sistema cardiopulmonar.

Inhalación: Es nocivo si se inhala. Puede causar efectos adversos del sistema nervioso central como dolor de cabeza, convulsiones, e incluso la muerte. Puede provocar un deterioro visual y posible ceguera permanente. Causa irritación de la membrana mucosa.

Crónico: El contacto prolongado o repetido puede causar dermatitis. La inhalación y la ingestión crónica pueden causar efectos similares a los causados por inhalación e ingestión aguda. La exposición crónica puede causar trastornos de la reproducción y efectos teratogénicos. Los experimentos de laboratorio han dado lugar a efectos mutagénicos. La exposición prolongada puede causar daño al hígado, los riñones y al corazón.

Sección 4 – Medidas de Primeros Auxilios

Ojos: Enjuagar los ojos con abundante agua durante al menos 15 minutos, levantando los párpados superior e inferior. Obtener ayuda médica de inmediato.

Piel: Lave la piel inmediatamente con abundante agua y jabón durante al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y zapatos contaminados. Obtenga ayuda médica si la irritación aumenta o persiste. Lave la ropa antes de usarla de nuevo.



Ingestión: Si la víctima está consciente y alerta, ingerir de 2-4 tazas de leche o agua. No ingerir nada a una persona inconsciente. Obtener ayuda médica de inmediato. Provocar el vómito dando una cucharada de jarabe de ipecacuana.

Inhalación: Obtener ayuda médica de inmediato. Exponer al aire fresco inmediatamente. Si la respiración es difícil, proporcionar oxígeno. NO dar respiración boca a boca. Si la respiración ha cesado aplicar respiración artificial usando oxígeno y un dispositivo mecánico adecuado, como una bolsa o una máscara.

Notas para el médico: Los efectos pueden ser retrasados. El etanol puede inhibir el metabolismo del metanol.

Sección 5 – Medidas Contra Incendios

Información General: Los contenedores pueden acumular presión al exponerlos al calor o fuego. Como en cualquier incendio, usar un equipo autónomo de respiración en demanda de presión, MSHA / NIOSH (aprobado o equivalente), y equipo de protección completo. Los derrames de agua pueden causar daños al medio ambiente. Retenga y reutilice el agua para combatir el fuego. Los vapores pueden viajar a una fuente de ignición y encenderse. Durante un incendio, se pueden generar gases irritantes y altamente tóxicos por descomposición térmica o combustión. El líquido es inflamable. Puede liberar vapores que forman mezclas explosivas a temperaturas por encima de la temperatura de ignición. Utilizar agua en aerosol para mantener fríos los recipientes expuestos al fuego. El agua puede ser ineficaz. El material es más ligero que el agua y el uso de agua puede propagar el fuego. Los vapores pueden ser más pesados que el aire. Se pueden propagar por el suelo y acumularse en áreas bajas o confinadas. El vapor puede encenderse con calor, chispas y llamas.

Medios de extinción: En pequeños incendios usar polvo químico seco, dióxido de carbono, agua en aerosol o espuma resistente al alcohol. Usar agua en aerosol para enfriar recipientes expuestos al fuego. El agua puede ser ineficaz. Para combatir grandes incendios, usar agua en aerosol o espuma resistente al alcohol. NO se debe usar chorros directos de agua.

Sección 6 – Medidas de Fuga Accidental

Información General: Usar equipo de protección personal, como se indica en la Sección 8.
Derrames / Fugas: Palear con una herramienta que no esparza y colocar en un recipiente adecuado para su eliminación. Utilizar agua en aerosol para dispersar el gas o vapor. Eliminar todas las fuentes de ignición. Absorber el derrame utilizando un material

absorbente no combustible, como tierra, arena o vermiculita. No usar materiales combustibles como el aserrín. Dar ventilación. Se puede usar espuma supresora de vapor para reducir vapores. El aerosol de agua puede reducir el vapor, pero no puede evitar la ignición en espacios cerrados.

Sección 7 – Manipulación y Almacenamiento

Manejo: Lavarse completamente después del manejo. Quitarse la ropa contaminada y lavar antes de usarla de nuevo. Sellar los recipientes al transferir el material. No respirar el polvo, vapor, o gas. No llevar a los ojos, piel o ropa. Los recipientes vacíos contienen residuos del producto, (líquido y/o vapor) por lo que pueden ser peligrosos. Mantener el recipiente bien cerrado. Evitar el contacto con calor, chispas y llamas. No ingerir o inhalar. Utilizar sólo en una campana para vapores químicos. No presurizar, cortar, soldar, perforar, triturar, o exponer los contenedores vacíos al calor, chispas o llamas abiertas.

Almacenamiento: Mantener alejado del calor, chispas y llamas. Mantener alejado de fuentes de ignición. Conservar en un lugar fresco, seco y bien ventilado, alejado de sustancias incompatibles. Ubicar en una zona inflamable. Mantener los recipientes herméticamente cerrados. No almacenar en recipientes de aluminio o plomo.

Sección 8 –Controles de Exposición/ Protección Personal

Controles de ingeniería: Usar equipo a prueba de explosión ventilado. Las instalaciones de almacenaje o uso de este material, deben ser equipados con una instalación de lavaojos y una ducha de seguridad. Usar ventilación adecuada de escape general o local para mantener las concentraciones en el aire por debajo de los límites de exposición permisibles. Usar sólo bajo una campana de vapores químicos.

Límites de exposición

Nombre Químico	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Alcohol Metílico	200 ppm TWA; 250 ppm STEL; absorción cutánea potencial	200 ppm TWA; 260 mg/m ³ TWA 6000 ppm IDLH	200 ppm TWA; 260 mg/m ³ TWA

Equipo de Protección Personal

Ojos: Utilizar gafas químicas.

Piel: Utilizar guantes de protección apropiados para evitar exponer la piel.

Ropa: Usar ropa de protección adecuada para evitar la exposición de la piel.

Respiradores: Un programa de protección respiratoria que cumpla con 29 CFR 1910.134 y ANSI Z88.2 o la norma europea EN 149 deberá ser seguidas cuando las condiciones de trabajo requieran el uso de un respirador.

Sección 9 – Propiedades físicas y químicas

Estado físico: Líquido

Apariencia: transparente, sin color

Olor: olor débil como a alcohol

pH: No disponibles.

Presión de vapor: 128 mm Hg @ 20 °C

Densidad de vapor: 1.11 (Aire = 1)

Tasa de evaporación: 5,2 (Éter = 1)

Viscosidad: 0.55 cP 20 ° C

Punto de ebullición: 64.7 grados C@760.00mm Hg

Punto de congelación: -98 °C

Temperatura de autoignición: 464 °C (867,20 °F)

Punto de inflamación: 11 ° C (51.80 ° F)

Temperatura de descomposición: No disponible.

Clasificación NFPA: (estimado) Salud: 1; Inflamabilidad: 3; Reactividad: 0

Límites de explosión, inferior: 6,0% vol, **superior:** 36,00% vol

Solubilidad: Miscible

Gravedad Específica / Densidad: .7910g/cm³

Fórmula molecular: CH₄O

Peso molecular: 32.04



Sección 10 – Estabilidad y Reactividad

Estabilidad química: Estable a temperaturas y presiones normales.

Condiciones a evitar: Altas temperaturas, materiales incompatibles, fuentes de ignición, oxidantes.

Incompatibilidad: ácidos (minerales, no oxidantes, por ejemplo, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, ácido muriático, ácido fosfórico), ácidos (minerales, oxidantes, por ejemplo, ácido crómico, ácido hipocloroso, ácido nítrico, ácido sulfúrico), ácidos (orgánicos, por ejemplo, ácido acético, ácido benzoico, ácido fórmico, ácido metanoico, ácido oxálico), azo, diazo, y hidracinas (por ejemplo, dimetil hidracina, hidracina, hidracina de metilo), los isocianatos (isocianato de metilo, por ejemplo), nitruros (por ejemplo, el nitruro de potasio, el nitruro de sodio), peróxidos, hidroperóxidos (orgánicos, por ejemplo, peróxido de acetilo, peróxido de benzoilo, peróxido de butilo, peróxido de metiletilcetona), epóxidos (por ejemplo, glicidílicos butil éter), oxidantes (como perclorato de bario, bromo, cloro, peróxido de hidrógeno, perclorato de plomo, ácido perclórico, hipoclorito de sodio), metales activos (como el potasio y el magnesio), el bromuro de acetilo, sales alcali de aluminio, dihidruro berilio, tetracloruro de carbono, tetracloruro de carbono + metales, cloroformo + calor, el cloroformo + hidróxido de sodio, cloruro cianúrico, dietil de zinc, ácido nítrico, el potasio-terc-butóxido, cloroformo + hidróxido, sustancias que reaccionan espontáneamente con el agua (por ejemplo, anhídrido acético, cloruro alcali de aluminio, carburo de calcio, diclorosilano de etilo).

Productos de descomposición peligrosos: Monóxido de carbono, gases tóxicos e irritantes, gases de dióxido de carbono, formaldehído.

Polimerización peligrosa: No ocurre.

Sección 11 – Información Toxicológica

RTECS #:

CAS No. 67-56-1: PC1400000

LD50/LC50:

CAS No. 67-56-1:

Prueba Draize, en conejo, ojo: 40 mg moderado;

Prueba Draize, en conejo, ojo: 100 mg/24H moderada;

Prueba Draize, en conejo, piel: 20 mg/24H moderada;

Inhalación en rata: LC50 = 64000 ppm/4H;

Oral en ratón: DL50 = 7300 mg / kg;

Oral en conejo: DL50 = 14200 mg / kg;

Oral en rata: LD50 = 5628 mg / kg;

En piel, conejo: LD50 = 15800 mg / kg;

Carcinogenicidad: CAS No. 67-56-1: No listado por ACGIH, IARC, NIOSH, NTP u OSHA.

Epidemiología: Se ha demostrado que el metanol produce toxicidad en el feto y en el embrión de animales de laboratorio. Desarrollan anomalías en los sistemas: cardiovascular, musculo esquelético y urogenital.

Teratogenicidad: Efectos sobre recién nacidos: Oral en rata: TDLo = 7500 mg / kg (hembra 17-19 días después de la concepción). Efectos sobre el embrión o el feto: toxicidad fetal, por inhalación en rata: TCLo = 10000 ppm/7H (hembra 7-15 días después de la concepción). Anomalías específicas en el desarrollo: cardiovascular, musculo esquelético, urogenital, inhalación, ratas: TCLo = 20000 ppm/7H (7-14 días después de la concepción).

Efectos reproductivos: Efectos: espermatogénesis: intraperitoneal, en ratón TDLo = 5 g / kg (macho 5 días antes del apareamiento). Fertilidad: oral en rata: TDLo = 35295 mg / kg (hembra 1-15 días después de la concepción). Efectos sobre: testículos, epidídimo, conducto del esperma: oral en rata: TDLo = 200 ppm/20H (macho 78 semanas antes de apareamiento).

Neurotoxicidad: No hay información disponible.

Mutagenicidad: Inhibición del ADN: de linfocitos humanos = 300 mmol / L. Daño en el ADN: Oral, en rata = 10 pmol / kg. Mutación en microorganismos: Linfocitos de ratón= 7900 mg / L. Análisis citogenético: Oral, en ratón = 1 g / kg.

Otros estudios: Prueba Draize Estándar (piel, en conejo) = 20 mg/24H (Moderado) Prueba Draize Estándar: Administración en ojos (conejo) = 40 mg (Moderado). Prueba Draize Estándar: Administración en ojos (conejo) = 100 mg/24H (Moderado).

Sección 12 – Información Ecológica

Ecotoxicidad: Peces: Carpita cabezona (Pimephales promelas): 29,4 g / L, 96 h, CL50 (sin especificar) Pez dorado: 250 ppm, 11 h; resultó en muerte de la trucha arco iris: 8000 mg / L,

48 h; CL50 (sin especificar) Trucha arco iris: LC50 = 13-68 mg / L, 96 Hr.; 12 grados C Fathead Minnow: LC50 = 29400 mg / L, 96 Hr.; 25 grados C, pH 7,63 Trucha arco iris: LC50 = 8000 mg / L, 48 Hr.; Ria Sin especificar : phosphoreum Phytobacterium: EC50 = 51,000-320,000 mg / L; 30 minutos, prueba Microtox: No hay datos disponibles.

Medio Ambiente: En altas concentraciones es peligroso para la vida acuática. Valor de toxicidad acuática: TLM 96 > 1000 ppm. Puede ser peligroso si contamina los suministros de agua. El alcohol metílico se biodegrada muy rápidamente en el suelo y el agua. El producto demuestra alta movilidad en el suelo y se degrada en la atmósfera ambiente por la reacción con radicales hydroxyl fotoquímicamente producidos con una vida media estimada de 17.8 días. Factor de bioconcentración para peces (IDE dorado) <10. Basado en un log Kow de -0,77, el valor FBC para el metanol puede estimarse en 0.2.

Física: No hay información disponible.

Otros: Ninguno.

Sección 13 – Consideraciones sobre la eliminación

Los generadores de residuos químicos deberán determinar si los químicos desechados son clasificados como residuos peligrosos. En las normas de la EPA en Estados Unidos para la determinación de clasificación figura en la 40 CFR Parte 261.3. Además, los generadores de residuos deberán consultar reglamentos estatales y locales de residuos peligrosos, para garantizar una clasificación completa y precisa.

RCRA P-Series: No listado.

RCRA U-Series: CAS # 67-56-1: número de residuo U154, (residuo inflamable).

Sección 14 – Información de Transporte

	DOT de EE.UU	IATA	RID/ADR	IMO	TDG de Canadá
Nombre de Envío:	Metanol				Metanol
Clase de Peligro:	3				3(6.1)
Número UN:	UN1230				UN1230
Grupo de empaque:	II				II
Información Adicional:					Punto de ignición 11 C



Sección 15 – Información Regulatoria

EE.UU. FEDERAL

TSCA

CAS No. 67-56-1 aparece en el inventario de TSCA.

Lista de información de salud y seguridad

Ninguno de los químicos está en la lista de registro de Salud y Seguridad

Reglas de pruebas químicas

Ninguno de los químicos en este producto está bajo regla de pruebas químicas.

Sección 12B

Ninguno de los productos químicos se enlistan en la TSCA Sección 12b.

Nueva regla de uso significativa TSCA

Ninguno de los químicos en este material tiene un SNUR bajo la TSCA.

SARA

Sección 302 (RQ)

CAS No. 67-56-1: RQ final = 5000 libras (2270 kg)

Sección 302 (TPQ)

Ninguno de los químicos de este producto contiene un TPQ.

Códigos SARA

CAS No. 67-56-1: aguda, inflamables.

Sección 313

Este material contiene alcohol de metilo (CAS No. 67-56-1, 99%), que está sujeto a los requisitos de información de la Sección 313 del Título III de SARA y 40 CFR Parte 373.

Ley de Aire Limpio:

CAS No. 67-56-1 aparece como un contaminante del aire peligroso (HAP). Este material no contiene ningún agotador de ozono de Clase 1. Este material no contiene ningún agotador de ozono de Clase 2.



Ley de Agua Limpia:

Ninguno de los químicos en este producto está identificado como sustancia peligrosa bajo el CWA. Ninguno de los químicos en este producto está identificado como Contaminante Prioritario bajo el CWA. Ninguno de los químicos en este producto está identificado como Contaminante Tóxico bajo el CWA.

OSHA:

Ninguno de los químicos en este producto es considerado como altamente peligroso por OSHA.

ESTADO:

CAS No. 67-56-1 se puede encontrar en las listas de los siguientes Estados: California, Nueva Jersey, Florida, Pennsylvania, Minnesota, Massachusetts.

California Nivel bajo riesgo: Ninguno de los químicos en este producto están listados.

Regulaciones Internacionales / Europeas

Etiquetado europeo de acuerdo con las directivas de la Comisión Europea

Símbolos de peligro:

F T

Frases de riesgo:

R 11 Fácilmente inflamable.

R 23/24/25 Tóxico por inhalación, contacto con la piel y por ingestión.

R 39/23/24/25 Tóxico: grave peligro de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel y por ingestión.

Frases de seguridad:

S 16 Manténgase lejos de fuentes de ignición - No fumar.

S 36/37 Usar vestimenta y guantes de protección.

S 45 En caso de accidente o malestar, buscar atención médica inmediatamente (mostrar la etiqueta si es posible).

S 7 Manténgase el recipiente bien cerrado.

WGK (Peligro/ Protección de agua)

CAS No. 67-56-1: 1

Canadá

CAS No. 67-56-1 aparece en la lista DSL de Canadá. CAS No. 67-56-1 aparece en la lista de DSL Canadá.

Este producto tiene una clasificación de WHMIS de B2, D1A, D2B.

CAS No. 67-56-1 aparece en la lista de ingredientes Divulgada en Canadá.

Límites de exposición

CAS No. 67-56-1: OEL-República Árabe de Egipto: TWA 200 ppm (260 mg/m³); Skin OEL-AUSTRALIA: TWA 200 ppm (260 mg/m³); STEL 250 ppm; Skin OEL-BELGIUM: TWA 200 ppm (262 mg/m³); STEL 250 ppm; Skin OEL-CHECOSLOVAQUIA: TWA 100 mg/m³; STEL 500 mg/m³ OEL-DINAMARCA: TWA 200 ppm (260 mg/m³); Skin OEL - FINLANDIA: TWA 200 ppm (260 mg/m³); STEL 250 ppm; Skin OEL-FRANCE: TWA 200 ppm (260 mg/m³); STEL 1000 ppm (1300 mg/m³) OEL-ALEMANIA: TWA 200 ppm (260 mg/m³); Skin OEL-HUNGRÍA: TWA 50 mg/m³; STEL 100 mg/m³; piel JAN9 OEL -JAPÓN: TWA 200 ppm (260 mg/m³); Skin OEL-LOS PAÍSES BAJOS: TWA 200 ppm (260 mg/m³); Skin OEL-FILIPINAS: TWA 200 ppm (260 mg/m³) OEL-POLAND: TWA 100 mg/m³ OEL-RUSIA: TWA 200 ppm, STEL 5 mg/m³; Skin OEL-SUECIA: TWA 200 ppm (250 mg/m³); STEL 250 ppm (350 mg/m³); Skin OEL-SUIZA: TWA 200 ppm (260 mg/m³); STEL 400 ppm; Skin OEL-TAILANDIA: TWA 200 ppm (260 mg/m³) OEL-TURQUÍA: TWA 200 ppm (260 mg/m³) OEL-REINO UNIDO: TWA 200 ppm (260 mg/m³); STEL 250 ppm; Skin OEL EN BULGARIA, COLOMBIA, JORDAN, COREA comprobar ACGIH TLV OEL EN NUEVA ZELANDA, SINGAPUR, cap VIETNAM Eck ACGI TLV.

Sección 16 – Información Adicional

Fecha de creación de MSDS: 7/21/1999

Versión # 4 Fecha: 3/14/2001

La información anterior se considera correcta y representa la mejor información actualmente disponible. Sin embargo, no se ofrece ninguna garantía de comerciabilidad o cualquier otra garantía, expresa o implícita, con respecto a dicha información, y no se asume ninguna responsabilidad derivada de su uso. Los usuarios deben hacer sus propias investigaciones para determinar la idoneidad de la información para sus fines particulares. En ningún caso Fisher es responsable de las reclamaciones, pérdidas, daños o perjuicios de cualquier tercero o cualquier daño especial, indirecto, incidental, consecuencial o ejemplar, la forma que surja, aun cuando Fisher haya sido advertido de la posibilidad de tales daños y perjuicios.

5.7.1 Hidróxido de potasio

ACC # 19431

Sección 1 – Identificación del Producto Químico y de la Compañía

Nombre de MSDS: Hidróxido de potasio

Números de catálogo: S71978, S71979, S71979-1, S71979-2, P246-3, P250-1, P250-10, P250-3, P250-50, P250-500, P250-50LC, P251-3, P251-50, P251-500, P251-50KG, P25812, P258212, P25850, P25850LC, PFP25050LC, S71977, S72221D

Sinónimos: potasa cáustica, lejía, hidrato de potasio.

Identificación de la Compañía:

Fisher Scientific
1 Reagent Lane
Fair Lawn, NJ 07410

Para obtener información, llame al: 201-796-7100

Para emergencias llame al: 201-796-7100

Sección 2 – Composición e información sobre los ingredientes

CAS#	Nombre Químico	Porcentaje	EINECS/ELINCS
1310-58-3	Hidróxido de potasio (KOH)	100.0	215-181-3

Símbolos de Riesgo: C

Frases de Riesgo: 22 35

215-181-3

Sección 3 – Identificación de Riesgos

GENERALIDADES SOBRE LAS EMERGENCIAS



Apariencia: color blanco o amarillo. ¡Peligro! Corrosivo. Reacciona con el agua. Nocivo por ingestión. Causas graves en los ojos y quemaduras de piel. Provoca quemaduras graves del tracto digestivo y respiratorio. **Órganos que afecta:** Ninguno.

Efectos Potenciales en la Salud

Ojos: Provoca quemaduras graves en los ojos. Puede causar lesiones oculares irreversibles. El contacto puede causar ulceración de la conjuntiva y la córnea. El daño a los ojos puede ser retrasado.

Piel: Causa quemaduras en la piel. Puede causar úlceras en la piel.

Ingestión: Nocivo por ingestión. Puede causar fallo del sistema circulatorio. Puede causar perforación del tracto digestivo. Provoca quemaduras graves del tracto digestivo con dolor abdominal, vómitos, y posible muerte.

Inhalación: Nocivo si se inhala. La irritación puede provocar neumonitis química y edema pulmonar. Causa irritación severa del tracto respiratorio superior con tos, quemaduras, dificultad para respirar, y posible coma.

Crónico: El contacto prolongado o repetido puede causar dermatitis. El contacto prolongado o repetido puede causar conjuntivitis en los ojos.

Sección 4 – Medidas de Primeros Auxilios

Ojos: Enjuagar los ojos con abundante agua durante al menos 15 minutos, levantando los párpados superior e inferior. Obtener ayuda médica de inmediato.

Piel: Lave la piel inmediatamente con abundante agua y jabón durante al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y zapatos contaminados. Deseche la ropa contaminada en una manera que limite la exposición.

Ingestión: No inducir al vómito. Si la víctima está consciente y alerta, ingerir de 2-4 tazas de leche o agua. No ingerir nada a una persona inconsciente. Obtener ayuda médica de inmediato. **Inhalación:** Obtener ayuda médica de inmediato. Exponer al aire fresco inmediatamente. Si la respiración es difícil, proporcionar oxígeno. Si la respiración ha cesado aplique respiración artificial usando oxígeno y un dispositivo mecánico adecuado, como una bolsa o una máscara.

Notas para el médico: Trate sintomáticamente y sostenidamente.



Sección 5 – Medidas Contra Incendios

Información General: Como en cualquier incendio, usar un equipo autónomo de respiración en demanda de presión, MSHA / NIOSH (aprobado o equivalente), y equipo de protección completo. Use el agua con precaución. El contacto con la humedad o el agua puede generar el calor suficiente para encender materiales combustibles cercanos.

Medios de extinción: En pequeños incendios usar polvo químico seco, dióxido de carbono, agua en aerosol o espuma resistente al alcohol.

Sección 6 – Medidas de Fuga Accidental

Información General: Usar equipo de protección personal, como se indica en la Sección 8.
Derrames / Fugas: Aspire o barra el material y coloque en un recipiente adecuado. Evitar la generación de polvo.

Sección 7 – Manipulación y Almacenamiento

Manejo: Lavarse completamente después del manejo. Usar con ventilación adecuada. No permitir que el agua entre al contenedor de manera violenta. No llevar a los ojos, la piel o la ropa. No ingerir o inhalar.

Almacenamiento: Almacenar en un recipiente herméticamente cerrado. Conservar en un lugar fresco, seco y bien ventilado, alejado de sustancias incompatibles. Mantener lejos de ácidos fuertes. Mantener lejos del agua. Mantener alejado de los metales. Mantener alejado de líquidos inflamables. Manténgase lejos de halógenos orgánicos.

Sección 8 –Controles de Exposición/ Protección Personal

Controles de ingeniería: Utilice ventilación adecuada de escape general o local para mantener las concentraciones en el aire por debajo de los límites de exposición permisibles.

Límites de exposición

Nombre Químico	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Hidróxido de potasio (KOH)	C 2 mg/m3	No listado	No listado



OSHA Vacante PEL: hidróxido de potasio (KOH): C 2 mg/m³

Equipo de Protección Personal

Ojos: Usar gafas de seguridad y gafas químicas o escudo facial, en la manipulación líquida.

Piel: Utilizar guantes de protección apropiados para evitar exponer la piel.

Ropa: Usar ropa de protección adecuada para evitar la exposición de la piel.

Respiradores: Siga las regulaciones de OSHA para respiradores encontradas en 29 CFR 1910.134 o en la norma europea EN 149. Siempre usar un respirador de la norma europea EN 149 cuando sea necesario.

Sección 9 – Propiedades físicas y químicas

Estado físico: Sólido

Apariencia: color blanco o amarillo

Olor: Inodoro

pH: 13.5 (0.1 M de solución)

Presión de vapor: No disponible.

Densidad de vapor: No disponible.

Tasa de evaporación: No disponible.

Viscosidad: No disponible.

Punto de ebullición: 2408 ° F

Punto de congelación: 680 grados F

Temperatura de autoignición: No aplicable.

Punto de inflamación: No aplicable.

Temperatura de descomposición: No disponible.

Clasificación NFPA: (estimado) Salud: 3; Inflamabilidad: 0; Reactividad: 1

Límites de explosión, inferior: No disponible, **superior:** No disponible.

Solubilidad: Soluble en agua

Gravedad Específica / Densidad: 2.04

Fórmula molecular: KOH

Peso molecular: 56.1047

Sección 10 – Estabilidad y Reactividad

Estabilidad química: Estable. Fácilmente absorbe el dióxido de carbono y la humedad del aire.

Condiciones a evitar: exposición con materiales incompatibles, humedad, contacto con agua, ácidos, metales.

Incompatibilidad: genera grandes cantidades de calor al entrar en contacto con el agua y vapor y puede salpicar. Reacciona con dióxido de cloro, nitrobenzeno, nitrometano, tricloruro de nitrógeno, tetrahidrofurano peroxidados, 2,4,6-trinitrotolueno, bromoformo + éteres corona, alcoholes ácidos, azúcares, ciclopentadieno de germanio, dicarbide maleico. Corrosivo para metales como el aluminio, estaño y zinc, puede provocar formación de gas hidrógeno inflamable.

Productos de descomposición peligrosa: Óxidos de potasio.

Polimerización peligrosa: No ha sido reportada.

Sección 11 – Información Toxicológica

RTECS #:

CAS No. 1310-58-3: TT2100000

LD50/LC50:

CAS 1310-58-3:

Prueba Draize, en conejo, piel: 50 mg/24H grave;

Oral, en rata: LD50 = 273 mg / kg;

Carcinogenicidad: CAS No. 1310-58-3: No listado por ACGIH, IARC, NIOSH, NTP u OSHA.

Epidemiología: No hay datos disponibles.

Teratogenicidad: No hay información reportada.

Efectos reproductivos: No hay datos disponibles.

Neurotoxicidad: No hay datos disponibles.

Mutagenicidad: No hay datos disponibles.

Otros Estudios: No hay datos disponibles.

Sección 12 – Información Ecológica

Ecotoxicidad: Peces: Pez mosquito: LC50 = 80,0 mg / L, 24 Hr.; Sin especificar No hay datos disponibles.

Medio ambiente: No se encontró información.

Física: No se encontró información.

Otros: No hay información disponible.

Sección 13 – Consideraciones sobre la eliminación

Los generadores de residuos químicos deberán determinar si los químicos desechados son clasificados como residuos peligrosos. En las normas de la EPA en Estados Unidos para la determinación de clasificación figura en la 40 CFR Parte 261.3. Además, los generadores de residuos deberán consultar reglamentos estatales y locales de residuos peligrosos, para garantizar una clasificación completa y precisa.

RCRA P-Series: No listado.

RCRA U-Series: No listado.

Sección 14 – Información de Transporte

	DOT de EE.UU	IATA	RID/ADR	IMO	TDG de Canadá
Nombre de Envío:	Hidróxido de Potasio Sólido				Hidróxido de Potasio
Clase de Peligro:	8				8(9.2)
Número UN:	UN1813				UN1813
Grupo de	II				II



empaque:					
-----------------	--	--	--	--	--

Sección 15 – Información Regulatoria

EE.UU. FEDERAL

TSCA

CAS 1310-58-3 aparece en el inventario de TSCA.

Lista de información de salud y seguridad

Ninguno de los químicos está en la lista de registro de Salud y Seguridad

Reglas de pruebas químicas

Ninguno de los químicos en este producto está bajo regla de pruebas químicas.

Sección 12B

Ninguno de los productos químicos se enlistan en la TSCA Sección 12b.

Nueva regla de uso significativa TSCA

Ninguno de los químicos en este material tiene un SNUR bajo la TSCA.

SARA

Sección 302 (RQ)

CAS 1310-58-3: final RQ = 1000 libras (454 kg)

Sección 302 (TPQ)

Ninguno de los químicos de este producto tiene un TPQ.

Códigos SARA

CAS 1310-58-3: agudo, reactivo.

Sección 313

Ningún químico está reportado bajo la Sección 313.

Ley de Aire Limpio:



Este material no contiene contaminantes peligrosos del aire. Este material no contiene ningún agotador de ozono de Clase 1. Este material no contiene ningún agotador de ozono de Clase 2.

Ley de Agua Limpia:

CAS 1310-58-3 aparece como una sustancia peligrosa bajo el CWA. Ninguno de los químicos en este producto está identificado como Contaminante Prioritario bajo el CWA. Ninguno de los químicos en este producto está identificado como Contaminante Tóxico bajo el CWA.

OSHA:

Ninguno de los químicos en este producto es considerado como altamente peligroso por OSHA.

ESTADO: CAS No. 67-56-1 se puede encontrar en las listas de los siguientes Estados: California, Nueva Jersey, Florida, Pennsylvania, Minnesota, Massachusetts.

California Nivel bajo riesgo: Ninguno de los químicos en este producto están listados.

Regulaciones Internacionales / Europeas

Etiquetado europeo de acuerdo con las directivas de la Comisión Europea

Símbolos de peligro:

C

Frases de riesgo:

R 22 Nocivo por ingestión.

R 35 Provoca quemaduras graves.

Frases de seguridad:

S 26 En caso de contacto con los ojos, enjuagar inmediatamente con abundante agua y acudir al médico.

S 36/37/39 Use ropa protectora adecuada, guantes y protección para los ojos y la cara.

S 45 En caso de accidente o malestar, buscar atención médica inmediatamente (mostrar la etiqueta si es posible).

WGK (Peligro/ Protección de agua)

CAS 1310-58-3: 1

Canadá

CAS 1310-58-3 incluido en la lista de Canadá DSL. CAS 1310-58-3 incluido en la lista de Canadá DSL.

Este producto tiene una clasificación de WHMIS de D1B, E.

CAS 1310-58-3 incluido en la lista de ingredientes de Canadá Revelación.

Límites de exposición

CAS 1310-58-3: OEL-AUSTRALIA: TWA 2 mg/m³ OEL-BÉLGICA: 2 mg/m³ STEL OEL-DINAMARCA: TWA 2 mg/m³ OEL-FINLANDIA: TWA 2 mg/m³ OEL-FRANCIA: STEL 2 mg/m³ OEL-JAPÓN: STEL 2 mg/m³ OEL-HOLANDA: TWA 2 mg/m³ OEL-SWITZERLAND: TWA 2 mg/m³ OEL-REINO UNIDO: TWA 2 mg/m³; STEL 2 mg/m³ OEL EN BULGARIA, COLOMBIA, Jordania, Corea comprobar ACGIH TLV OEL IN NEW ZEALAND, Y, Singapur, Vietnam comprobar ACGI TLV

Sección 16 – Información Adicional

Fecha de creación de MSDS: 6/21/1999

Versión # 4 Fecha: 10/06/2000

La información anterior se considera correcta y representa la mejor información actualmente disponible. Sin embargo, no se ofrece ninguna garantía de comerciabilidad o cualquier otra garantía, expresa o implícita, con respecto a dicha información, y no se asume ninguna responsabilidad derivada de su uso. Los usuarios deben hacer sus propias investigaciones para determinar la idoneidad de la información para sus fines particulares. En ningún caso Fisher es responsable de las reclamaciones, pérdidas, daños o perjuicios de cualquier tercero o cualquier daño especial, indirecto, incidental, consecuencial o ejemplar, la forma que surja, aun cuando Fisher haya sido advertido de la posibilidad de tales daños y perjuicios.

5.8 USOS DE LA GLICERINA

5.8.1 Purificación de la glicerina

La glicerina en su forma pura es incolora, inodora y su sabor es dulce [12]. Evite probar la glicerina que resulta del proceso de producción de biodiesel, porque nunca es pura. Especialmente cuando el biodiesel y la glicerina se producen a partir de aceite de Jatropha con altos niveles de contenido de ácidos grasos libres. En ese caso, la glicerina contiene



metanol o etanol, lejía (KOH hidróxido de potasio o hidróxido de sodio NaOH), agua, residuos de jabón, biodiesel, ácidos grasos libres y mono, di o triglicéridos no reactivos. La mayoría de estos residuos se disuelven en el metanol y se puede filtrar fuera de la glicerina, una vez que el metanol se destila. Otros tienen que ser neutralizados con ácidos y se separan por gravedad.

Para obtener glicerina pura al 100% debe ser destilada. Sin embargo, este es un proceso muy costoso ya que el punto de ebullición de la glicerina es de 290 °C [11]. Este costo no suele compensar la ganancia a menos que se haga a escala industrial.

5.8.2 Aplicaciones prácticas de glicerina de biodiesel

Las aplicaciones de glicerina pura se dan principalmente en la industria química y farmacéutica. La glicerina cruda puede utilizarse en aplicaciones más prácticas que se describen a continuación:

5.8.2.1 Jabón

El jabón puede ser elaborado por saponificación de grasas y lejía o con ácidos grasos y lejía. El producto final se utiliza con agua para obtener su efecto de limpieza. La glicerina contiene ácidos grasos libres que pueden ser convertidos en jabón. La presencia de glicerina hace que el jabón tenga una textura suave e hidrate la piel mientras que se usa. Para el proceso de saponificación se utiliza la misma lejía utilizada durante el proceso de transesterificación. El hidróxido de sodio (NaOH) produce una barra de jabón sólido, el hidróxido de potasio (KOH) produce un jabón líquido. Antes de hacer jabón de glicerina, el alcohol (metanol o etanol) se debe destilar. En el caso de metanol, es importante que se elimine todo el metanol ya que es un químico altamente tóxico y combustible que tiene un punto de inflamación extremadamente bajo, lo que lo hace muy fácil de inhalar accidentalmente⁴⁸. Entonces, dependiendo del nivel de ácidos grasos libres, se determina la cantidad de lejía (normalmente entre 40 gramos y 80 gramos por litro de glicerina). La cantidad de agua que debe añadirse es de aproximadamente 40% de la cantidad original de glicerina. Al añadir más agua se produce un jabón más líquido. Al añadir más lejía, el jabón se siente más corrosivo. Por lo que, la lejía y el agua se mezclan hasta que la lejía se ha disuelto totalmente. Precaución: el hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) son sustancias corrosivas⁴⁹. Añadir la mezcla de la glicerina y mezclar durante 20 minutos. Dejar durante tres semanas, sacudiendo a diario. En caso de utilizar glicerina purificada, se puede agregar colorantes y fragancias para uso doméstico. Cantidades industriales de jabón de glicerina pueden utilizarse en el lavado de autos y en talleres mecánicos.

⁴⁸ Anexo 1: Hoja de seguridad del metanol

⁴⁹ Anexo 2: Hoja de seguridad del Hidróxido de Sodio (NaOH) y el Hidróxido de Potasio (KOH)

5.8.2.2 Fertilizante Orgánico

Se dice que la glicerina es un excelente fertilizante. Pero, ¿es esto cierto? La composición química de la glicerina depende indirectamente de la calidad del aceite y la cantidad de productos químicos añadidos en el proceso de transesterificación. Los residuos de alcohol, si es metanol, se destila antes de utilizar la glicerina como fertilizante orgánico para prevenir problemas en la salud humana. Sin embargo, el metanol en el medio ambiente es biodegradable. El alcohol metílico se evapora y se biodegrada muy rápidamente en el suelo y agua. Este producto demuestra una alta movilidad en el suelo y se degrada de la atmósfera ambiente por la reacción con radicales hydroxyl fotoquímicamente producidos con una vida media estimada de 17.8 días. Puede ser peligrosa para la vida acuática en altas concentraciones⁵⁰ Asimismo, la glicerina pura, y los ácidos grasos libres son biodegradables. El potasio (K) es uno de los principales elementos para el crecimiento vegetal y el sodio (Na) es necesario para controlar la humedad en las células, en una cantidad inferior.

Dado que la composición de nutrientes no está en equilibrio con las necesidades de la planta, la glicerina de biodiesel podría servir como un abono adicional. Por otra parte, la producción de otros productos de más valor económico a partir de la glicerina, hacen que el uso de la glicerina como fertilizante sea menos interesante.

5.8.2.3 Biogás

La glicerina también puede ser utilizada como un ingrediente adicional para la producción de biogás. El biogás se produce dentro de una unidad de digestión anaeróbica. La glicerina junto con el residuo del prensado de semillas de *Jatropha* y estiércol de vaca fresco ha demostrado ser un ingrediente eficaz en la digestión en la siguiente composición: 5% de glicerina, 10% residuo de prensado de semillas de *Jatropha*, 35% de estiércol de vaca y 50% de agua. Se requiere de más investigación para optimizar este proceso de digestión anaeróbica. Se debe tener cuidado con la adición de la hierbas o grama, ya que se digiere lentamente y puede afectar el reactor.

5.8.2.4 Quemado

La forma más sencilla de librarse de la glicerina de biodiesel es quemándola. Sin embargo, los dispositivos para el quemado eficiente de glicerina cruda todavía no están disponibles. Su elevada viscosidad hace que sea un combustible difícil para quema en aerosol y a través de mechas. Se puede mezclar con aserrín de madera (16 MJ / kg) presionándolo en briquetas, pero se debe contar con hornos bien diseñados ya que las temperaturas de combustión bajas pueden generar gases tóxicos como la acroleína [13]. A mayor escala

⁵⁰ Fuente: Hoja de Seguridad del Alcohol Metílico



combinada de calor y potencia (CHP), los puede considerarse su uso en generadores de electricidad [14]. Aunque un motor convertido para uso con aceite vegetal puro o biodiesel podría ser capaz de utilizar glicerina pura mezclada con aceite o biodiesel. No se debe utilizar glicerina sin refinar en motores debido a su alto contenido de ceniza. En el caso de grandes motores diesel marinos o en calderas de vapor sería posible utilizarla para producir electricidad, agua caliente o vapor.

5.8.2.5 Aplicaciones en el proceso de biodiesel

Teniendo en cuenta el hecho de que la glicerina contiene un alto contenido de alcohol (metanol o etanol) puede utilizarse como un sustituto parcial del alcohol en el proceso de transesterificación. El contenido de metanol en la glicerina puede llegar hasta el 35%. La sustitución de 30% de alcohol por glicerina puede resultar en un ahorro del 20% de metanol [15]. Otra aplicación de la glicerina cruda en el proceso de producción de biodiesel es utilizarla como un líquido para el prelavado del biodiesel. Los residuos de jabón se disuelven en la glicerina cruda lo que se traduce en un menor uso de agua de purificadores de sólidos.

5.8.2.6 Aplicaciones Industriales

La glicerina pura se utiliza en la fabricación de medicamentos, atención médica personal, juguetes, alimentos y en la industria química para la fabricación por ejemplo, de dinamita.

APÉNDICE DEL CAPÍTULO 6: IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS

6.1 ORGANISMOS DE FINANCIAMIENTO MULTILATERALES

Los siguientes organismos multilaterales ofrecen programas para el financiamiento de inversiones en programas de energía renovable. El apoyo puede consistir en subvenciones, préstamos o garantías.

Agencia	Nombre del Programa	Sitio Web	Enfoque / condiciones
Comisión Europea (CE)	ENRTP51	http://ec.europa.eu/europeaid/where/worldwide/environment/working-documents_en.htm	Protección Ambiental
	GEEREF	http://ec.europa.eu/environment/jrec/energy_fund_en.htm	Energía Renovable; fondos de subvenciones: no financiamiento directo de proyectos.
Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés)	Programa de Pequeñas Donaciones (Small Grant Program, SGP)	http://sgp.undp.org/	Proyectos hasta de 50,000 dólares americanos.
	Proyectos de Mediano Tamaño (Medium-Sized Projects, MSPs)	http://www.gefweb.org/interior_right.aspx?id=16674	Proyectos de hasta 1 millón de dólares americanos.
	Proyectos Grandes (Full-Sized Projects, FSPs)	http://www.gefweb.org/interior_right.aspx?id=16674	Proyectos arriba de 1 millón de dólares americanos.
Banco Mundial	Fondos de Inversión en Clima (Climate Investment Funds, CIF)	www.worldbank.org/cif http://go.worldbank.org/58OVAGT860	
Global Village Energy		http://www.gvepinter	Ver sitio web

51 Programa temático para el Medio Ambiente y la gestión sostenible de los recursos naturales, incluida la energía.



Program (GVEP)		national.org/funding/	
Banco Africano de Desarrollo (AfDB, African Development Bank)	FINESSE	http://finesse-africa.org/	Financiamiento de Servicios de Energía para usuarios en menor escala
	Clean Energy Investment Framework (CEIF)	http://www.afdb.org/en/topics-sectors/sectors/environment/climate-change-mitigation/	Ver sitio web
Banco Asiático de Desarrollo (ADB, Asian Development Bank)	Programa de Energía Limpia (Clean Energy Program)	http://www.adb.org/Clean-Energy/funds-partnerships.asp	Financiamientos varios, Vea sitio web
Banco Interamericano de Desarrollo	Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN)	http://www.iadb.org/mif/We_fund.cfm?lang=en	América Latina, desarrollo empresarial, subvenciones mixtas/préstamos
	SECCI	http://www.iadb.org/secci/	Latinoamérica
Banco Centroamericano de Integración Económica, BCIE	ARECA	http://www.bcie.org/spanish/banca-inversion-desarrollo/desarrollo-competitividad/areca.php	Centroamérica, "Acelerando las Inversiones en <i>Energía Renovable</i> en Centroamérica"
Sistema de Integración Centroamericana, SICA	AEA	http://www.sica.int/energia	Centroamérica, financiamientos hasta 50,000 euros.
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).	SEFI	http://www.sefi.unep.org/	Organizaciones financiadoras; ningún proyecto de financiación directa.
UNIDO	Energía rural renovable	http://www.unido.org/index.php?id=o24839	Ver sitio web

6.2 ORGANIZACIONES DE DESARROLLO

La siguiente lista da una visión general de las organizaciones de desarrollo (tanto públicas como privadas) que tienen líneas de financiamiento para proyectos de energía renovables.



Las organizaciones de desarrollo en general, otorgan fondos no reembolsables (subvenciones). El proyecto debe tener objetivos sociales claros y elementos innovadores (proyecto piloto o demostrativos), a fin de tener éxito. Para la replicación a gran escala, un capital de riesgo social puede ser la fuente más apropiada. A continuación se da una visión general de algunas fuentes de financiamiento.

Agencia	Nombre del Programa	Sitio Web	Enfoque / condiciones
REEEP		http://www.reeep.org/	Ver sitio web
Fundación UN	Clean Energy Development	http://www.unfoundation.org/global-issues/climate-and-energy/clean-energy-development.html	Ver sitio web
Senternovem (Holanda)	Daey Ouwens Fund	http://www.senternovem.nl/daeyouwensfund/index.asp	Pequeños proyectos de energía renovable en países en desarrollo. € 100.000 a 2,500,000. Máximo del 50% del costo total.
Ministerio Holandés de Relaciones Exteriores	Programa de Inversión del Sector Privado (Private Sector Investment Program, PSI)	http://www.evd.nl/business/programmes/programmaint_psi.asp?land=psi	Subvención a la inversión (hasta un 50-60%) para inversiones en los países en desarrollo
Fundación Shell		http://www.shellfoundation.org	Ver sitio web
Fundación Energía		http://www.ef.org/app_guidelines.cfm	Sólo China (y USA).
Fondo Luna Azul	Rethinking Consumption and Energy	http://www.blumoonfund.org/	Asia y America Latina
Fondo Hermanos Rockefeller	Cross-Programmatic Initiative: Energy	http://www.rbf.org/	Sólo África del Sur , China (y USA)

Muchas organizaciones de desarrollo que no tienen un enfoque particular en proyectos de energías renovables, han financiado proyectos de este tipo en el pasado.

6.3 INVERSIÓN EN CAPITAL SOCIAL

El año pasado, aumentó el número de instituciones privadas de financiamiento que invierten en empresas sostenibles y socialmente responsables en los países en desarrollo. Algunas de ellas se centran específicamente en el tema de energía renovable, como la E+Co, Fondo Triodos Energía Renovable para el de Desarrollo y el Fondo Africano de Bio-Energía.



Existen además, otras instituciones que financian una amplia gama de actividades empresariales. Se sabe que, como parte de sus actividades de Responsabilidad Social Empresarial, grandes compañías energéticas, fondos de pensiones, etc., han co-invertido en iniciativas de Jatropha en países en desarrollo. Estas instituciones no ofrecen donaciones, sino capital en forma de acciones o préstamos. La lista de organizaciones que proporcionan capital de riesgo social es larga y crece constantemente. Para obtener una lista actualizada de las organizaciones con un enfoque especial sobre la energía sostenible, se recomienda consultar el Directorio de Finanzas de la Energía Sostenible en el siguiente enlace: <http://www.sef-directory.net>. Una lista de miembros del Foro Social Europeo de Inversiones (Eurosif), se puede ver en el siguiente enlace: http://www.eurosif.org/member_affiliates/list_of_member_affiliates

6.4 ENLACES DE INTERÉS

El Directorio de Financiamiento de Energía Sostenible es una base de datos en línea de acceso gratuito con prestamistas e inversores que proporcionan financiamiento en el sector energía sostenible (energías renovables y eficiencia energética) a nivel mundial. Para acceder se requiere un registro, el cual es gratuito, ver <http://www.sef-directory.net/>

Para obtener una lista de los bancos de desarrollo bilaterales y organismos que apoyan proyectos de energía renovable, vea: <http://go.worldbank.org/X33QHLOH70>

Para obtener una lista de los bancos éticos que pueden estar interesados en inversiones en empresas ecológicamente sostenibles y socialmente justas, vea: http://en.wikipedia.org/wiki/Social_Investment_Forum

La caja de herramientas de energía renovable del Banco Mundial (REToolkit) proporciona un amplio conjunto de herramientas para mejorar el diseño y aplicación de proyectos de energías renovables. Vea <http://go.worldbank.org/Y20OGSRGH0>

Recursos Naturales de Canadá ofrece un Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia llamado RETScreen. Este es un software libre que se puede utilizar para evaluar la producción energética y el ahorro, los costos, reducción de emisiones, viabilidad financiera y riesgos para diversos tipos de energías renovables y tecnologías de eficiencia energética (TEE). Se requiere un registro, el cual es gratuito, vea: <http://www.retscreen.net/ang/home.php>

Presentación sobre movilización de fondos para proyectos de energía renovable por Judy Siegel, Presidente, Grupo de Energía y Seguridad, 19 de abril de 2006, ver: http://www.abanet.org/environ/committees/renewableenergy/teleconarchives/041906/Siegel_Presentation.pdf



"Descripción de los escenarios de financiamiento existentes para energías renovables" por la Dra. Christine Wörten, Jefe del Departamento de Energías Renovables, Agencia Alemana de Energía (DENA). Conferencia sobre Energías Renovables para las embajadas de Alemania, Berlín, 26 de junio de 2007. [http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Veranstaltungen/2007/07/2.3. Overview of existing funding schemes dena Dr. Ch Woerlen.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Veranstaltungen/2007/07/2.3.Overview_of_existing_funding_schemes_dena_Dr._Ch_Woerlen.pdf)

Mecanismos de financiamiento innovadores para sistemas de energía renovable en países en desarrollo, Norberth Wolgemuth, Centro Colaborador del PNUMA sobre Energía y Medio Ambiente, Dinamarca, ver: <http://www.earthscope.org/r2/ES14477/won01.pdf>

6.5 ASISTENCIA TÉCNICA

Esperamos que este manual contribuya a la difusión de información realista y fiable sobre la forma de diseñar y ejecutar un proyecto de Jatropha. Si desea más información sobre temas específicos, el sitio web de FACT (www.fact-fuels.org) contiene una amplia y bien seleccionada sección de literatura sobre muchos temas específicos relacionados con la cadena de producción de la Jatropha. Más ampliamente, el Internet es también una fuente de información de gran alcance, pero se debe tener cuidado de sitios (a menudo comerciales) los cuales no brindan datos reales sobre rendimientos y hace descripciones simplistas de la cadena de biocombustibles. Sin embargo, aun con toda esta información disponible, el auto aprendizaje para la implementación es bastante difícil.

Las siguientes organizaciones de desarrollo pueden ofrecer asistencia técnica gratis o a bajo costo a iniciativas realizadas por pequeños agricultores. Para obtener más información, por favor, consulte sus páginas web y, en el caso que exista, al representante en su país.

Organización	Área de experiencia	Página Web	Proyectos pilotos de Jatropha
DED (Alemania)	Cultivo de Jatropha, Tecnología para Aceite Vegetal Puro	www.ded.de	Honduras, Peru, Sudan
GTZ (Alemania)	Cultivo de Jatropha, Tecnología para Aceite Vegetal Puro	www.gtz.de	Africa y América Latina
Ingenieros sin fronteras (Int'l)	Elaboración de jabón, conversión de motores, filtrado de aceite	www.ewb-international.org/	Mali, Uganda, Tanzania,
Proyecto Full Belly (EEUU)	Despulpadoras manuales de Jatropha	www.fullbellyproject.org	Honduras, Mali
STRO (Holanda)	Todas las etapas desde la formulación hasta la evaluación	www.stro-ca-org www.gotaverde.org	Centroamérica
Acción Práctica	Asesoría técnica	http://practicalaction.org/pract	Servicio gratuito



		icalanswers/technical_enquiry_service.php	de información técnica en línea
--	--	--	---------------------------------

Los siguientes sitios ofrecen una visión general de los proyectos de Jatropha en todo el mundo y brindan algunas orientaciones para la búsqueda de asistencia técnica por área geográfica:

<http://www.jatropha.org/projects.htm>

<http://www.jatropha-platform.org>

Las empresas comerciales que participan en el establecimiento de plantaciones de Jatropha puede ser interesante como fuente de información, mercado de semillas o fuente de financiamiento (especialmente los modelos de propiedad B y C). Las principales empresas comerciales son⁵²:

Empresa	Página Web	Orientación geográfica
D1-BP Fuel crops	www.d1bpfuelcrops.com	Asia y África
Mission Biofuels	www.missionnewenergy.com	Asia
Sunbiofuels	www.sunbiofuels.co.uk	Ethiopia, Tanzania
ESV Bio-Africa Lda	www.esvgroup.com	Mozambique
GEM Biofuels	www.gembiofuels.com	Madagascar

6.6 PROGRAMAS NACIONALES DE JATROPHA PROMOVIDOS POR EL GOBIERNO

En este momento, las iniciativas más grande de Jatropha son gubernamentales a través de programas de reducción de la pobreza que se dirigen a promover entre los pequeños agricultores la venta a empresas de transformación regionales (públicas o privadas). Los programas en India y China son, debido al tamaño de su población, los más grandes en términos absolutos. Algunos de estos programas son controversiales debido al conflicto alimentos – combustible el cual se eleva cuando la plantación de Jatropha abarca amplias regiones como monocultivo. Algunos programas también tienen un presupuesto muy reducido en comparación con sus ambiciosos objetivos y deben considerarse más bien como declaración política que como una fuerza de desarrollo. Por favor, infórmese con su Ministerio de Agricultura o de Energía si en su país existe un programa de Jatropha y cuáles son las facilidades que ofrece.

52 Source: http://www.jatropha-platform.org/documents/GEXSI_Global-Jatropha-Study_FULL-REPORT.pdf

6.7 SOSTENIBILIDAD DE PROYECTOS DE JATROPHA

Autor Principal: Mara Wijnker

Al buscar la sostenibilidad de proyectos de Jatropha, la mayoría de los temas abordados en los criterios de sostenibilidad de la Comisión Cramer y RSB son importantes. Los temas también pueden organizarse de acuerdo a los términos o dimensiones de la sostenibilidad, es decir, ambiental, social y económica. Algunos de los temas pertenecen a dos o incluso a las tres dimensiones, pero son mencionados en uno sola. En lugar de una conceptualización como criterios, los temas se discuten aquí considerando el impacto potencial de los proyectos de Jatropha.

Ambiental	Social	Económico
Biodiversidad	Derecho de los trabajadores	Salarios
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Relaciones de trabajo	Mejora de los ingresos
Uso del suelo	Participación de la comunidad	Intereses comerciales
Impacto en el suelo, agua y aire	Derechos de la tierra	Alimentos vs combustible
		Transporte

Cuadro: Aspectos de sostenibilidad en proyectos de Jatropha.

Los "Proyectos de Jatropha" necesitan explicarse mejor. Al hablar de sostenibilidad, se debe distinguir los monocultivos a pequeña escala (por ejemplo hasta 1500 hectáreas de plantaciones de Jatropha) de proyectos a escalas mayores. Las plantaciones a gran escala implican el uso de economías de escala con mayor nivel de mecanización, por lo que emplean a menos personas, actuando por un interés comercial.

Dado que los impactos en proyectos a gran escala son mayores, serán discutidos aquí. Al final se hace una comparación entre los impactos causados por plantaciones a pequeña y grande escala.

Junto al tamaño de las plantaciones, hay muchas otras características que deben tenerse en cuenta en los proyectos de Jatropha, como ser, las tecnologías a utilizar, el número de personas locales involucradas, el sistema de organización de las plantaciones (propio, por productores subcontratados, por cooperación) etc. Este apartado hace una reseña breve de los aspectos generales de sostenibilidad aplicables a proyectos de Jatropha presentados en el cuadro anterior.

6.7.1 Aspectos ambientales

Biodiversidad y áreas de conservación

La biodiversidad es un tema importante en todas las plantaciones establecidas para la producción de biocombustibles ya que implican el monocultivo en áreas que se limpian para este fin. Por lo tanto, el impacto sobre la biodiversidad dependerá del uso previo del suelo y la intensidad de la producción. De esa manera, será distinto si el terreno a cultivar estuvo originalmente cubierto con vegetación natural primaria que si el terreno estuvo ya cultivado o catalogado como tierras inadecuadas. El impacto sobre la biodiversidad ha sido plasmado en mapas en la mayoría de los países. En muchos países existen varios tipos de mapas de las zonas con alto potencial de biodiversidad. A menudo, esto coincide con la protección de zonas con alto valor de conservación, y que, por tanto, no pueden utilizarse. En ese sentido, muchas veces se requiere que tanto las áreas con alto valor de conservación como las áreas protegidas, se proyecten en un solo mapa. De esa manera, las zonas que quedaron fuera de las áreas con alto potencial de diversidad biológica, valor de conservación y áreas de protección, podrían ser consideradas para la producción.

Sin embargo, algunas áreas protegidas permiten la plantación de árboles para uso de la población local, para protección de animales, entre otros. Un caso es el de Tanzania dónde al hacer la proyección, resultó que la mayoría de las zonas del país no estaban disponibles para la plantación de *Jatropha*. Un buen ejemplo es el estudio de Pro Forest Ltd. que buscó en los bosques de sabanas, bosque de miombo, en el bosque mopane y en el bosque seco, la diversidad biológica forestal [3].

La biodiversidad puede ser cambiada de manera positiva o negativa cuando tierras sin uso y con muy poca vegetación son utilizadas para plantar *Jatropha* (Ref. Kumar, Taller FACT de *Jatropha*). Las plantas de *Jatropha* pueden mejorar la estructura del suelo proporcionando un hábitat adecuado para algunas especies, y en consecuencia, la reducción de otras. La biodiversidad en sí consiste en la variedad de especies en un hábitat. En ese sentido, en algunos casos, es difícil evaluar el equilibrio.

Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero de *Jatropha* pueden ocurrir en la zona de producción de plantas, en la producción de combustible, en la distribución al usuario final en forma ya sea de electricidad, jabón, biofertilizante u otros productos finales. Algunos de los productos finales de *Jatropha* producen más emisiones de gases de efecto invernadero



que otros. Por ejemplo, el 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida del biodiesel de *Jatropha* son resultado de su utilización final.

En cada una de las partes de la cadena de producción, diferentes condiciones pueden darse según sea el proyecto. Por ello, no es posible referirse a un resultado del Análisis del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en Inglés) de la *Jatropha*. Cada proyecto tendrá que llevarse a cabo en condiciones particulares. No obstante, a fin de comparar los diferentes resultados de proyectos de plantación de *Jatropha*, es importante que se desarrolle una metodología análisis del ciclo de vida para la *Jatropha*. Esto ayudará a los profesionales que trabajan con *Jatropha* a elegir las mejores opciones de equilibrio entre economía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Una serie de LCA y métodos de estimación de emisiones de CO₂ han sido desarrollados por instituciones de investigación, tales como la Universidad de Lovaina en Bélgica, EMPA⁵³, que es una institución de investigación interdisciplinaria y de servicios para las ciencias de materiales y tecnología en Suiza, la Universidad Chiang Mai⁵⁴ en Tailandia, etc.

Al mirar el LCA algunos factores parecen ser más importantes que otros. Algunos se discuten:

- Las emisiones de gases de efecto invernadero de los cambios de uso del suelo para la producción de *Jatropha* también debe tenerse en cuenta, ya que se remueve la vegetación existente en el sitio a cultivar. La magnitud de la contribución a las emisiones de carbono dependerá fuertemente de la cobertura de suelo original removida. Al plantar *Jatropha* en tierras degradadas en desuso, el secuestro de carbono se mejorará, en cambio, al descombrar bosques para establecer plantaciones de *Jatropha*, se causarán emisiones de gases de efecto invernadero.
- Se requerirá la incorporación de nutrientes al suelo, debido a la pérdida asociada a la producción de plantas de *Jatropha*. Es posible utilizar los residuos de prensado de semillas de *Jatropha* como un fertilizante orgánico, pero en ese caso, es necesario transportar este residuo desde el sitio de procesamiento hasta el campo de cultivo. Dependiendo de la organización del proyecto, esto será posible o no, y los costos de transporte será un parámetro importante. Desde el punto de vista de la sostenibilidad esta es una buena opción. Si el abono orgánico puede ser utilizado, o la fertilización con leguminosas fijadoras de nitrógeno, son preferibles al uso de fertilizantes químicos, ya que para su producción, especialmente los fertilizantes nitrogenados químicos, requieren de una gran cantidad de energía basada en combustibles fósiles.
- En la producción de biodiesel, la generación de emisiones de gases de efecto invernadero son mayores en comparación con la producción de aceite vegetal puro

53 Simón Gmünder (EMPA)M. Classen, R. Zah P. Mukherjee, S. Bhattacharjee (Winrock India) Análisis del Ciclo de Vida de la *Jatropha*-basado en un Caso de Estudio de Electrificación Rural en Village Ranidhera, Chhattisgarh.

54 Manejo del Ciclo de Vida de *Jatropha* en la Producción de Bio-Diesel en Tailandia, Sate Sampattagul1, Chonticha Suttibut, Sadamichi Yucho and Tanongkiat Kiatsiriroat, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chiang Mai. Laboratorio de Sistemas Térmicos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chiang Mai, Tailandia 50200 Autor: sate@eng.cmu.ac.th



ya que requiere de un paso adicional en el proceso de producción en el cual se utilizan sustancias químicas y energía. Además, este paso del proceso es caro y un poco complicado y requiere de algunos equipos de procesamiento. Por esta razón, los proyectos a pequeña escala en zonas rurales por lo general solo producen aceite vegetal puro. Al ver el balance de energía, la producción de biodiesel no es tanto como la energía que se utiliza durante su producción. Desde este punto de vista, no es de mucho beneficio agregar este paso.

Impacto en el suelo, agua y aire

En tierras degradadas, el cultivo de *Jatropha* tendrá una influencia positiva sobre el estado del suelo, ya que mejorará la estructura vegetal y la diversidad biológica, además de que las raíces de las plantas, proporcionarán una estructura de protección contra la erosión del suelo. Sin embargo, se puede esperar lo contrario cuando los bosques o tierras de sabana son convertidos en plantaciones de *Jatropha*.

Además, cuando no se reintegran los nutrientes al suelo en las plantaciones después de la cosecha, el suelo se vuelve más pobre. El impacto de la *Jatropha* en el suelo será en función de ¿qué tipo de vegetación existía en el sitio de cultivo?, ¿qué técnicas de cultivo de *Jatropha* se están utilizando?, etc.

La *Jatropha* puede sobrevivir en climas con una lluvia constante de al menos 600 milímetros. Sin embargo, para cosechar frutos se necesita más lluvia. Dependiendo del clima, puede que no sea necesario el riego, aunque los rendimientos pueden mejorar mucho mediante un suministro suficiente de agua. Al existir limitación del agua en las plantas de *Jatropha*, pierden sus hojas y de esa forma resisten la sequía. Sin embargo, al no haber hojas, no se realiza de manera adecuada la fotosíntesis.

En las plantaciones de *Jatropha* se pueden utilizar métodos de captación de agua, tales como la construcción de presas pequeñas en las pendientes del terreno, contribuyendo a un aumento en el nivel de agua subterránea, con buenos resultados. Este método en *Jatropha* fue comúnmente utilizado en algunos países del Sahel.

El mayor y más importante impacto en el aire se ha discutido en la sección anterior, pero esta relación se debe hacer no sólo con las emisiones derivadas de las actividades agrícolas y de transporte para el establecimiento de una plantación de *Jatropha*, sino también, las emisiones de la combustión de Aceite Vegetal Puro de *Jatropha* en motores y su transformación en biodiesel y uso, así como en el uso del biogás producido a partir del residuo de prensado de semillas de *Jatropha*.

6.7.2 Aspectos sociales

Debido a la mano de obra intensiva utilizada en la cosecha de *Jatropha*, pueden crearse nuevos puestos de trabajo para las comunidades. Las plantaciones a gran escala son fuentes



de trabajo para los habitantes locales. Sin embargo, en un futuro cuando la recolección se haga de manera mecánica, la generación de empleo puede ser menos de lo esperada, pero los salarios más altos. A largo plazo, la recolección mecánica será una condición para el progreso social. El costo del trabajo de cosecha es el costo más importante del proceso de producción del aceite de *Jatropha*. La baja productividad del trabajo de cosecha hace que la producción de *Jatropha* sea rentable sólo en países donde la mano de obra local es de bajo costo (<2,50 dólares americanos por día). Este ingreso no es suficiente para proporcionar un nivel de vida aceptable. Por otra parte, la escasez de mano de obra debe preverse si las plantaciones se amplían y se desarrollen otros sectores de desarrollo económico.

La creación de empleo no implica necesariamente buenas condiciones de trabajo. Si el número de personas dentro de la zona dispuestas a trabajar en las plantaciones excede al número necesario, la gerencia de la plantación tendrá una posición fuerte y no necesariamente tendrá que cuidar bien de su personal en materia de salarios, condiciones de trabajo, etc.

La creación de instalaciones de procesamiento por inversionistas locales o extranjeros, también puede crear puestos de trabajo para las comunidades, y si existe una vinculación a largo plazo con las comunidades, se garantizará la estabilidad del proyecto a largo plazo.

El Proyecto FACT en Malí es un buen ejemplo de ello, ya que el cultivo de *Jatropha*, la producción de aceite y luego la producción de electricidad se integran en la aldea de Garalo, donde la comunidad es propietaria del proyecto. Otro ejemplo es la empresa hondureña de procesamiento de biocombustibles BYSA, que es propiedad de los agricultores proveedores en un 49% y un 51% restantes por una institución de desarrollo empresarial rural sin fines de lucro (FUNDER). En proyectos de pequeña escala de propiedad comunitaria, es necesaria la participación continua para lograr un proyecto sostenible. En los proyectos a gran escala, las relaciones con los agricultores podrían ser menos estrictas, por ejemplo, en la contratación temporal de trabajadores, la participación de la comunidad puede ser mínima.

Derechos sobre la tierra

Debido a los grandes intereses comerciales de las empresas extranjeras que influyen en los gobiernos de los países del sur, a veces los derechos de las personas que viven en zonas remotas son ignorados. A menudo, el gobierno es propietario de la tierra y la arrienda a empresas extranjeras que podrían estar pagando más de lo suficiente. Las personas que originalmente viven o trabajan en estas tierras podrían entonces ser desalojadas. Por lo tanto, la mayoría de los criterios de sostenibilidad añaden la cuestión de derecho sobre la tierra, afirmando que los derechos locales de tierras y la propiedad (formal e informal) debe ser respetada.

6.7.3 Aspectos económicos

Lo más importante es la sostenibilidad financiera de un proyecto de *Jatropha*. Esto depende de una serie de cuestiones tales como el precio mundial del petróleo, la política del gobierno (por ejemplo, subsidios a los combustibles), el nivel local de salarios de agricultores y cosechadores, gastos de transporte de las semillas y aceite / diesel, costos de inversión de el equipo y su eficacia, si la tierra dónde se va a cultivar debe ser descombrada, si es necesario el riego, etc. Además, una predicción fiable y no demasiado optimista del rendimiento es importante. Mayor referencia se hacen en el capítulo de economía y aspectos financieros (capítulo 6).

Los salarios no pueden ser tan altos como los márgenes de beneficio del aceite de *Jatropha*. A pequeños agricultores se les suele pagar por kilogramo de semilla entregada. Si los agricultores deciden cultivar *Jatropha* junto a su cultivo tradicional (cultivo mixto) se puede esperar un aumento de los ingresos y por ende la creación de posibilidades para el desarrollo.

Si la gente local trabaja en plantaciones a gran escala, probablemente el beneficio se reducirá sobre todo en su salario diario.

Es probable que la política se verá influida por el gran interés del uso de los biocombustibles en general y de la *Jatropha curcas L* en particular. Además, si los grandes inversionistas comerciales están interesados en utilizar por ejemplo, áreas que pueden utilizarse para cultivos alimentarios, los intereses comerciales pueden interponerse a los impactos de índole social y ambiental.

Alimentos vs combustible

Para los agricultores, la decisión de producir alimentos o combustibles se basa en el razonamiento económico. Para un país en su conjunto, o incluso para el mundo será un tema la estimulación de agricultores para el cultivo de alimentos en lugar de combustibles, si la falta de cosechas de alimentos existe, ver Ref. [9]

Sobre la controversia de los combustibles y alimentos, está claro que el problema se puede reproducir en proyectos mal diseñados enfocados en la producción a gran escala de biocombustibles para exportación. Sin embargo, si los proyectos de producción de biocombustibles contemplan el beneficio de la población local y se presta atención en la combinación de cultivo de alimentos y combustibles, mejoramiento de las semillas para alimentación, reciclado de nutrientes, mejora de prácticas agrícolas, la misma hectárea puede producir más alimentos y biocombustibles que en la mayoría de las actuales condiciones de baja productividad. En el ejemplo, en los proyectos del FACT en Honduras



(Gota Verde), Mozambique (ADDP Mozambique) y Malí (MFC), los extensionistas agrícolas promueven este enfoque.

Cuando el cultivo intercalado puede ser desarrollado con éxito, la producción de *Jatropha* puede ir de la mano con la producción de alimentos. Además, la *Jatropha* puede crecer en tierras degradadas que no se utilizan para la producción de alimentos. A menudo, existen otras limitantes más importantes para la producción eficiente de alimentos, que solamente la disponibilidad de tierra. El acceso al crédito es una limitante conocida en el caso de los pequeños agricultores. En el capítulo 6 se da un ejemplo de cómo las plantaciones de *Jatropha* de pequeños agricultores pueden utilizarse como garantía en un esquema de financiamiento de cultivos básicos, incluso sin la participación de instituciones financieras.

El debate alimentos versus combustible no es muy relevante cuando los agricultores deciden utilizar tierras que no estaban en uso antes para la producción de alimentos y, concretamente, si se trata de tierra que no puede ser usado para la producción de alimentos debido a su condición degradada o a su baja fertilidad. Las plantaciones de muy pequeña escala, así como el uso de *Jatropha* en cercos vivos no se limitan a esta discusión.

La discusión se hace pertinente cuando una gran cantidad de tierras fértiles se utilizan y sobre todo cuando estas tierras están destinadas a la producción de alimentos.

En opinión del FACT deben ser los agricultores quienes decidan qué cultivar, sobre la base de decisiones informadas y un equilibrio de beneficios y riesgos. En algunos casos, los agricultores pueden utilizar incluso una estrategia para producir ambos cultivos.

Transporte

En general, mayor transporte en cada uno de los pasos del proceso de producción contribuye a más emisiones de gases de efecto invernadero, así como a costos adicionales. Depende en gran medida de la extensión de la zona del proyecto y si las semillas se procesan en un área central o en varias áreas descentralizadas o móviles. Para la producción a gran escala se necesita una cuidadosa planificación de la logística.

Para las actividades en pequeñas plantaciones, las despulpadoras manuales (que separan las semillas del resto de la fruta) son baratas y tienen una gran capacidad (ver el capítulo 3) lo que permite a los agricultores dar valor agregado a su producto, y al mismo tiempo, reducir los costos de transporte. Aquí de nuevo, se encuentra el equilibrio.

6.7.4 Impactos comparados

El cuadro anterior presenta un breve resumen de los impactos de plantaciones a pequeña y grande escala que definen la sostenibilidad de los proyectos. Normalmente, los proyectos de gran escala, proporcionalmente producen grandes impactos, pero el conjunto de



actividades pequeñas también pueden tener un gran impacto cuando se cuentan todas juntas.

Con base en lo anterior, no es fácil formarse un juicio general de los efectos de un proyecto grande o muchos proyectos pequeños. Normalmente, una producción a gran escala de *Jatropha* debería tener efectos positivos también a grande escala, pero esto podría perderse debido a la baja motivación del personal, la ineficiencia burocrática, etc. Muchos proyectos de pequeños empresarios también podrían obtener beneficios de los efectos de escala en la compra a través de por ejemplo, una asociación de productores.

Los proyectos a gran escala que quieren proveer de biocombustibles en el mercado de la Unión Europea, tendrán que cumplir con los criterios de sostenibilidad. El objetivo es establecer en estos proyectos un marco estricto de trabajo similar al de la Unión Europea. Los costos adicionales podrían ser compensados con un mayor precio de biocombustibles sostenible. Los productores de otros mercados ya sea regional o local, no respetan estos parámetros. Además, los pequeños agricultores podrían entender en menor grado los criterios y tomar decisiones equivocadas como la tala de bosques o afectación de áreas de conservación para el cultivo de *Jatropha* con fines de lucro.

Mesa Redonda sobre Biocombustibles Sostenibles: Esta iniciativa se inició por la EPFL (Escuela Politécnica Federal de Lausana) y se integra por empresas de investigación y desarrollo y profesionales.

Los principales criterios en torno a actividades en la legalidad de la biomasa, consulta, planificación y seguimiento, cambio climático y gases de efecto invernadero, desarrollo rural y social, la seguridad alimentaria, la conservación, suelo, agua, aire, la eficiencia económica, tecnológica y mejora continua y los derechos sobre la tierra se pueden encontrar en el anexo.

La WNF, como parte de la RSB, creó un grupo de trabajo sobre la *Jatropha*. En 2008, un primer taller se celebró en Bruselas sobre la producción de *Jatropha* y la conversión de su sostenibilidad. Se recomienda consultar el informe sobre las normas de sostenibilidad para la bioenergía de la WWF.

Mesa Redonda sobre Biomasa Sostenible: Criterios sostenibles de la biomasa, fuente WIKK, 2008:

Legalidad

- La producción de biocombustibles deberá cumplir con todas las leyes aplicables del país en el que ocurre y se esforzará por seguir todos los tratados internacionales relativos a la producción de biocombustible a los que el país en cuestión es parte. Orientación clave: incluye las leyes y los tratados relativos a la calidad del aire, recursos hídricos, conservación de suelos, áreas protegidas, biodiversidad,



condiciones de trabajo, prácticas agrícolas y los derechos de la tierra, incluyendo por ejemplo la OIT, el CDB, la UNFCCC y la Declaración Universal de los Derechos Humanos. Esta norma puede ir más allá de la legislación nacional, pero no puede contradecir o contrariarla.

Consulta, planificación y monitoreo

- Los proyectos de biocombustibles deben ser diseñados y operados bajo un proceso adecuado, amplio, transparente, de consulta y bajo procesos participativos que involucren a todos los interesados. Orientación clave: "los proyectos de biocombustibles" se refiere a las explotaciones agrícolas y fábricas de producción de biocombustibles. La intención de este principio es el de difundir las situaciones de conflicto mediante un proceso abierto y transparente de consulta y aceptación, con una escala de consultas proporcional a la magnitud, alcance y fase del proyecto y los conflictos potenciales. El RSB desarrollará un proceso para determinar el alcance de la consulta de interesados sobre la base de criterios clave. En sitios donde existen muchos agricultores participando en la misma actividad en la misma zona, debería haber flexibilidad para que combinen su trabajo en grupo.

Cambio climático y gases de efecto invernadero

- Los biocombustibles contribuirá a mitigar el cambio climático al reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el uso de los combustibles fósiles.

Orientación clave: El objetivo de este principio es establecer una metodología estándar aceptable para comparar los beneficios de reducción de gases de efecto invernadero de los diferentes biocombustibles de manera que se estandarice los reglamentos y establezcan normas. El requisito fundamental es por tanto, establecer una metodología que no sea afectada por suposiciones, subjetividad o manipulación. La referencia de los combustibles fósiles deberá ser global, basada en proyecciones de la AIE de mezclas de combustibles fósiles.

Derechos humanos y laborales

- La producción de biocombustibles no debe violentar los derechos humanos o laborales y velará por el trabajo decente y el bienestar de los trabajadores. Orientación clave: convenios internacionales clave tales como los convenios laborales fundamentales de la OIT y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos Humanos constituyen la base de este principio. Los empleados, contratistas, pequeños productores y empleados de los productores deberán gozarán de los derechos descritos. El "Trabajo decente", definido por la OIT, será el objetivo a perseguir por este principio.

Desarrollo rural y social

- La producción de biocombustibles contribuirá al desarrollo social y económico de las poblaciones locales, rurales e indígenas y las comunidades.

Seguridad alimentaria

- La producción de biocombustibles no deberá afectar de ningún modo la seguridad alimentaria.



Conservation

- La producción de biocombustibles deberá evitar los impactos negativos en la biodiversidad, los ecosistemas y áreas con alto valor de conservación. Orientación clave: áreas con alto valor de conservación, ecosistemas nativos, corredores ecológicos y áreas públicas y privadas de conservación biológica sólo se puede aprovechar en la medida que los valores de conservación se mantendrán intactos y no pueden ser alterados en ningún caso. La definición de estos términos y una fecha de interrupción adecuada será desarrollado por la RSB.

Suelo

- La producción de biocombustibles deberá promover prácticas que mejoren la salud del suelo y minimicen su degradación.

Agua

- La producción de biocombustibles deberá optimizar la utilización de recursos hídricos superficiales y subterráneos, en particular deberá reducir al mínimo la contaminación o agotamiento de estos recursos, y no deberá violentar los derechos de agua formal y consuetudinario existentes.

Aire

- La contaminación del aire resultado de la producción y procesamiento de biocombustibles deberá ser minimizado a lo largo de la cadena de suministro.

Eficiencia económica, tecnología y mejora continua

- Los biocombustibles se producen de la manera más efectiva en términos de costos. El uso de tecnología deberá mejorar la eficiencia de la producción y el desempeño social y ambiental en todas las etapas de la cadena de valor de los biocombustibles.

Derechos sobre la Tierra

- La producción de biocombustibles no deberá violentar los derechos de la tierra.

La Comisión Cramer en el 2007 elaboró un informe sobre el tema de sostenibilidad de la biomasa que en el momento se consideraba en estado técnica. El informe establece criterios de sostenibilidad para diferentes fuentes de biomasa. En algunas partes del informe es evidente que:

1. La comisión busca vincular los criterios existentes para el desarrollo sostenible, en lugar de inventar la rueda otra vez.
2. Aun falta la definición de indicadores operacionales para muchos de los criterios.
3. Balance de gases de efecto invernadero; la reducción de las emisiones netas en comparación con las emisiones de referencia de combustibles fósiles, incluida la aplicación, actualmente es de al menos de 30% y se espera llegue hasta el 50% en el 2011.
4. En la competencia con alimentos y otras necesidades básicas, la Comisión asume que la biomasa se exportará en lugar de usarse localmente. Debe haber conocimiento de



- la disponibilidad de biomasa para alimentación, suministro de energía local, materiales de construcción o para uso medicinal.
5. La diversidad biológica es ahora centrado en las plantaciones que se prevén en zonas aledañas a las áreas protegidas; otros aspectos están aún por elaborar.
 6. Los criterios de prosperidad económica se limitan a garantizar que no ocurran efectos negativos en las empresas de producción de biomasa, pero no se centran en la contribución a la economía local.
 7. El bienestar se detalla en 5 puntos secundarios:
 1. Aspectos sobre las condiciones de trabajo
 2. Derechos humanos
 3. Derechos de propiedad
 4. Efectos sociales del cultivo de biomasa
 5. Integridad y lucha contra la corrupción

Los puntos relativos a los aspectos ambientales se relacionan con los insumos (gestión integrada de cultivos), uso adecuado de fertilizantes, conservación del suelo y del agua (subterránea y superficial).

Así, los criterios de la Comisión Cramer son aplicables a sistemas de cultivo a gran escala, pero no a su procesamiento, y tampoco a los efectos de los cambios del mercado debido a la gran escala de producción de biomasa. Estos puntos deben ser incluidos, si se quiere considerar, en un concepto de cadena. Es decir, desde el cultivo de la biomasa hasta un producto final con un mercado.

Sobre la base de los criterios de Cramer, un grupo de trabajo en Holanda que incluye los institutos de normas, compañías del sector energía y medio ambiente y ONG de desarrollo, han producido la NAT 8080 que es una elaboración más definida de los criterios de Cramer. Sorprendentemente, el documento está en idioma holandés. Aunque los criterios están bien definidos, en algunos casos suponen la existencia de datos e instituciones que no se encuentran comúnmente en los países en desarrollo.

<http://www2.nen.nl/nen/servlet/dispatcher.Dispatcher?id=274031&parentid=000009>

6.8 REFERENCIAS

- Perspectiva: “biodiesel Jatropha fueling sustainability”, WMJ Achten y otros, Biofuels, bioproducts & biorefining, ISSN: 1932-104X, 2007.
- Producción a pequeña escala y uso de Biocombustible líquido en África Subsahariana: Perspectivas para el desarrollo sostenible, Documento de antecedentes No. 2, UNDESA, Comisión de Desarrollo Sostenible, Nueva York, 2007.
- Literatura de Jatropha y resumen de perspectivas: Principales impactos potenciales sociales y ambientales derivados de plantaciones a gran escala, Mayo 2008, Proforest Ltd.
- Beleidsnotitie milieu en hernieuwbare energie in ontwikkelingssamenwerking, Ministerio de Asuntos Exteriores, Noviembre 2008.

- 
- 
- FACT reactie op “Heldergroene Biomassa”, Stichting Natuur en Milieu, www.fact-fuels.org, 30 de enero de 2008.
 - Empoderamiento de comunidades rurales a través del cultivo de energía, Mesa redonda en empresas bioenergéticas en regiones en desarrollo, documento de antecedentes, PNUD, 2008.
 - Mesa redonda en Biocombustibles Sostenibles, principios y criterios globales para la producción de biocombustibles sostenibles, version zero, école polytechnique fédérale de Lausanne, Centro de Energía, 2008. Título: Versión Zero - Principios para biocombustibles sostenibles. Versión 0.0 (Agosto 2008) RSB-Steering Board (<http://cgse.epfl.ch/Jahia/site/cgse/op/edit/lang/en/pid/70341>)
 - El estado de los alimentos y la agricultura, Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades, FAO, 2008, ISSN 0081-4539
 - Nota de discusión: Biomasa sostenible para reducción de la pobreza etc., 19/07/07 tbv Taller de Alimentación y Energía WR
 - Producto filosófico del prof. Kees Daey Ouwens
 - FACT documento de posición.