

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

*Diseño del proceso para la extracción de aceite de la semilla de
jatropha, especie curcas, utilizando medios mecánicos y por
solventes, para la producción de biodiesel a partir del aceite
extraído, a nivel laboratorio.*

José Andrés Hernández Gaitán

Guatemala

2010

Diseño del proceso para la extracción de aceite de la semilla de jatropha, especie curcas, utilizando medios mecánicos y por solventes, para la producción de biodiesel a partir del aceite extraído, a nivel laboratorio

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería


*Diseño del proceso para la extracción de aceite de la semilla de
jatropha, especie curcas, utilizando medios mecánicos y por
solventes, para la producción de biodiesel a partir del aceite
extraído, a nivel laboratorio*

Trabajo de graduación presentado por José Andrés Hernández
Gaitán para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Química

Guatemala

2010

Vo.Bo:

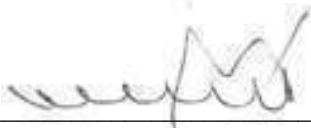
(f) 

Ing. Oscar Maldonado Ordóñez
Colegiado No. 90

Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Gamaliel Zambrano Ruano
Colegiado No. 686

(f) 

Ing. Oscar Maldonado Ordóñez
Colegiado No. 90

(f) 

Ing. Jorge Luis Muñoz
Colegiado No. 1399

Fecha de aprobación: Guatemala, 8 de diciembre de 2009

ÍNDICE

Lista de tablas	vii
Lista de gráficas	viii
Lista de figuras	ix
Lista de fotografías	x
Listado de diagramas	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1.
II. ANTECEDENTES	2.
III. OBJETIVOS	14.
IV. RESULTADOS	15.
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	24.
VI. CONCLUSIONES	32.
VII. RECOMENDACIONES	33.
VIII. BIBLIOGRAFÍA	34.
IX. APÉNDICE	35.

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág
1. Taxonomía de la semilla de Piñón	2
2. Características físicas de la <i>Jatropha</i>	3
3. Usos de la torta y aceite de la semilla de Piñón	4
4. Propiedades del aceite de Piñón como combustible	10
5. Tabla de especificaciones de los equipos de la planta de extracción	15
6. Humedades para la Muestra A sin decorticar, secada a 45 °C en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, en función del tiempo.	16
7. Humedades para las Muestras A1, A2 y A3 decortizadas, secadas a 45 °C en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, en función del tiempo.	17
8. Humedad de semillas de las Muestras B1, B2, C1 y C2 después de haber sido secadas a 45 °C en diferentes tiempos.	17
9. Rendimiento promedio de extracción para las muestras B1, B2, C1 y C2	17
10. Rendimiento de extracción de aceite para las diferentes muestras examinadas.	18
11. Relación del rendimiento vs. el tiempo de secado y la humedad final, de las diferentes muestras.	18
12. Cromatografía de gases de la muestra “Curca 1”.	20
13. Cromatografía de gases de la muestra “Curca 2”.	20
14. Cromatografía de gases de OIL REFERENCE STANDARD, AOCS (Sigma Chemical CO.).	20
15. Ácidos grasos identificados para los diferentes tiempos de retención	21
16. Ácidos grasos identificados para semillas de <i>Jatropha</i> provenientes de Indonesia en diferentes años	21
17. Resultados del análisis de acidez del aceite	22
18. Peso de una semilla de <i>Jatropha curcas</i> (L.), variedad cabo verde, para las diferentes muestras analizadas	22
19. Relaciones molares de los reactivos vs el aceite, para las diferentes muestras de biodiesel	23
20. Volumen de KOH utilizado para neutralizar las muestras de aceite.	39
21. Volumen y pesos utilizados para determinar la densidad diferentes muestras presentadas a diferentes temperaturas	39
22. Pesos de diferentes partes del piñón para obtener los rendimientos de extracción, de diferentes muestras	39
23. Nomenclatura para las muestras tipo A.	42
24. Nomenclatura para las muestras tipo B.	43
25. Nomenclatura para las muestras tipo C.	43

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Pág
1. Diagrama de correlación entre el rendimiento del aceite vs. el tiempo de secado	19
2. Diagrama de correlación entre el rendimiento del aceite vs. la humedad final de la semilla	19
3. Gráfico con los picos en común señalados de las 3 muestras	21
4. Ecuación de la densidad del aceite en función de la temperatura	22
5. Gráfico de la cromatografía de la muestra “Curca 1”	44
6. Gráfico de la cromatografía de la muestra “Curca 2”	44
7. Gráfico de la cromatografía de la muestra “Estándar”	45

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág
1. Estructura de un triglicérido	9
2. Tipos de ácidos grasos	9
3. Reacción de transesterificación	12
4. Variable críticas identificadas para la extracción del aceite	16
5. Extracción mecánica	37
6. Extracción con solventes	38

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Pág
1. Equipo de extracción soxleth utilizado	46

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama	Pág
1. Diseño del proceso de extracción de aceite	15

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar los procesos de mayor eficiencia para la extracción de aceite a partir de semillas de *Jatropha*, comúnmente llamado piñón, especie curcas y los factores determinantes en la producción de biodiesel a escala laboratorio a partir del aceite extraído.

La primera parte del trabajo consistió en el tratamiento y almacenamiento de las semillas para poder proceder a la extracción del aceite. Se tuvo que llevar la semilla a un porcentaje menor al 10 % de humedad para su almacenamiento y extracción. Una vez se había cumplido el requisito de humedad, se pudo proceder a su extracción por medios mecánicos y por solventes. Se calcularon los porcentajes de rendimiento del aceite en base a la cantidad de semilla utilizada, determinando las variables críticas que intervienen en el proceso, con la finalidad de obtener los porcentajes de mayor rendimiento.

Una vez obtenida la metodología de extracción se pudo proceder a diseñar un proceso de extracción mecánico, en el cual se tomo en consideración las variables críticas antes analizadas. Luego, se caracterizó el aceite utilizando cromatografía de gases para determinar los principales ácidos grasos presentes y otros compuestos que se detecten durante el análisis.

Por último, se procedió a la producción de biodiesel a partir del aceite extraído utilizando una reacción de transesterificación. La calidad del biodiesel depende tanto de la acidez del aceite, como de los diferentes grupos de ácidos grasos presentes en el mismo. A la vez se obtuvo los porcentajes de rendimiento de la reacción.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the most efficient process for the extraction of oil from jatropha seeds, commonly called *piñón*, species *curcas*, and to establish the most important factors in the laboratory scale production of biodiesel from the extracted oil.

The first part of the work consisted in the treatment and storage of the seeds in order to proceed to the extraction of the oil. For the storage and extraction, it was necessary to reduce the moist of the seed to less than a 10%. Once the prerequisite of moist was achieved, the extraction of the oil could be made either by mechanic means or by solvents. The efficiency percentages of the oil extraction were calculated based on the amount of seed used, determining the critical variables that affect the process, with the purpose of obtaining the higher efficiency percentages of oil extraction.

Once the oil extraction technique was defined, a mechanical extraction process could be designed, according to the critical variables identified. Then, the oil was analyzed using gas chromatography to identify the principal free fatty acids present in the oil and other compounds detected during the analysis.

The last part was the production of biodiesel from the extracted oil using a transesterification reaction. The quality of the biodiesel depends of the oil acidity as much as the different free fatty acids groups in the jatropha oil. At the same time, the efficiency percentages of biodiesel conversion were found.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es determinar los procesos de mayor eficiencia para la extracción de aceite a partir de semillas de jatropha, comúnmente llamado piñón, especie curcas e identificar los factores determinantes en la producción de biodiesel a escala laboratorio a partir del aceite extraído.

La primera parte del trabajo de graduación consta del tratamiento y el almacenamiento de las semillas para poder proceder a la extracción del aceite. Se deberá llevar la semilla a un porcentaje menor al 10 % de humedad para su almacenamiento y extracción. Una vez se cumpla el requisito de humedad se podrá proceder a su extracción ya sea por medios mecánicos o por solventes. Se calcularán los porcentajes de rendimiento del aceite con base a la cantidad de semilla utilizada, determinando las variables críticas que intervienen en el proceso, con la finalidad de obtener los porcentajes de mayor rendimiento.

Una vez definida la técnica de extracción y aplicada a la industria, se caracterizará el aceite, utilizando cromatografía de gases para determinar los principales ácidos grasos presentes y otros compuestos que se detecten durante el análisis.

Luego se pasará a la producción de biodiesel a partir del aceite extraído utilizando una reacción de transesterificación. La calidad del biodiesel dependerá tanto de la acidez del aceite, como de los diferentes grupos de ácidos grasos presentes en el mismo. A la vez se obtendrán los porcentajes de rendimiento de la reacción.

II. ANTECEDENTES

A. JATROPHA CURCAS

Tabla No. 1
Taxonomía de la semilla de Piñón

Reino	Plantae
Subreino	Traecheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Jatropha
Especie	Curcas

(Torres, www.pregonagropecuario.com.ar)

1. Historia y precedencia. La jatropha es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros. (SRIPHL, 2004)

Aún no se conoce exactamente el lugar exacto en donde se originó, pero se cree que fue México y América Central. Se introdujo a África y Asia y ahora se cultiva a nivel mundial. Esta especie tiene una alta resistencia a la sequías se puede adaptar a regiones áridas o semiáridas. La distribución actual ha demostrado que la introducción de la planta ha sido de mayor éxito en las regiones más secas de los trópicos con una lluvia anual de 300-1000 mm. Se da principalmente a altitudes bajas (0-500 m) en áreas con una temperatura anual bastante arriba de los 20 °C, pero puede crecer a mayores altitudes y soportar heladas leves. Crece en suelos agotados con una buena aireación y se adapta bastante bien a suelos marginales con poca cantidad de nutrientes. (SRIPHL, 2004)

2. Características (Ficha técnica)

Tabla No. 2
Características físicas del Piñón

<p>Morfología vegetal <i>BREVE DESCRIPCIÓN</i> <i>Tallo</i> <i>Raíz</i> <i>Hojas</i> <i>Flores</i> <i>Frutos</i> <i>Semillas</i></p>	<p>✓ Arbusto que crece más de 2 m de altura. Con corteza blanco grisácea y exuda un látex translucido.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los tallos crecen con discontinuidad morfológica en cada incremento. 2. Normalmente se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas. 3. Las hojas normalmente se forman con 5 a 7 lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes con pecíolos largos de 10 a 15 cm y de igual ancho. Árbol con hojas caducas. 4. Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Ambas flores, masculinas y femeninas, son pequeñas (6-23 mm). Cada inflorescencia rinde un manojo de aproximadamente 10 frutos ovoides o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla. 5. Son cápsulas drupáceas y ovoides. Al inicio son carnosas pero dehiscentes cuando son secas. Las frutas son cápsulas inicialmente verde pero volviéndose a café oscuro o negro en el futuro. Las semillas están maduras cuando el fruto cambia de color del verde al amarillo 6. La fruta produce tres almendras negras, cada una aproximadamente de 2 centímetro de largo y 1 centímetro en el diámetro.
<p>FISIOLOGÍA VEGETAL</p>	<p>Colocada la semilla en el tubo con el sustrato adecuado y con una buena humedad la germinación toma 5 días. Se abre la cáscara de la semilla, sale la radícula y se forman 4 raíces periféricas pequeñas. La germinación es epigea (cotiledones surgen sobre la tierra). Poco después que las primeras hojas se han formado, los cotiledones marchitan y se caen.</p>
<p><i>Periodo vegetativo o ciclo productivo:</i></p>	<p>Es una planta perenne, cuyo ciclo productivo se extiende de 45 a 50 años.- Es de crecimiento rápido y con una altura normal de 2 a 3 m. En condiciones especiales llega hasta 5 m. El grosor del tronco es de 20 cm con crecimiento desde la base en distintas ramas.</p>
<p><i>Hábitat</i></p>	<p>✓ No requiere un tipo de suelo especial. ✓ Se desarrolla normalmente en suelos áridos y semiáridos ✓ Responde bien a suelos con PH no neutros ✓ La Jatropha crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras cascajosas, arenosas y salinas, puede crecer en la tierra pedregosa más pobre, inclusive puede crecer en las hendeduras de piedras ✓ Climáticamente, la Jatropha Curcas L. se encuentra en los trópicos y subtropicos. Resiste normalmente el calor aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera. Su requerimiento de agua es sumamente bajo y puede soportar períodos largos de sequedad. ✓ Habita en campos abiertos, como en parcelas nuevas. ✓ Es susceptible a inundaciones</p>
<p><i>Temperatura óptima/Altitud:</i></p>	<p>Resiste altas temperaturas y sequías. La planta nace en todo tipo de terreno y altitud, tanto en terrenos áridos como húmedos. La mejor condición es con altitud de 600 a 800 m.</p>

(Torres, www.pregonagropecuario.com.ar)

3. Usos actuales

Tabla No. 3
Usos de la torta y aceite de la semilla de Piñón

Torta	Aceite
Abono rico en nitrógeno, fósforo y potasio	Se puede utilizar en la fabricación de tintas y barnices
Sirve como sustrato	Se puede convertir en biodiesel el cual contamina 80% menos que el diesel y no contiene azufre
Al descomponerse en biodigestores produce gas que puede generar calor y energía eléctrica	Se puede producir jabón a partir del mismo

B. CONSIDERACIONES EN EL MANEJO DE LA SEMILLA

Las semillas y las nueces deben ser secadas apropiadamente antes de ser almacenadas y deben limpiarse para remover tierra, polvo, hojas y otros contaminantes. Los frutos deben ser cosechados en su mejor punto y transportados en un corto tiempo.

1. Almacenamiento. El objetivo principal del almacenamiento de semillas es mantener una cantidad de semillas viables desde que son recolectadas hasta el momento en que serán requeridas para la extracción (William, 1991). Semillas viables quiere decir que están vivas y con un contenido de aceite constante a través del tiempo.

La duración del almacenamiento puede ser variable, dependerá de muchos factores, aunque principalmente se deberá a las características propias de la semilla y de las condiciones ambientales. De acuerdo a la duración de las semillas pueden ser clasificadas en semillas de *vida corta*, de *vida media* y de *vida larga* (Hartmann y Kester, 1988).

a. Humedad. Un aumento de la humedad de las semillas puede provocar bastantes problemas al almacenamiento. Con un 8 a 9 % de humedad se activan los insectos y se pueden reproducir, a un 12 al 14 % de humedad se inicia la actividad de los hongos, sobre un 20 % se producen calentamientos, y sobre el 40 al 60 % las semillas germinan (Hartmann y Kester, 1988).

2. Secado. El tiempo total que consume el secado depende del porcentaje de humedad inicial de la semilla, de la velocidad de secado y del porcentaje de humedad final deseado (Morant, Miranda y Salomón; 2004).

A su vez la velocidad de secado depende de la intensidad de la corriente de aire, de la temperatura del mismo, de la masa de semilla y en general, es más rápida al principio pero luego va disminuyendo a medida que avanza el proceso (Morant, Miranda y Salomón; 2004).

El secado debe iniciarse en el campo, inmediatamente después de la colecta y/o de la extracción de las semillas. Las semillas se pueden secar con ayuda de equipos que permiten la circulación de aire a diferentes temperaturas o con gel de sílice, un método fácil y efectivo. Existen secadores electrónicos que permiten programar los ciclos de secado, la temperatura, el flujo y la velocidad del aire de secado. Hong y Ellis (1996) citado por Jaramillo y Baena (2000).

El proceso de secado comprende dos etapas bien definidas. La primera está dada por la transferencia de la humedad desde la superficie de las semillas, hacia el aire y la segunda por la transferencia de la humedad del interior de las semillas hacia la superficie de las mismas (Morant, Miranda y Salomón; 2004).

En la primera etapa, el secado ocurre simplemente cuando la presión de vapor ejercida por la humedad superficial de la semilla es mayor a la del aire que la rodea. Como se comprenderá, para esta etapa resultan mucho más eficientes los sistemas de secado a aire caliente ya que a mayor temperatura del aire mayor será su capacidad para enriquecerse de humedad y por consiguiente mayor la cantidad de agua retirada de la superficie de las semillas. El mismo efecto se logra cuando se trabaja con sistemas que permiten la utilización de aire con baja humedad relativa ambiente (Morant, Miranda y Salomón; 2004).

En la segunda etapa, el traslado del agua dentro de las semillas hacia la superficie de las mismas ocurre por difusión desde las zonas más húmedas, lógicamente, hacia las zonas más secas (Morant, Miranda y Salomón; 2004).

En este sentido mientras las pérdidas muy rápidas de humedad pueden provocar un secado excesivo de los tegumentos los cuales se vuelven total o parcialmente impermeables y dificultan en forma notable el proceso de secado, las pérdidas muy lentas favorecen el desarrollo de microorganismos patógenos que promueven el ardido y por lo tanto la pérdida del poder germinativo. Por consiguiente, uno de los aspectos fundamentales en este proceso de permitir el secado de las semillas a velocidades adecuadas disminuyendo de esta forma la posibilidad de que se presenten dichos problemas (Morant, Miranda y Salomón; 2004).

3. Extracción. La finalidad de una extracción es separar un compuesto de otro compuesto, medio o solución.

El aceite es retenido en las células del fibroso meso carpo (kernel). Los prerequisites para la extracción del aceite, son una destrucción física del meso carpo, suficiente para romper las células, y una temperatura suficiente para ayudar en la rotura y la completa homogeneización de los constituyentes de las grasas. Para la satisfactoria liberación del kernel del fruto este se debe sacar sin dañarse, ya que cualquier daño puede afectar al meso carpo que contiene el aceite.

Es recomendable que la ruptura de las células sea lo más eficiente posible, por lo que se puede utilizar molinos de cuchillos para producir una harina fina. Presión de vapor y temperaturas elevadas llevan la extracción del aceite aún más allá haciendo la extracción más eficiente, sin embargo se corre el riesgo que la calidad del aceite disminuya.

Las grasas han sido definidas como ésteres de ácidos grasos con el propanotriol (glicerina), y deben ser distinguidos de otros simples lípidos como las ceras las cuales son ésteres de ácidos grasos con gran peso molecular, cadenas rectas de alcoholes.

- a. Extracción con solventes. En el caso de las semillas oleaginosas se recurre a la extracción por presión cuando el contenido en aceite es mayor del 20%.

Para extraer el aceite del material que lo contiene por presión, las paredes de las células que lo contienen tienen que romperse. Esto se puede conseguir molturando la semilla o fruto, haciéndolos copos (“flaking”), pasándolos por rodillos o sometidos a grandes presiones.

El proceso general se podría subdividir en las siguientes operaciones:

Operaciones previas: recolección, transporte y limpieza de las semillas o frutos a través de separadores magnéticos para eliminar cualquier fragmento de metal que pudieran contener, o por flotación por aire, etc.

Secado de las semillas, generalmente en cilindros giratorios perforados atravesados por aire caliente.

Descascarillado, cuando sea necesario, y separación de las cáscaras (se realiza por flotación en varias etapas). Se recomienda para producir aceite de alta calidad y aumenta la tasa de extracción a menores presiones. Algunas semillas son sólo descascarilladas parcialmente eliminándose las partículas de mayor tamaño. De esta forma se ayuda a la rotura de las paredes celulares a presiones no mucho más altas que para las semillas descascarilladas.

Las semillas se convierten en una pasta o harina al ser molidas pasándolas, generalmente, a través de rodillos estriados o con tipos especiales de molinos de martillo. Así se consigue una rotura de la pared celular, lo que expone el aceite localizado en el interior de la célula.

El resultado de la molienda se somete a extracción por presión en una prensa hidráulica o en prensas de tornillo. En general la prensa de tornillo, sencilla o doble, más moderna, ha reemplazado a muchas prensas hidráulicas porque permite un proceso continuo, tiene mayor capacidad, requiere menor mano de obra y generalmente extrae mayor cantidad de aceite.

Posteriormente se eliminan las impurezas "gruesas" en un tamiz vibratorio y el abrillantamiento final se obtiene por filtración.

Puede haber calentamiento previo a la extracción o no, dependiendo del tipo de semilla o fruto a extraer y de la calidad del aceite que queremos obtener. Los aceites obtenidos sin calentamiento, en frío, contienen menor cantidad de impurezas y su calidad es tal que suelen ser comestibles sin posterior refinado o procesado. Al presionar la torta mientras es calentada se extraen más aceite, pero también mayor cantidad de impurezas de naturaleza no glicérica (fosfolípidos, pigmentos, materia insaponificable).

b. Extracción mecánica. En operaciones a gran escala, la extracción con disolventes es un medio más económico de obtención de aceite que la extracción por presión, y su aplicación va aumentando rápidamente, especialmente para la obtención de aceite de soja. El aceite de la semilla difunde y es extraído a través del disolvente, mientras que la proteína permanece en la torta residual con fibra e hidratos de carbono. También se agotan con disolvente las tortas obtenidas tras la operación de prensado, que suelen contener entre un 3 y un 15% de aceite residual.

Se suele realizar cuando el valor del aceite en sí mismo es considerablemente mayor que como parte de la torta.

Como disolventes en los métodos comerciales de extracción se recurre a compuestos hidrocarbonados volátiles purificados, especialmente las distintas clases de bencinas de petróleo, conocidas comúnmente como éter de petróleo, hexano o heptano. El hexano es el más utilizado tradicionalmente.

En el caso de que la materia a extraer contenga gran cantidad de aceite, más del 20%, es común someterla a un prensado previo a su extracción, en prensa de tornillo. De esta forma se elimina una parte importante de aceite, porque si no se formarían emulsiones con el disolvente, y hay ruptura de estructuras celulares, facilitando la posterior extracción con disolventes.

El proceso general se podría subdividir en las siguientes **operaciones**:

- Operaciones previas: recolección, transporte y limpieza rigurosa para eliminar metales, suciedad, piedras y semillas extrañas.
- Secado de las semillas.
- Descascarillado cuando sea necesario. Las semillas de girasol, por ejemplo, no se descascarillan antes de su extracción directa con disolventes.
- Trituración o molienda gruesa de las semillas o de la torta de prensado. La molienda es gruesa para evitar la aparición de demasiadas materias finas en el aceite.
- Acondicionamiento de temperatura de las semillas con vapor, para obtener la temperatura y humedad óptimas para realizar las siguientes operaciones.
- Se inactivan enzimas y aumenta la fluidez del aceite, mejorando la extracción.

C. ACEITE

1. Grasas. Se pueden dividir en dos grandes grupos; las de animal y las vegetal. En este estudio nos enfocaremos en las de origen vegetal. (EUFIC, 2006)

Las grasas de origen vegetal se pueden encontrar en las semillas de plantas (p.ej. colza, girasol, maíz), las frutas (p.ej. aceituna, aguacate) y los frutos secos (p.ej. cacahuetes, almendras). Para obtener el aceite se lavan y trituran las semillas, frutas o frutos secos, después se someten a procesos de calentamiento y se saca el aceite por medio de un proceso de extracción. Posteriormente, el aceite se refina para eliminar impurezas, sabores, olores o colores no deseados. Algunos aceites, como el de oliva virgen, el de nueces y el de pepitas de uva provienen del prensado directo de la semilla o fruta, sin que se realice ningún otro proceso de refinamiento. (EUFIC, 2006)

El mercado oleícola europeo se abastece principalmente de:

- Cultivos de semillas oleaginosas, que se siembran anualmente, como por ejemplo, la colza, el girasol, la soja, el maíz, y el cacahuete.
- Cultivos arbóreos, como por ejemplo el olivo, la palmera y el cacao.

a. Estructura de las grasas

1. Triglicéridos. Todos los triglicéridos están constituidos por una estructura en forma de tenedor, llamada glicerol y 3 elementos estructurales, llamados ácidos grasos. (EUFIC, 2006)

Figura No. 1
Estructura de un triglicérido



2. Ácidos grasos. Los ácidos grasos se diferencian por la longitud de su cadena de átomos de carbono (entre 4 y 22) y el número de dobles enlaces que contienen. Por ejemplo, el ácido butírico (C4:0), el ácido palmítico (C16:0) y el ácido araquídico (C20:0) contienen respectivamente en su cadena 4, 16 y 20 átomos de carbono. La gran mayoría de los ácidos grasos, tanto de la dieta como del organismo, contienen 16-18 átomos de carbono (consultar anexo con lista de los ácidos grasos más comunes). (EUFIC, 2006)

Los ácidos grasos se clasifican según el número de dobles enlaces que poseen. Las grasas saturadas no contienen dobles enlaces, las monoinsaturadas contienen uno y las poliinsaturadas dos o más. (EUFIC, 2006)

Figura No. 2
Tipos de Ácidos Grasos



El ácido graso que predomina determina las características físicas de la grasa. Las grasas que contienen una alta proporción de ácidos grasos saturados, como la mantequilla o la manteca de cerdo, poseen una temperatura de fusión relativamente elevada y tienden a ser sólidas a temperatura ambiente. La mayoría de los aceites vegetales, que contienen mayores niveles de grasas monoinsaturadas o poliinsaturadas, suelen encontrarse en estado líquido a temperatura ambiente. (EUFIC, 2006)

Cuando los aceites se calientan, los ácidos grasos insaturados son sensibles a la degradación. Los aceites ricos en monoinsaturados, como el aceite de oliva o de cacahuete, son más estables y se pueden reutilizar en mayor medida que los aceites ricos en poliinsaturados, como el aceite de maíz o de soja. (EUFIC, 2006)

2. Acidez. Este es un parámetro indicador de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en un aceite y expresada en tanto por ciento del ácido graso en mayor cantidad en el aceite.

Para determinar este porcentaje, se usan dos métodos, el tradicional que consiste en una titulación sencilla con una base de concentración conocida y fenofaleina como indicador, y el método rápido tipo test Kit.

El método tradicional a través de titulación, indica la cantidad de ácidos grasos libres expresado como porcentaje ácido oleico, siendo también un índice de calidad dado por el mal estado de los frutos, conservación o tratamiento.

El método rápido tipo Kit viene con toda la implementación necesaria, sólo se requiere agua destilada y papel absorbente. Se necesitan 4,6 ml de muestra para ser disuelta en un disolvente orgánico y luego ser titulada con una solución básica (OH⁻). El punto final será el viraje de color amarillo/verde a rosa.

3. Propiedades

Tabla No. 4

Propiedades del aceite de Piñón como combustible

Densidad (g/cm³)	0,92
Punto de Ignición(°C)	340
Punto de Solidificación (°C)	- 5
Viscosidad cinemática (10⁻⁶ m²/s)	75,7
Valor de Yodo	13
Valor de Saponificación	198
Cetan number	23 / 51
Capacidad calorífica (MJ/kg)	39,628

(Análisis realizado por Satish Lele)

D. Biodiesel

1. Historia y definición. Es de conocimiento general que los aceites vegetales y las grasas animales se han investigado para el uso de combustibles diesel mucho antes de la crisis energética de 1970 y antes de que naciera el interés en los combustibles alternativos en 1980. También se sabe que Rudolf Diesel (1858–1913), el inventor del motor que lleva su nombre tenía cierto interés en estos combustibles. (Knothe, 2005)

Hay algunos escritos que dicen que Diesel planeaba usar aceites vegetales para proveer a las colonias Europeas en África, un cierto grado de energía autosuficiente. El aceite de Palma fue considerado varias veces como una fuente combustible diesel. Muchos de los grandes países Europeos con colonias Africanas, como; Bélgica, Francia, Italia, e Inglaterra presentaban cierto grado de interés en los aceites combustibles, como combustibles de emergencia. A la vez se han encontrado publicaciones alemanas acerca del tema en esa época. (Knothe, 2005)

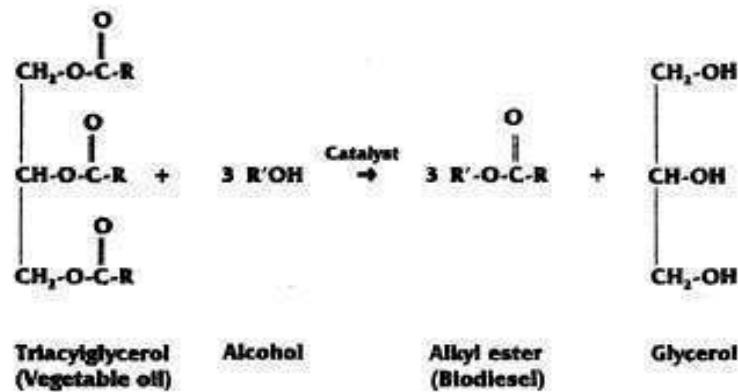
También en América del sur en países como Brasil y Argentina se vio un incremento en la producción de aceites vegetales y en China se desarrollaron bastantes productos a partir de aceites vegetales. (Knothe, 2005)

Sin embargo entre 1980 y el 2000 el precio de la gasolina disminuyó considerablemente, y el hecho de que estuviera tan barato disminuyó las investigaciones relacionadas con los aceites vegetales como combustibles. (Knothe, 2005)

En la actualidad el agotamiento de los combustibles fósiles y el aumento en los precios de los mismos ha provocado que se retome el tema con mucha fuerza ya que estos combustibles vegetales son renovables y podrían llegar a compensar la disminución de los combustibles fósiles. A la vez la contaminación ha ido tomando más auge y aunque ésta no afectó de manera significativa en el desarrollo de combustibles vegetales, ha sido considerada. (Knothe, 2005)

2. Reacción del Biodiesel. El proceso de transesterificación consiste en combinar, el aceite (normalmente aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo de valor añadido propanotriol (glicerina). (Knothe, 2005)

Figura No. 3
Reacción de Transesterificación



(The Biodiesel Handbook)

3. Materias primas. La base del biodiesel es la presencia de ácidos grasos insaturados, por lo que los aceites son una buena materia prima a utilizar, estos son baratos y, además, se reciclan lo que en otro caso serían residuos. Las materias primas más utilizadas en la selva amazónica son la jatropha curcas (piñón en portugués), sacha inchi, el ricino (mamona en portugués) y la palma aceitera.

También es necesario un alcohol de preferencia de cadena corta para evitar el impedimento estérico en la reacción y un catalizador que puede ser una base o un ácido.

4. Procesos industriales. En la actualidad existen diversos procesos industriales mediante los cuales se pueden obtener biodiesel. Los más importantes son los siguientes:

a. Proceso base-base: mediante el cual se utiliza como catalizador un hidróxido. Este hidróxido puede ser hidróxido de sodio (sosa cáustica) o hidróxido de potasio (potasa cáustica). (Wade, 2003)

b. Proceso ácido-base: Este proceso consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base), se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez. (Wade, 2003)

c. Procesos supercríticos: En este proceso ya no es necesaria la presencia de catalizador, simplemente se hacen a presiones elevadas en las que el aceite y el alcohol reaccionan sin necesidad de que un agente externo como el hidróxido actúe en la reacción. (Wade, 2003)

d. Procesos enzimáticos: En la actualidad se están investigando algunas enzimas que puedan servir como aceleradores de la reacción aceite-alcohol. Este proceso no se usa en la actualidad debido a su alto coste, el cual impide que se produzca biodiesel en grandes cantidades. (Wade, 2003)

e. Estándares y regulación. La ASTM International cuenta con cuatro normas que aseguran la calidad del biodiesel, un combustible usado en camiones de transporte, autobuses, embarcaciones, etc. (ASTM, 2008)

<< Las especificaciones definen las propiedades y los controles fundamentales para el uso viable de las mezclas de biodiesel en el mercado. Cuando entren totalmente en vigencia, estas normas junto con los requisitos de rotulación para los surtidores exigidos por la Comisión Federal de Comercio les darán a los fabricantes de motores y a sus clientes la garantía de que los combustibles rendirán como se espera >>, dijo Roger Gault, director técnico de la Asociación de Fabricantes de Motores de Chicago, Illinois, que participó en el desarrollo de las normas. (ASTM, 2008)

Las normas nuevas y modificadas de la ASTM para el biodiesel son las siguientes:

- La ASTM D975-08a, especificación para fueloil para los motores diésel —que se usa en aplicaciones diésel convencionales y todo terreno, que se modificó y ahora incluye las mezclas que contienen hasta un 5% de biodiesel. (ASTM, 2008)
- La ASTM D396-08b, especificación para el fueloil— usado en sistemas de calefacción y en calderas, que se modificó y ahora incluye las exigencias para permitir las mezclas que contienen hasta un 5% de biodiesel. (ASTM, 2008)
- La ASTM D7467-08, especificación para las mezclas de biodiésel (B6 a B20) de fueloil para motores diésel — una especificación totalmente nueva que abarca las mezclas terminadas de combustibles que contienen entre 6% (B6) y 20% (B20) de biodiésel para ser usadas en motores diésel convencionales y todo terreno. (ASTM, 2008)

Además, la norma ASTM D6751-08, Especificación para las existencias de mezclas de combustible biodiésel (B100) para combustibles destilados medios, que se usa para controlar la calidad del biodiésel puro (B100) antes de mezclarlo con combustibles convencionales del tipo diésel, se modificó para incluir un requisito que controle las combinaciones secundarias usando un ensayo de filtrabilidad de impregnado en frío. (ASTM, 2008)

III.OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Diseñar un proceso de extracción de aceite de semillas de jatropha curcas sembradas en Guatemala, basándose en las pruebas y experimentos que se realizaran en la Universidad del Valle de Guatemala, para poder producir biodiesel a partir del aceite extraído a nivel laboratorio.

B. Objetivos específicos

- Determinar las variables críticas en el proceso de extracción del aceite de jatropha curcas
- Determinar la variable de mayor importancia en el pre-tratamiento de la semilla
- Determinar los porcentajes de rendimiento de extracción del aceite según tiempo de corte, humedad, etc.
- Extraer aceite de piñón por medios mecánicos (planta piloto) y solventes (nivel laboratorio)
- Caracterizar el aceite de jatropha curca utilizando cromatografía de gases
- Analizar algunas propiedades físicoquímicas del aceite extraído (densidad y acidez)
- Producir biodiesel a partir del aceite de jatropha curcas (nivel Laboratorio)

IV. RESULTADOS

Diagrama No.1

Diseño del proceso de extracción de aceite

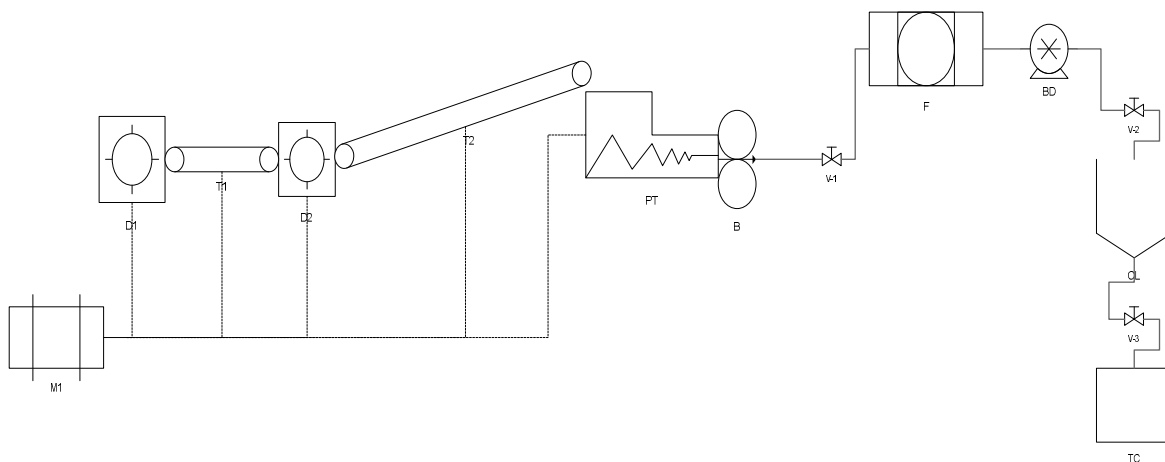
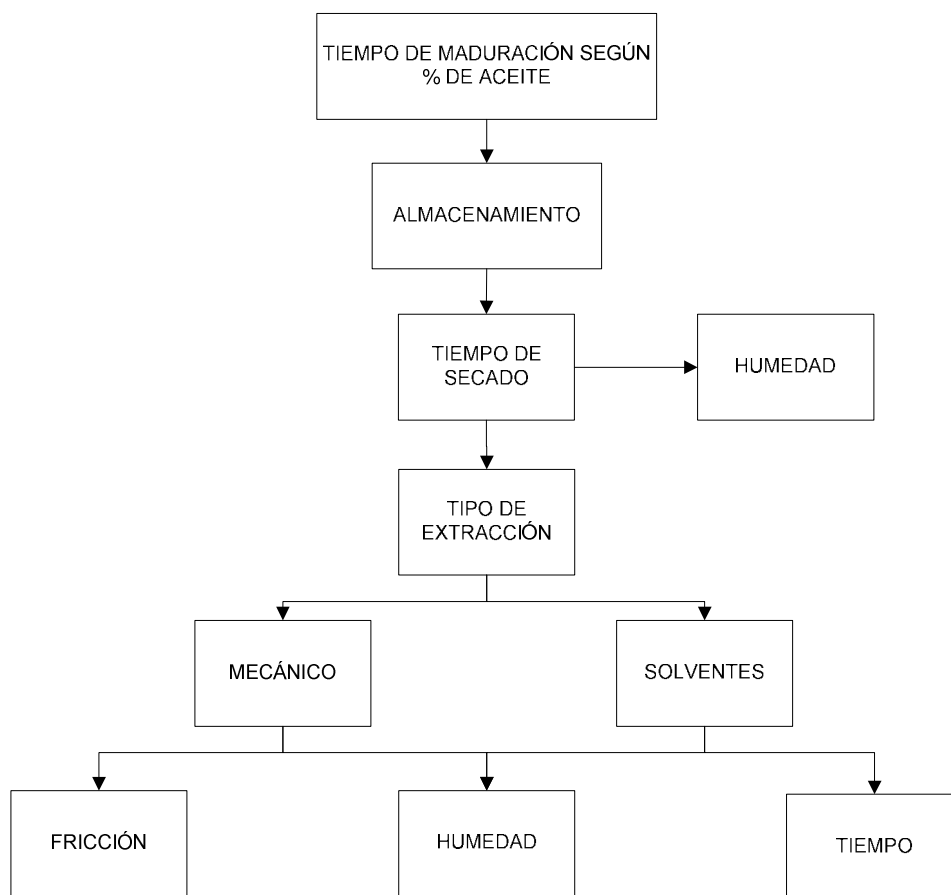


Tabla No. 5

Tabla de especificaciones de los equipos de la planta de extracción

M1	Motor Diesel de 2 tiempos
D1	Decorticadora No.1 para remover la pulpa
D2	Decorticadora No. 2 para remover la cáscara
T1	Transportador No. 1 para llevar la semilla de la D1 a la D2
T2	Transportador No.2 para llevar la almendra de la D2 a la PT
PT	Prensa de Tornillo para extracción del aceite (capacidad para 3 toneladas de semilla diarias) y horno integrado de cocimiento con vapor
B	Bomba integrada a la prensa para bombear el aceite hacía el filtro
F	Filtro prensa para remover impurezas del aceite
BD	Bomba de desplazamiento positivo para transportar el aceite al clarificador
CL	Clarificador de aceite
TC	Tanque cerrado de 100 galones para almacenar el aceite extraído
V1	Válvula para controlar el paso del aceite de la prensa hacía el filtro
V2	Válvula para controlar el paso del aceite del filtro hacía el clarificador
V3	Válvula para controlar el paso del aceite del clarificador hacía el tanque

Figura No. 4
Variable críticas identificadas para la extracción del aceite



Pre-tratamiento para la semilla

Tabla No. 6

Humedades para la muestra A sin decorticar, secada a 45 °C en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, en función del tiempo.

Tiempo en deshidratador (h)	Peso fruto (g)	% Humedad
4	7.060	41.8
6	4.386	31.01
9	3.351	8.68

Tabla No. 7

Humedades para las muestras A1, A2 y A3 decorticadas, secadas a 45 °C en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, en función del tiempo.

Muestra	Tiempo de secado en deshidratador (h)	Humedad inicial (%)	Humedad final (%)
A1	2	11.14	10.17
A2	3	10.17	8.77
A3	4	11.32	8.41

Tabla No. 8

Humedad de semillas de las muestras B1, B2, C1 y C2 después de haber sido secadas a 45 °C en diferentes tiempos.

Muestra	Tiempo de secado en deshidratador (h)	Humedad inicial (%)	Humedad final (%)
B1	2	11.81	8.45
B2	4	11.81	8.19
C1	2	10.62	8.95
C2	4	10.62	8.51

Extracción de aceite base solventes (rendimientos base semilla % peso/peso)

Tabla No. 9

Rendimiento promedio de extracción para las muestras B1, B2, C1 y C2

Rendimiento promedio de extracción de aceite	31.75%
---	---------------

Tabla No. 10

Rendimiento de extracción de aceite para las diferentes muestras examinadas.

Muestra	Peso semilla (g)	Peso almendra (g)	Peso cáscara (g)	Aceite extraído (g)	Rendimiento de aceite, base semilla (% peso/peso)
A1	90	51	38.7	20.5	23
A2	88.9	50.1	38	18.3	21
A3	89.2	52.3	36.7	21.8	24
B1	100.2	60.3	39	30	30
B2	100.3	62	38.5	32.6	33
C1	100.5	61.1	38.9	33.8	34
C2	99.9	62	40.1	30	30

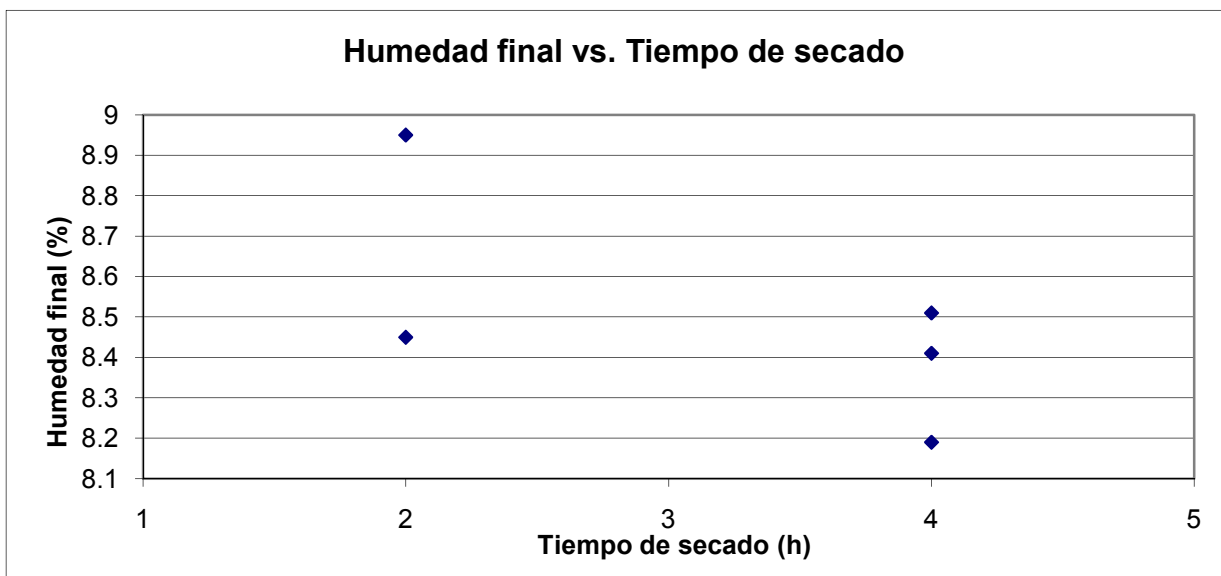
Tabla No. 11

Relación del rendimiento vs. el tiempo de secado y la humedad final, de las diferentes muestras.

Muestra	Rendimiento de aceite, base semilla (% peso/peso)	Tiempo de Secado (h)	Humedad final (%)
A1	23	2	10.17
A2	21	3	8.77
A3	24	4	8.41
B1	30	2	8.45
B2	33	4	8.19
C1	34	2	8.95
C2	30	4	8.51

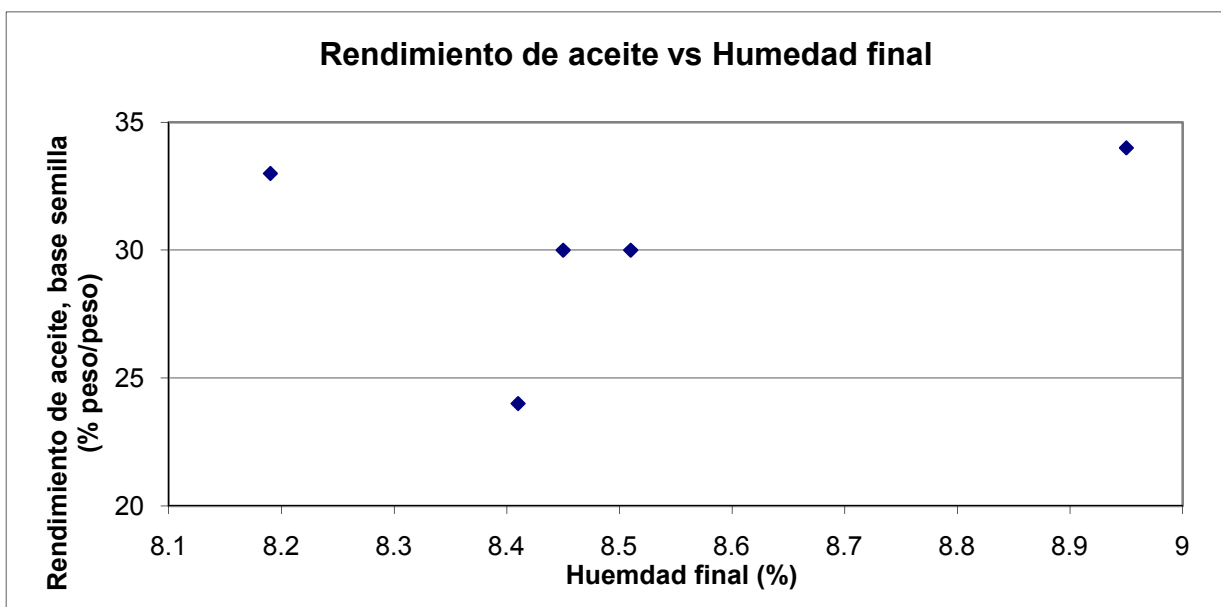
Gráfica No. 1

Diagrama de correlación entre la humedad vs. el tiempo de secado



Gráfica No. 2

Diagrama de correlación entre el rendimiento del aceite vs. la humedad final de la semilla



Propiedades y características del aceite

- *Cromatografía para la determinación del tipo de ácido graso del aceite de *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde.*

Tabla No. 12
Cromatografía de gases de la muestra “Curca 1”.

Curca 1							
Peak	Ret Time	Type	Width	Area	Height	Area %	Ácido graso
1	5.950	BB	0.0442	139.3774	47.5800	0.7310%	
2	6.152	BB	0.0390	2489.7957	936.1677	13.0589%	Estearico
3	6.529	PB	0.0555	260.0971	65.2163	1.3642%	
4	7.728	PV	0.0695	12787.9000	2385.8023	67.0720%	Oleico
5	7.883	VP	0.0415	1426.4404	528.8900	7.4816%	Linoleico
6	8.109	VV	0.0921	1624.5828	236.7227	8.5209%	
7	8.328	VB	0.1243	337.7297	35.7236	1.7714%	

Tabla No. 13
Cromatografía de gases de la muestra “Curca 2”.

Curca 2							
Peak	Ret Time	Type	Width	Area	Height	Area %	Ácido graso
1	5.97	BV	0.0491	288.3702	88.3941	0.7088%	
2	6.171	VB	0.0424	5008.1021	1650.5590	12.3097%	Estearico
3	6.555	PV	0.0856	950.4469	171.60928	2.3362%	
4	7.778	PV	0.0857	26408.7000	3693.7976	64.9115%	Oleico
5	7.913	VV	0.0418	2885.5764	1057.3422	7.0926%	Linoleico
6	8.17	VV	0.1108	4454.7358	526.1646	10.9496%	
7	8.397	VB	0.1378	688.2170	64.3401	1.6916%	

Tabla No. 14
Cromatografía de gases de OIL REFERENCE STANDARD, AOCS (Sigma Chemical CO.).

Estándar							
Peak	Ret Time	Type	Width	Area	Height	Area %	Ácido graso
1	2.555	PB	0.0303	184.9176	92.6096	0.56597%	
2	4.451	BB	0.0363	359.2248	148.1754	1.09947%	
3	6.140	BB	0.0407	1464.5450	539.6886	4.48250%	Estearico
4	7.776	BV	0.0758	23948.5000	4182.7930	73.29857%	Oleico
5	7.890	VB	0.0410	1191.5676	434.1326	3.64700%	Linoleico
6	9.320	VB	0.0505	408.0558	123.7730	1.24893%	
7	9.528	BB	0.0456	1077.7412	363.0322	3.29862%	
8	9.752	PB	0.0493	104.0202	32.5320	0.31837%	
9	10.924	BV	0.0458	1736.8049	566.5862	5.31579%	
10	11.101	VB	0.0466	1105.6228	362.0744	3.38395%	
11	12.569	BB	0.0485	1091.5359	349.0365	3.34084%	

Gráfico No. 3
Gráfico con los picos en común señalados de las 3 muestras

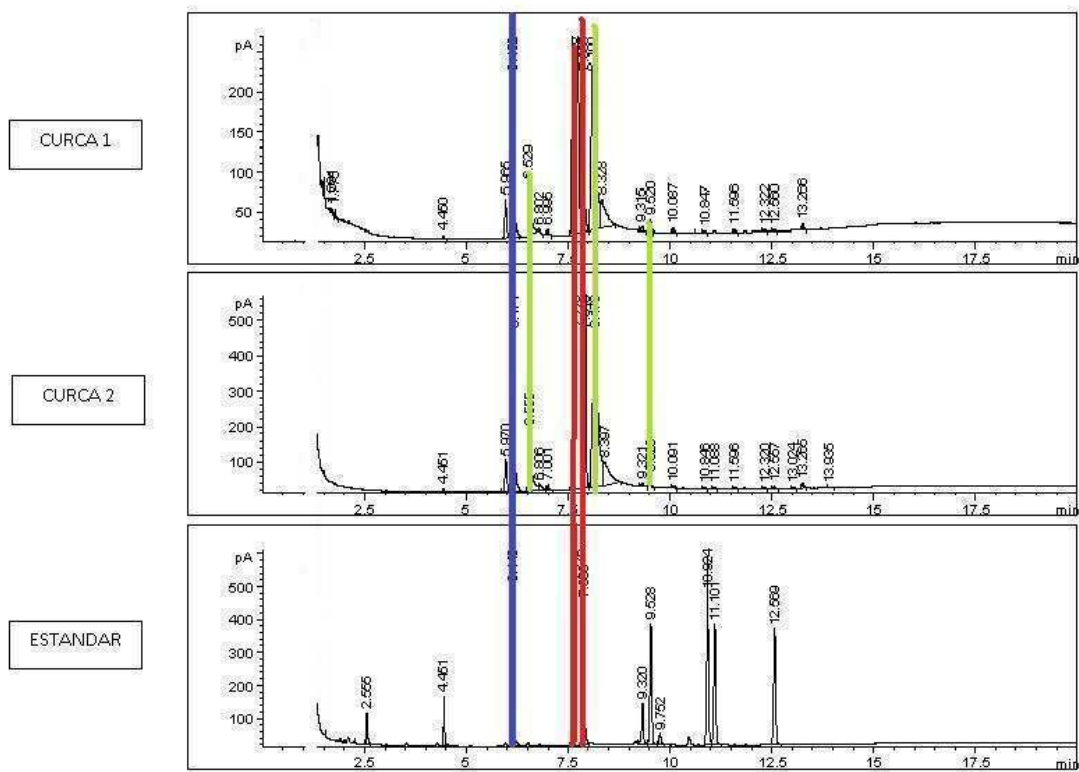


Tabla No. 15
Ácidos grasos identificados para los diferentes tiempos de retención

Cromatografía (agregar nombre del estándar)	
<i>Tiempo de Retención (min)</i>	<i>Ácido graso según muestra y tiempo de retención</i>
6.1	Ácido Esteárico
7.7	Ácido Oleico
7.9	Ácido Linoleico

Tabla No. 16
Ácidos grasos identificados para semillas de *Jatropha* provenientes de Indonesia en diferentes años

	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3
Seeds from 2007	13.1	0.8	6.5	51.0	27.5	< 1
Seeds from 2008	13.6	1.0	4.8	34.1	45.4	< 1

- *Acidez libre y Densidad del aceite de Jatropha curcas (L.), variedad cabo verde*

Gráfica No. 4

Ecuación de la densidad del aceite en función de la temperatura

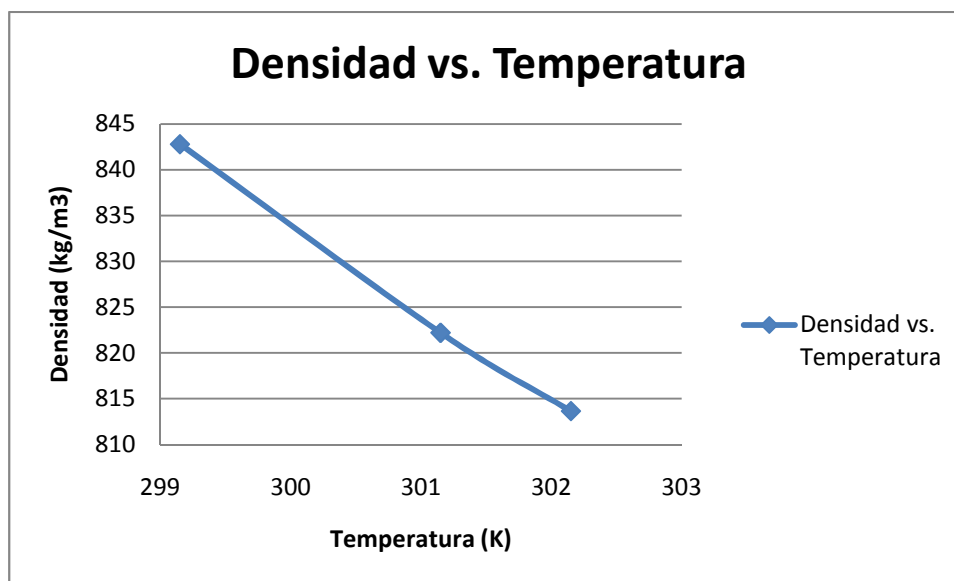


Tabla No. 17

Resultados del análisis de acidez del aceite

Muestra	% Acidez
<i>Jatropha curcas (L.), variedad cabo verde</i>	11.45 ± 0.1705

Tabla No. 18

Peso de una semilla de *Jatropha curcas (L.)*, variedad cabo verde, para las diferentes muestras analizadas.

Muestra	Peso (g)
A1	0.757
A2	0.730
A3	0.904
B1	0.793
B2	0.812
C1	0.733
C2	0.870
Promedio	0.799

Producción de biodiesel

Tabla No. 19

Relaciones molares de los reactivos vs el aceite, para las diferentes muestras de biodiesel

	Etanol	KOH
C1	6 : 1	0.5 : 1
C2	6 : 1	0.5 : 1
A1 + A2 + A3	6 : 1	0.5 : 1

V. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo fue el diseño de un proceso de extracción de aceite a partir de semillas de *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde, y la producción de biodiesel a nivel laboratorio a partir del aceite extraído. Para poder lograr este objetivo, se realizaron diferentes experimentos y análisis, de forma que se pudieran determinar las variables de mayor importancia dentro del proceso, así como su sensibilidad para el aumento del rendimiento de extracción de aceite y producción de biodiesel.

Como se puede observar en el Diagrama No. 1, se diseñó un proceso de extracción mecánico de aceite a partir de semillas de *Jatropha*. Éste consta de un motor diesel de dos tiempos, el cual provee la energía mecánica para que todas las maquinas de la planta pueden funcionar. Se planea que el motor funcione a base de biodiesel, lo cual reduciría significativamente sus emisiones de CO₂.

El proceso se inicia con una serie de decorticadoras en línea las cuales separan la pulpa y la cáscara, que protegen a la almendra. Este proceso se debe realizar, para evitar más impurezas en el aceite y obtener mayores rendimientos, sin embargo es indispensable guardar cierta cantidad de cáscara y no desecharla toda ya que esta servirá para el prensado. Para el transporte de una decorticadora a otra y la de la decorticadora No. 2 hacia la prensa se planea utilizar transportadores de bandas. Una vez se tiene listo el decortinado se procede a la extracción, para esto se utilizará un prensa de tornillo la cual está equipada de una olla de cocimiento de vapor para aumentar el rendimiento de extracción. Cuando se ha alcanzado la humedad y la temperatura ideal se procede a la extracción, debido a que la almendra no provee la suficiente fricción para que se dé la extracción se recomienda dosificar cierta cantidad de cáscara y que se produzca la fricción necesaria. De la prensa de tornillo se obtiene una torta proteica la cual puede ser utilizada como fertilizante y se obtiene el aceite crudo.

Por último se filtra y clarifica el aceite. Para esto se utilizará un filtro de placas y un clarificador para eliminar toda clase de impurezas que puede tener el aceite, de esta forma se obtiene un aceite de mejor calidad, el cual tendrá mejores propiedades para su uso en la producción de biodiesel. Al ser clarificado el aceite se almacenará en un tanque cerrado de 100 galones.

Dentro de las primeras variables observadas está el pre-tratamiento de la semilla. Se utilizaron muestras con diferentes pre-tratamientos. Las muestra A se entregó inmediatamente después de ser cortada. Ésta se dividió en 3 muestras; las muestras A1 y A2 se pusieron en un congelador durante 1 mes. La muestra A3 es una muestra que, a diferencia de la A1 y A2, estuvo 1 mes al aire libre. Las muestras B1 y B2 son muestras con de 3 meses de cortadas, despulpadas y secadas al sol, las muestras C1 y C2 son muestras con más de 3 meses de cortadas despulpadas y secadas al sol. Las B1 y C1 son muestras que estuvieron 2 horas en el deshidratador de gabinetes y las B2 y C2 son muestras que estuvieron 4 horas en el deshidratador.

A. Pre-Tratamiento para la Semilla

A partir de los datos obtenidos, se pudo desarrollar un proceso de extracción de aceite basándose en las variables críticas. Una de las variables analizadas fue la humedad, este es un factor de suma importancia ya que está relacionado directamente con la cantidad de aceite que se puede extraer de la semilla. Una de las principales razones por las que no se desea agua en la semilla es porque el agua descompone la semilla y por ende, se degradan sus compuestos; disminuyendo la cantidad de aceite dentro de la misma. A la vez, si se tiene una gran cantidad de agua al momento de la extracción, se puede formar una capa lipófila aislante en la superficie de la semilla que impida o limite la extracción.

Sin embargo, la humedad también es necesaria en el proceso para evitar que la almendra se desarme y se mantenga cierta cohesividad que permite el flujo del aceite. Sin ésta, en una extracción mecánica, por ejemplo, la almendra se compactaría e impediría el flujo del aceite y en una extracción por solventes podría provocar obstrucciones que impidieran el flujo del solvente con el aceite.

Se observó que al secar la *Jatropha* con todo y pulpa lleva más tiempo de secado (un promedio de 9 horas más) y no es eficiente, ya que después del secado y el despulpado aún es necesario secar una vez más las semillas para que lleguen a la humedad deseada, mientras que al secar solamente la semilla se utiliza menos tiempo para alcanzar la humedad deseada, por lo que, hablando económicamente, se gasta menos si primero se pasa por un proceso de despulpado y luego el secado.

Una vez alcanzadas las condiciones de humedad, dependiendo de la planificación en la industria, se puede; almacenar o extraer. Si se almacena se podría utilizar un silo con ciertas especificaciones para evitar la humedad, ya que, como se ha podido observar, si se va almacenar por períodos largos la humedad favorece a la degradación del aceite.

Se pudo observar claramente que el método de congelamiento no es factible, ya que, no solo se gastan recursos en congelar la semilla, sino que, a pesar de que está congelada, aún existe una cantidad peligrosa de humedad la cual puede descomponer la misma, disminuyendo su cantidad de aceite. A la vez, se necesita mayor energía para descongelarla y mayor tiempo de secado. Debido a esto, el proceso correcto a seguir es: una vez cortado el piñón, se procede inmediatamente a despulparlo y a secarlo ya sea; lo recomendable para el pre tratamiento; es utilizar la energía del sol para un primer secado. Éste se debe hacer en un lugar predeterminado, el cual no contenga mucha humedad. Una vez pasó cierta cantidad de tiempo secándose al sol, se manda al lugar en donde se llevará a cabo el proceso y se seca hasta que alcance una humedad entre 9.00 % a 10.00 %. Se recomienda analizar si secarlo por medios mecánicos inmediatamente después de cortados es mejor que secarlo naturalmente en un tiempo determinado.

La humedad que presentó mejor rendimiento de extracción de aceite para la *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde, fue de 8.95 %, obteniéndose un 34.00 % de rendimiento de extracción sobre semilla. La tendencia observada en la variable humedad fue la siguiente; el rendimiento de extracción aumenta mientras más húmeda este la semilla en el rango de 8.00 % a 9.00 % de humedad, por lo que se puede concluir que la humedad inicial oscila entre 9.00 % a 10.00 % aproximadamente. Se debe tomar en cuenta que la humedad recomendada en la literatura no debe sobrepasar el 10 % (según la fundación PRACTICAL ACTION, Technology challenging poverty, en su publicación “PRINCIPLES OF OIL EXTRACTION”).

Para llevarse a cabo el secado se utilizó el deshidratador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala con un sistema automático que mantiene la temperatura a 45 °C. Se realizaron dos pruebas de secado, una secando con todo y pulpa y otra secando solamente la semilla.

Para las extracciones a base de solvente, se analizaron 7 muestras. Se utilizó un equipo soxleth de laboratorio y como disolvente se utilizó hexano. El tiempo promedio de extracción fue de 8 horas. La temperatura de extracción fue de 65 °C. Se notó claramente que las muestras que no tuvieron un pre tratamiento adecuado de la humedad, A1, A2 y A3, tienen menores rendimientos que las B1, B2, C1 y C2.

Para la extracción se pesaban 100 gramos de semilla, la cual era descascarada, y 500 ml de hexano. La almendra se pasaba por un mortero, con la finalidad de romper las células que contienen el aceite. Posterior al mortero la muestra se colocaba en un embudo de papel filtro y este a su vez era introducido en la cámara del soxleth. Para el embudo se colocaron pequeñas obstrucciones de papel filtro, las cuales aumentaron el tiempo de retención del hexano con la almendra, mejorando de esta manera la extracción.

Los rendimientos de extracción por medio de solventes son mejores que los de extracción por medios mecánicos ya que el método por medio de solventes es más selectivo y no necesita tantos procesos extras, mientras que en los mecánicos se extrae junto con el aceite todo tipo de sustancias que tenga la semilla e incluso puede colarse desechos sólidos en el aceite. Debido a esto, un proceso mecánico necesita operaciones extra para clarificar y refinar el aceite extraído.

Sin embargo, a la hora de implementarlo a un proceso industrial, la extracción mecánica es mejor, debido a que es mucho más económica si se manejan cantidades regulares. Para que fuera rentable la extracción soxleth las cantidades a extraer deben ser considerablemente grandes. Una opción es un proceso de extracción mixto (pre prensa – solventes), en donde se da una extracción inicial por medios mecánicos y la torta residual se trata con solventes para mejorar la extracción, a pesar de que se requiere mayor inversión, un proceso mixto es todavía rentable.

Se analizó la extracción comparándola contra diferentes variables, tales como el tiempo de almacenamiento después del corte, tiempo de secado, porcentaje de humedad final, y otras variables cualitativas. Después de analizar los resultados obtenidos, se puede concluir que el rendimiento de extracción está fuertemente ligado con la humedad final de la semilla antes de la extracción y que ésta debe estar entre un 9 % y un 10 % de humedad.

Al analizar las variables de tiempo de almacenado y tiempo de secado, se concluye que ambas son importantes; sin embargo, la humedad final determinará el rendimiento extracción aceite. Se recomienda hacer un estudio del tiempo de madurez para determinar el tiempo en que el fruto tendrá la mayor cantidad de aceite.

B. Extracción de Aceite por medios mecánicos

Para la parte de extracción mecánica, ya sea inmediatamente después del secado, o después de un tiempo de almacenado, se realizó lo siguiente. Se realizaron tres extracciones mecánicas las cuales, por no tener la técnica de pre tratamiento adecuada, no se obtuvo casi nada de aceite. Para estas extracciones se utilizó una prensa hidráulica a 2000 psi. Sin embargo, dado a que no se secó adecuadamente ni se controló su humedad, la cantidad de aceite extraído fue insignificante. Para este tipo de extracción se debe tener en cuenta que la humedad sea la óptima, tanto para que esta no impida el flujo del aceite, pero a su vez que no sea tan baja como para no favorecer el flujo del aceite. Con fines de mejorar la extracción, se puede calentar durante el proceso de prensado con vapor, ya que esto proporciona calor y humedad, las cuales son dos variables que influyen en el rendimiento de extracción. A la vez, se debe tener cuidado con el calentamiento, ya que un exceso del mismo disminuye la calidad del aceite. Esto se debe a que el calor no solo favorece la extracción del aceite, sino también la extracción de impurezas de naturaleza no glicérica (fosfolípidos, pigmentos, materia insaponificable).

Se realizaron diferentes pruebas para determinar algunas de las propiedades y características del aceite proveniente de *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde,

C. Propiedades y características del aceite

- *Cromatografía para la determinación del tipo de ácido graso del aceite de *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde.*

Se realizó una cromatografía de gases para dos muestras de aceite de piñón provenientes de la misma semilla, pero a diferentes humedades de extracción. La muestra “Curca 1” contenía 10.17 % de humedad y la muestra “Curca 2” contenía 8.77 % de humedad. Se prepararon las muestras de acuerdo a la metodología

presentada en la práctica de “CROMATOGRFÍA DE GASES, determinación de ácidos grasos en mantequilla, manteca y aceites” de la Universidad del Valle de Guatemala del Departamento de Ingeniería y Ciencias de Alimentos.

Se inyectó un micro litro de muestra en el cromatógrafo de gases, HP 5890 II (Cromatógrafo de Gases de Alta Resolución con Software HP Chem Station) del laboratorio de Instrumental avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala. El método utilizado fue el método de ácidos grasos “ACIGRAS.M” que presenta el cromatógrafo. Se usó la columna HP-5 (30 m x 0.32 mm x 0.25µm).

Al comparar los tiempos de retención de las tablas 11 y 12 contra los tiempos de retención de la tabla 13, que los picos en común eran los que se daban en los tiempos de retención; 6.1 min, 7.7 min y 7.9 min. Los cuales al ser comparados con el estándar corresponden a los siguientes ácidos grasos:

Se puede observar en el Gráfico No. 1, las líneas rojas, que son los picos identificados que representan al ácido oleico y linoleico. A la vez también se observó que entre las muestras coinciden otras tres líneas (verdes) que no se lograron identificar ya que no aparecen el estándar y una cuarta de color azul que representa al ácido esteárico. Al observar lo picos de la Gráfica 4, se puede observar que el aceite contiene una gran cantidad de ácido oleico.

El día 12 de agosto del 2008 se dio una charla de producción de biodiesel por el Ingeniero en Biología y Agricultura, Jon H. Van Gerpen de la Universidad de Idaho. En esta presentación el Ing. identificó los aceites principales provenientes de semillas de jatropha de Indonesia de diferentes años (2007 y 2008).

Como se puede observar en la tabla presentada en la charla del Ing. Jon H. Van Gerpen, el mayor porcentaje de ácidos grasos lo presentan el ácido oleico (18:1), con un promedio de 42.5, y el ácido linoleico (18:2), con promedio de 36.45, lo cual coincide con los ácidos identificados en las cromatografías realizadas en la Universidad. Otro ácido que se logró identificar fue el ácido esteárico (18:0) el cual, según el Ing. Gerpen está presente en el aceite en un porcentaje de 5.65.

Debido a que solo se contaba con un estándar para las pruebas de cromatografía, no se lograron identificar todos los picos. Sin embargo, se puede concluir con base a los ácidos identificados por el Ing. Gerpen que; las líneas verdes de la Gráfica No. 3, tienen una alta probabilidad de ser ácido linoleico (18:3), la línea azul del Gráfico No. 3, tiene una alta probabilidad de ser ácido palmítico (16:0) y muy cercana a la línea azul del Gráfico No. 3, algún pico que represente al ácido palmitoleico (16:1)

D. Acidez libre y densidad del aceite de Jatropha curcas (L.), variedad cabo verde

También se determinó la densidad del aceite a diferentes temperaturas obteniendo una ecuación lineal; $y = -9.7864x + 3770.1$, la cual indica que mientras mayor sea la temperatura su densidad disminuirá.

Además, se determinó la acidez del aceite utilizando un método que se basa en la disolución de la muestra en una mezcla de disolventes y valoración de los ácidos grasos libres mediante una solución etanólica de hidróxido de potasio. Según la cromatografía realizada, el ácido graso en mayor proporción, del aceite *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde, es el ácido oleico por lo que la acidez obtenida es representativa de la cantidad de ácido oleico presente en el mismo. Se obtuvo un porcentaje de acidez promedio de 11.45 ± 0.1705 %. El peso promedio de una semilla de *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde, fue de 0.800 gramos.

E. Producción de Biodiesel

Con el aceite extraído se produjo biodiesel en pequeñas cantidades a nivel laboratorio.

La reacción del biodiesel es una reacción de transesterificación en donde un alcohol reacciona con un ácido graso para formar un metil éster. Los ácidos grasos se encuentran presentes en grandes cantidades en los aceites; sin embargo la mayoría de estos, se encuentran unidos a una molécula llamada glicerol la cual forma enlaces muy fuertes con el ácido graso, provocando que la energía de activación para iniciar la reacción, sea demasiado alta. Para disminuir la energía de activación, se utiliza un catalizador el cual provoca el rompimiento de los ácidos grasos de la molécula de glicerol, de forma que el alcohol pueda reaccionar con los ácidos grasos, libremente.

Dado a que la acidez relaciona la cantidad de ácidos grasos libres presentes en un litro de aceite se pudo determinar la cantidad necesaria de reactivos a utilizar, para producir el biodiesel. Se utilizó alcohol etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) al 95 %, para formar los metil esteres que forman el biodiesel, e hidróxido de potasio (KOH) al 99 % como catalizador de la reacción. Partiendo de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite se pudo determinar la cantidad de metanol a utilizar ya que la relación entre ácidos grasos libres y alcohol es 1:1. Para el catalizador (KOH), también se tiene una relación de 1:1 para los ácidos grasos libres y la base, se hicieron pruebas con $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de la cantidad requerida, ya que se utiliza únicamente con la finalidad de iniciar la reacción. Se realizó pruebas laboratorio para las muestras B1, B2, C1, C2 y una mezcla de las muestras A1, A2 y A3. El tiempo de reacción que se dejó fue de 20 minutos con agitación de agitadores magnéticos de diferentes tamaños.

El proceso realizado fue de un precalentamiento a 65 °C del aceite, seguido por la adición del alcóxido (mezcla de KOH con CH₃CH₂OH). Una vez adicionado el alcóxido se dejaba que reaccionara por 20 minutos con agitación constante.

Para las pruebas B1, B2 y C1 solo se obtuvo jabón, esto se debe a que al agregar el alcóxido el alcohol se evapora muy rápido, por las pequeñas cantidades de reactivo utilizado, y al evaporarse el alcohol rápidamente no da tiempo a que el aceite reaccione con el mismo, sino que solo reacciona con la base, llevándose a cabo una reacción de saponificación y produciendo jabón como producto final.

Para la muestra C2 y la mezcla se controló que no se quedara sin alcohol durante la reacción, provocando resultados positivos y la producción de biodiesel. Se pudo observar que la adición de alcohol durante la reacción en diferentes intervalos de tiempo beneficia la dirección de la reacción hacia la transesterificación ya que el alcohol evaporado es reemplazado por el que se agrega permitiendo que se mantenga reaccionando el aceite con el alcohol. Sin embargo se debe tener cuidado de no agregar demasiado alcohol porque se produciría un impedimento estérico debido a todas las moléculas de alcohol presentes.

Al terminar la reacción de transesterificación se procede a lavar el biodiesel, con agua atomizada para remover impurezas presentes en el biodiesel, y de esta forma evitar que se dé una reacción reversible, no deseada. Una vez terminados los experimentos de producción de biodiesel se determinó que los factores críticos son; mantener las concentraciones de alcohol necesarias durante la reacción para que el aceite pueda reaccionar, la agitación del reactor, la temperatura de operación y la concentración de base que se agrega para iniciar la concentración.

Se debe mantener la concentración de alcohol durante la reacción ya que si no se hace, solo queda la base o queda un porcentaje tan pequeño que la reacción tiende a la saponificación en lugar de la transesterificación, provocando que se produzca jabón en lugar de biodiesel. En este caso debido a que se hizo a pequeña escala, es probable que el calor proporcionado fuera lo suficiente como para evaporar rápidamente el alcohol y como se hizo en un Beaker, este escapaba fácilmente. La agitación es de suma para que se logre una mezcla adecuada entre el aceite, el alcohol y la base, si la agitación es demasiado suave no se logra una buena eficiencia de conversión a biodiesel, sin embargo hacia el fin de la reacción la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la capa éster.

Sin la temperatura adecuada para la reacción, no se lograría alcanzar la energía de activación necesaria para iniciar la reacción. Es más debido a que la energía de activación de una transesterificación es muy elevada es necesario utilizar un catalizador, el cual puede ser ácido o básico dependiendo del aceite.

La concentración de la base que se agrega debe ser mucho menor que la de alcohol ya que para este tipo de procesos tenemos dos reacciones compitiendo; la de saponificación y la de transesterificación, y para este caso la reacción a la que se tiende es a la de saponificación. Lo que se desea es proporcionar las condiciones

necesarias para que se dé la transesterificación y de agregarse mucha base se estaría provocando que la reacción tendiese a una saponificación.

Al finalizar la reacción se decantaron las muestras. Para la muestra C2 no se logró obtener biodiesel debido al que se agregó al inicio de la reacción se evaporó y solo reaccionó la base. Y por último para la muestra, de la mezcla de los aceites A1, A2 y A3, se obtuvo un porcentaje de conversión del 62.5 % ya que para esta reacción si se fue dosificando alcohol durante toda la reacción de forma que los ácidos grasos libres pudieran reaccionar.

La importancia del biocombustible no solo se limita a la parte económica, sino en gran medida a la protección del medio ambiente. Al quemar biocombustibles se contamina menos ya que la combustión del mismo no produce muchos de los gases de efecto invernadero; como azufres y nitrógenos, y su combustión es mucho más limpia produciendo menos CO₂. Se debe fomentar la formación de una conciencia ambiental en donde se vele por la salud del medio ambiente, ya que los seres humanos dependemos fuertemente del mismo y las consecuencias de no cuidarlo son preocupantes. Algunas de estas consecuencias ya se están viviendo, tales como el calentamiento global, sequías, cambios climáticos, entre otras. Por lo que es necesario investigar y desarrollar nuevas tecnologías y formas de energía amigables con el ambiente.

VI. CONCLUSIONES

1. El rango de humedad determinado para un rendimiento aceptable de extracción, fue de 9 a 10 % de humedad.
2. Se obtuvo una eficiencia promedio de extracción, utilizando el sistema de extracción por solventes, de 31.75 %. (base semilla)
3. Se determinó, mediante una cromatografía de gases, que el aceite de jatropha especie curcas posee 3 variedades de ácidos grasos; ácido esteárico, oleico y linoleico. Siendo el ácido oleico, el que se encontró en mayor cantidad.
4. La ecuación de la densidad determinada para el aceite de jatropha especie curcas determinada fue;
 $y = -9.7864x + 3770.1$.
5. La acidez determinada para el aceite de jatropha especie curcas, fue de un 11.45 ± 0.1705
6. Se utilizó una relación molar promedio de 6:1 de alcohol: aceite para la reacción de transesterificación.
7. Se utilizó una relación molar promedio de 0.5:1 de base: aceite para la reacción de transesterificación.
8. Se obtuvo una eficiencia de conversión a biodiesel promedio de 62.5 % (base aceite).

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio para determinar el tiempo de cosecha necesario para que la semilla contenga la mayor cantidad de aceite.

Extracción y Almacenamiento

- Se recomienda aprovechar la energía solar para dar un pre-tratamiento de secado a la semilla, de esta forma no sería necesario gastar tanta energía en secar la semilla para que alcance la humedad deseada.
- Se recomienda un lugar con poca humedad para almacenar la semilla seca, por períodos largos.
- Es recomendable utilizar calor a la hora de extraer el aceite por medios mecánicos, sin embargo se deben realizar estudios para determinar las proporciones adecuadas para obtener los mejores rendimientos sin afectar mucho la calidad del aceite.

Producción de biodiesel

- Se recomienda dosificar el exceso de alcohol durante la reacción para asegurarse de que siempre haya alcohol con el cual reaccionar.
- Se recomienda lavar el biodiesel recién producido para eliminar impurezas que puedan provocar una reacción reversible.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alton E. Bailey, *Aceites y Grasas Industriales*, 741 p., Segunda Edición, 1979, Editorial Reverté
2. C.W.S. Hartley, *The Oil Palm*, Gran Bretaña, 706 p. Primera Edición, 1967, Longmans, Green and Co LTD.
3. Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jürgen Krahl, *The Biodiesel Handbook*, AOCS Press, Champaign, Illinois, 2005.
4. HARTMANN, H. y KESTER, D. 1988. *Propagación de Plantas*. México D.F. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 760 p.
5. L. G. Wade, JR., *Química Orgánica*, 2003, 5ta Edición, Pearson Education Inc
6. WILLAN, R.L. 1991. *Guía para la manipulación de semillas forestales, estudio con especial referencia a los trópicos*. FAO Montes 20/2. 502 p.

Referencias bibliográficas de internet:

7. Artículo del pregonagropecuario, Cultivos Energéticos SRL & Cooperativa El Rosario Ltda, 06/10/2007, Carlos A. Torres
<http://www.pregonagropecuario.com.ar/ARTICULOS/Ficha%20Tecnica%20Jatropha%20Curcas%20-Cultivos%20Energeticos%20SRL.pdf>
8. Bulk Agro (India) , <http://www.bulkagro.com/>
9. EUFIC, *The basics*, 2006 <http://www.eufic.org/article/es/page/BARCHIVE/expid/basics-grasas/>
10. International Standards Worldwides, Magazines & Newsletters / ASTM Standardization News, 2008, http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/D02E0_spnd08.html
11. Mireya Osorio, *Análisis de Aceites de Origen Vegetal*, 2006, <http://www.hannachile.com/noticias-articulos-y-consejos/consejo-del-mes/183-analisis-aceites-origen-vegetal>
12. Satish Vithal Lele, *Indian Biofuels Awareness Centre*, 2006
<http://www.jatropha.de/oil.htm>
13. Society for Rural Initiatives for Promotion of Herbals (SRIPHL), 2004, Centre for Jatropha Promotion. “Income Generating Activities: Cultivate Jatropha to produce an income”, http://maxpages.com/jatropha/JATROPHA_PLANT_PROFILE

IX. APÉNDICE

A. Metodología

Para llegar a la metodología final se inició con una serie de extracciones mecánicas y con un pre tratamiento básico a la semilla, según la literatura citada. Conforme se fue avanzando en las extracciones se fue mejorando la técnica hasta llegar a la metodología final.

Dentro de los primeros problemas encontrados, se vio la humedad final de la semilla antes de la extracción. Este pre tratamiento de humedad es de suma importancia para la extracción ya que el rendimiento de extracción de aceite está fuertemente correlacionado. Sin embargo la humedad dependerá del tipo de extracción a realizar. Si es una extracción por solventes se deberá dar un pre tratamiento de humedad hasta una humedad en un rango de 8.5 a 9.5 % y proceder a la extracción. Para una extracción mecánica se deberá realizar el pre tratamiento de humedad hasta la humedad antes mencionada, y además un tratamiento de vapor antes del prensado, lo cual puede variar la humedad final.

Otro problema encontrado fue el pre tratamiento físico a la semilla. Para las extracciones por solventes, es necesario romper las células de la almendra para obtener mejores rendimientos de extracción. Es decir convertir la almendra en harina para que los solventes tengan mayor área de contacto y facilidad para que aceite fluya. En el caso de la extracción mecánica no es necesario darle este pre tratamiento ya que la prensa se encargara de la ruptura de la almendra.

Para las extracciones mecánicas, se concluye que la adición de calor y vapor momentos antes del prensado es relevante para obtener un buen rendimiento de extracción de aceite y su calidad. Se recomienda realizar un estudio para analizar la cantidad de aceite obtenido mediante el calentamiento en función de su calidad para obtener las cantidades ideales de calor.

Para las extracciones por solvente, se concluye que la cantidad de reflujos realizados para la extracción está fuertemente relacionada con el rendimiento de extracción. Sin embargo se deben hacer estudios para analizar los costos de mantener el reflujo contra la cantidad obtenida de aceite.

Por último, dado a que no se contaba con cantidades grandes de semilla no se pudo realizar un estudio adecuado entre el rendimiento de extracción de aceite en función del tiempo de maduración de la semilla y el tiempo que pasó antes de la extracción. Éstas son dos variables significativas en la extracción del aceite.

Figura No. 5
Extracción Mecánica

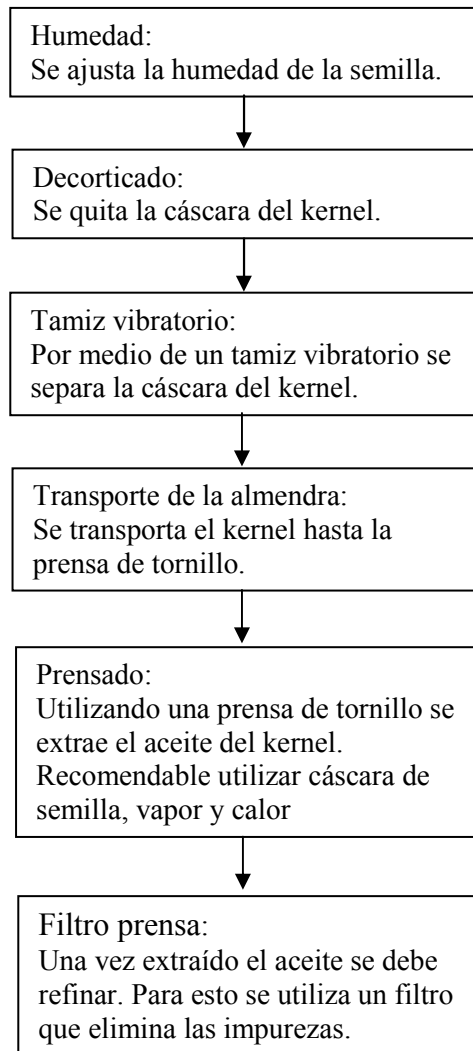
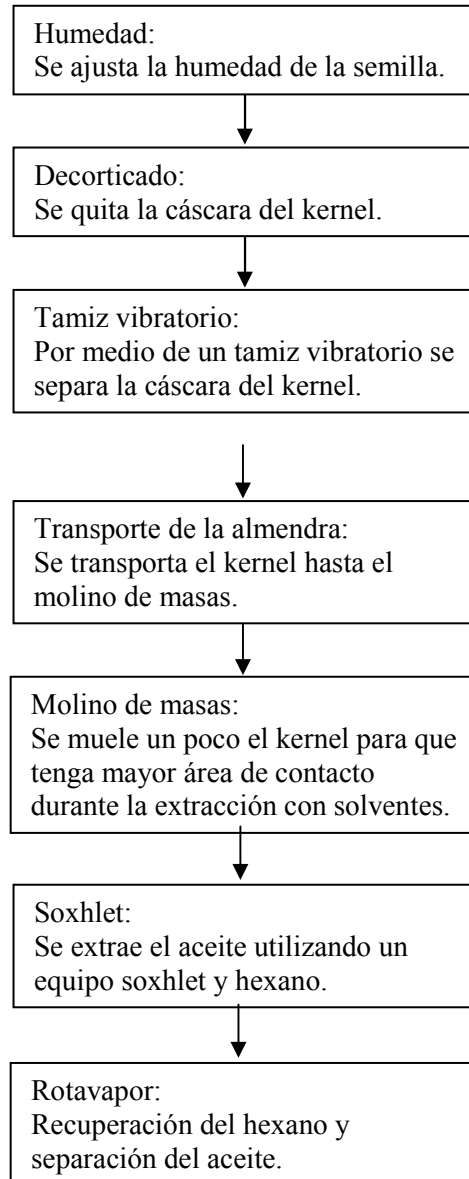


Figura No. 6
Extracción con Solventes



B. Datos Originales

Tabla No. 20
Volumen de KOH utilizado para neutralizar las muestras de aceite.

Muestra	Peso (± 0.05 g)	Volumen (± 0.005 ml) KOH 0.407 N
B1	7	7.1
B2	7	6.9
C1	7.1	7.05

Tabla No. 21
Volumen y pesos utilizados para determinar la densidad diferentes muestras presentadas a diferentes temperaturas

Muestra	Temperatura (± 0.5 °C)	Volumen (± 0.5 ml)	Peso (± 0.05 g)
A1	26	10	8.4278
A2	28	10	8.2221
A3	29	10	8.1367

Tabla No. 22
Pesos de diferentes partes del piñon para obtener los rendimientos de extracción, de diferentes muestras

Muestra	Peso semilla (± 0.05 g)	Peso kernel (± 0.05 g)	Peso cáscara (± 0.05 g)	Aceite extraído (± 0.05 g)
A1	90	51	38.7	20.5
A2	88.9	50.1	38	18.3
A3	89.2	52.3	36.7	21.8
B1	100.2	60.3	39	30
B2	100.3	62	38.5	32.6
C1	100.5	61.1	38.9	33.8
C2	99.9	62	40.1	30

C. Cálculos de muestra

ACIDEZ

Normalidad de la solución de KOH para estandarizar

$$N = \frac{m \times 1000}{B \times 204.2}$$

Acidez del aceite de *Jatropha curcas* (L.), variedad cabo verde

$$A = \frac{V \times C \times M}{10 \times P}$$

DENSIDAD

$$\rho = \frac{m}{V}$$

PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN

$$\% = \frac{\text{Peso aceite}}{\text{Peso semilla}}$$

D. Análisis de error

1.- Análisis estadístico

Media

Un ejemplo en el que se utiliza la media en esta práctica es para el cálculo de la temperatura promedio del agua. Se ejemplifica el cálculo con la misma corrida que en los cálculos de muestra.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n} \quad \text{Ecuación No. 13}$$

Desviación estándar

La desviación estándar se utiliza cuando calculamos un promedio de varios datos obtenidos. Por ejemplo, para el cálculo de la eficiencia promedio de los intercambiadores. Se calcula como un promedio de todas las eficiencias calculadas, por lo que se calcula una desviación estándar.

La desviación estándar se calcula utilizando las funciones de Excel, en este caso, STDEV.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Ecuación No. 14}$$

2.- Propagación de error

Incertidumbres para sumas y restas

$$s_y = \sqrt{s_a^2 + s_b^2 + \dots + s_n^2} \quad \text{Ecuación No. 15}$$

Incertidumbre para multiplicaciones y divisiones

$$s_y = y \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \dots + \left(\frac{s_n}{n}\right)^2} \quad \text{Ecuación No. 16}$$

E. Anexo

Nomenclatura para las muestras

Tabla No. 23

Nomenclatura para las muestras tipo A.

MUESTRA A La muestra A es de semilla de <i>Jatropha curcas</i> (L.), variedad cabo verde, sin decorticar, proveniente de parcelas del ICTA en La Maquina, Mazatenango. Estas semillas fueron entregadas unos días después de cortadas. Presentaban una apariencia color negra con bastante humedad.	
A1 Peso muestra: 90 gramos	Semilla proveniente de la muestra A ya decortificada. Esta muestra estuvo dos meses congelada. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 2 horas.
A2 Peso muestra: 89.6 gramos	Semilla proveniente de la muestra A ya decortificada. Esta muestra estuvo dos meses congelada. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 3 horas.
A3 Peso muestra: 89.2 gramos	Semilla proveniente de la muestra A ya decortificada. Esta muestra a comparación de la muestras A1 y A2 no estuvo congelada, sino que estuvo dos meses al aire libre. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 4 horas.

Tabla No. 24
Nomenclatura para las muestras tipo B.

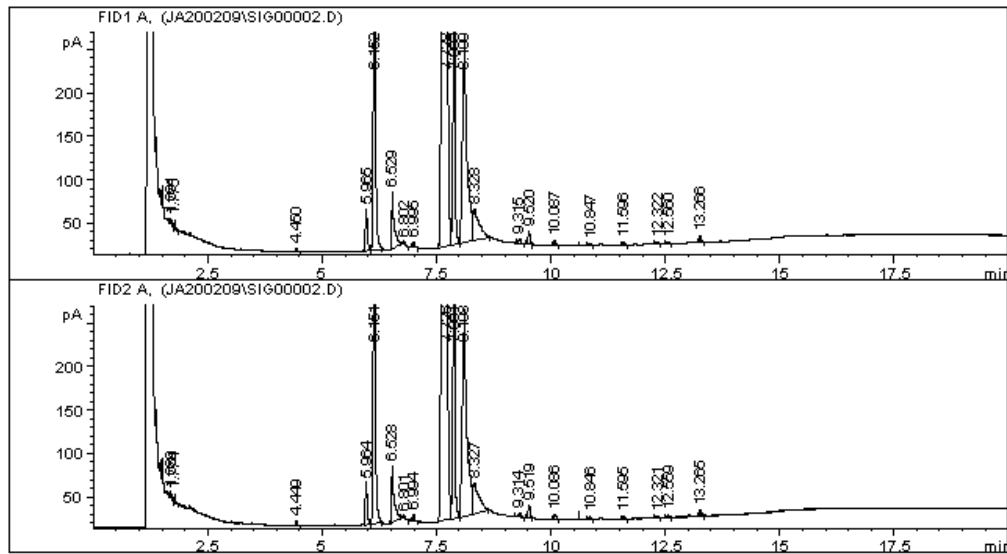
MUESTRA B La muestra B es de semilla de <i>Jatropha curcas</i> (L.), variedad cabo verde, decorticadas, proveniente de parcelas del ICTA en La máquina, Mazatenango. Estas semillas fueron entregadas 3 meses después de cortadas y con un pre-secado en patios de secado utilizando fuente de energía solar.	
B1	Semilla proveniente de la muestra B. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 2 horas.
B2	Semilla proveniente de la muestra B. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 4 horas.

Tabla No. 25
Nomenclatura para las muestras tipo C.

MUESTRA C La muestra C es de semilla de <i>Jatropha curcas</i> (L.), variedad cabo verde, decorticadas, proveniente de parcelas del ICTA en La máquina, Mazatenango. Estas semillas fueron entregadas con más de 3 meses después de cortadas y con un pre-secado en patios de secado utilizando fuente de energía solar.	
C1	Semilla proveniente de la Muestra C. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 2 horas.
C2	Semilla proveniente de la Muestra C. A esta semilla se le dio un tratamiento de secado en el secador de bandejas de la Universidad del Valle de Guatemala, a 45 °C, por 4 horas.

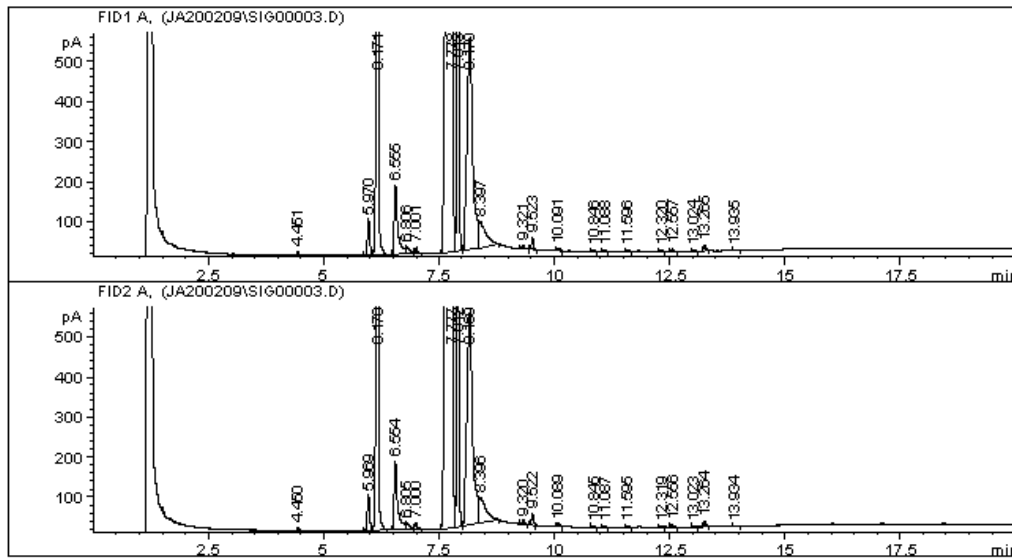
Nota: Todas las semillas fueron proporcionadas por TechnoServe (Soluciones Empresariales para la Pobreza Rural)

Gráfico No. 5
 Gráfico de la cromatografía de la muestra "Curca 1"



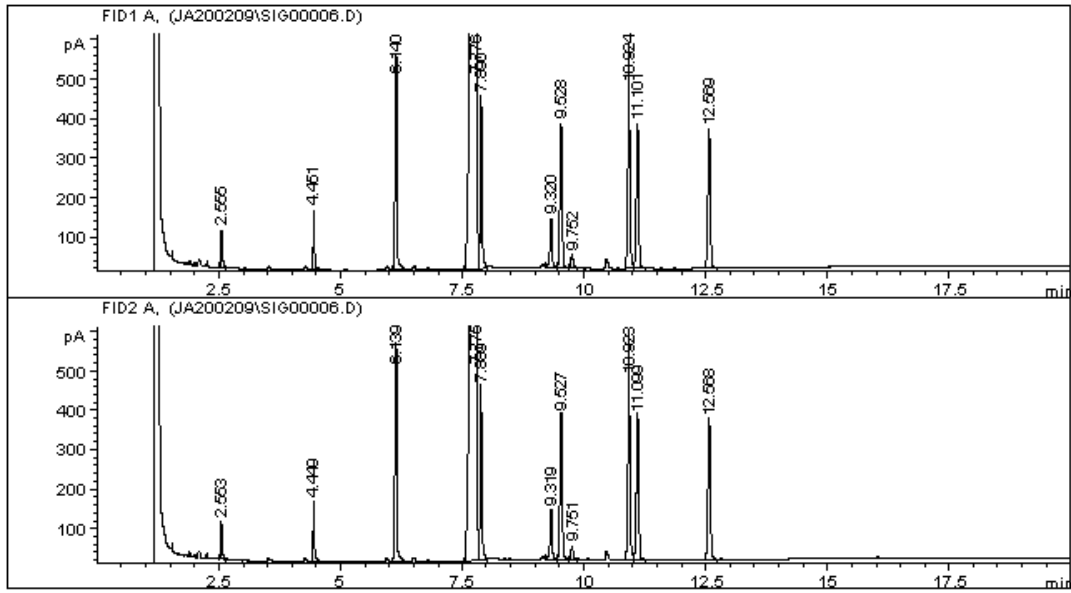
=====
 Area Percent Report
 =====

Gráfico No. 6
 Gráfico de la cromatografía de la muestra "Curca 2"



=====
 Area Percent Report
 =====

Gráfico No. 7
Gráfico de la cromatografía de la muestra “Estándar”



=====
Area Percent Report
=====

Fotografía. No 1
Equipo de extracción soxleth utilizado

