

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**EXTRACCIÓN Y CALIDAD DE ACEITE DE LA SEMILLA DE  
HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.) PARA LA PRODUCCIÓN  
DE BIODIESEL**

**PRESENTA:**

**EDGAR RUBISEL RUIZ NUÑEZ**

**TESIS PROFESIONAL**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**DICIEMBRE 2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EXTRACCIÓN Y CALIDAD DE ACEITE DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA  
(*Ricinus communis* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

PRESENTA

EDGAR RUBISEL RUIZ NUÑEZ

TESIS

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y  
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:

  
DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

Asesor:

  
M.C. MARÍA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

Asesor:

  
ING. JOEL LIMONES AVITIA.

Asesor:

  
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EXTRACCIÓN Y CALIDAD DE ACEITE DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA  
(*Ricinus communis* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

PRESENTA

EDGAR RUBISEL RUIZ NUÑEZ

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADO POR:

PRESIDENTE:

DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

VOCAL:

M.C. MARÍA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

VOCAL:

ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL:

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREON, COAHUILA. MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.1 OBJETIVO ESPECIFICO.....	2
1.3. HIPOTESIS.....	2
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	3
2.2. ALERNATIVAS CONTRA LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE GASES EFECTO INVERNADERO.....	3
2.3. HIGUERILLA ( <i>Ricinus communis</i> L.).....	5
2.4. USO DE LA HIGUERILLA Y BENEFICIOS.....	6
2.5. VARIEDAD DE HIGUERILLA BLANCA Y NEGRA.....	6
2.6. ACEITE VEGETAL ALTERNATIVO.....	7
2.7. EL ACEITE DE HIGUERILLA.....	7
TABLA 1. Características fisicoquímicas del aceite de higuera (Valderrama, 1994). .....	10
TABLA 2. Composición de triglicéridos de aceite de higuera (Manzano et al., 2009). .....	10
2.8. PAISES PRODUCTORES DE ACEITE DE HIGUERILLA.....	11
2.9. ALTERNATIVAS RENOVABLES ACEITE DE HIGUERILLA.....	11
2.10. ACEITES MAS INVESTIGADOS.....	12
2.11. PROPIEDAD DE SOLVENTE ORGÁNICO ACETONA Y HEXANO.....	12
2.11.1. Acetona.....	12
TABLA 3. Propiedades de acetona. Empresa J. T. Baker.....	13
2.11.2. Aplicaciones de la acetona en la industria.....	13

2.11.3. Hexano. ....	14
TABLA 4. Propiedades hexano. Empresa J. T. Baker.....	14
2.11.4. Aplicaciones del hexano en la industria.....	14
2.12. EXTRACCION LIQUIDO-LIQUIDO.....	14
2.13. EXTRACCION SOLIDO-LIQUIDO.....	15
2.14. APLICACIONES IMPORTANTES SOLIDO-LIQUIDO EN LA INDUSTRIA ..	15
2.15. EXTRACCION DE ACEITE MECANICO (PRENSADO) Y SOLVENTE .....	16
2.16. EXTRACCIÓN SOXHLET (SOLVENTE).....	16
2.17. VENTAJA DE LA EXTRACCION SOXHLET (SOLVENTE).....	17
2.17.1. DESVENTAJA DEL EXTRACTOR SOXHLET. ....	17
2.18. CAMPO DE APLICACIÓN DEL SOXHLET. ....	18
III.- MATERIALES Y METODOS .....	18
3.1. LUGAR DE ESTUDIO. ....	18
3.2. MATERIAL BIOLÓGICO.....	18
3.3. VARIABLES DE ESTUDIO.....	18
3.3.1. Morfometría de la semilla. ....	18
3.3.1.2. Largo de la semilla (LS).....	19
3.3.1.3. Ancho de la semilla (AS). ....	19
3.3.1.4. Volumen de la semilla (VS). ....	19
3.4. Método de extracción de aceite Soxhlet.....	19
FIGURA 1. Diagrama de preparación y extracción de aceite de semilla de higuera ( <i>Ricinus communis</i> L.).....	20
3.5. ESTERIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ACEITE DE HIGUERA, PROCESO DE METILACION DE ESTERES Y SAPONIFICACION.....	21
3.5.1. Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.....	21
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL. ....	21
3.7. ANÁLISIS DE DATOS. ....	22
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
4.1. RESULTADO MORFOMETRICO DE SEMILLA DE HIGUERA.....	23

4.2. EXTRACCION DE ACEITE DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus communis</i> L.).	23
FIGURA 2. Determinaciones morfométricas de las semillas de higuera ( <i>Ricinus communis</i> L.) empleadas en este estudio.	24
4.2.1. Rendimiento de la extracción de aceite de semilla de higuera por ton.....	25
Figura 3. Extracción aceite con cascara y sin cascara de las dos variedades de <i>Ricinus communis</i> estudiadas.	26
TABLA 5. Análisis de varianza para la producción de aceite de dos variedades de semilla de higuera ( <i>Ricinus communis</i> L.) con y sin cubierta.....	27
4.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD EN BASE AL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS OBTENIDO DE LAS DOS VARIETADES DE HIGUERILLA( <i>Ricinus communis</i> L.) ESTUDIADAS.....	27
Figura 5. Cromatogramas de gases de esteres de metilo. Los picos de la cromatografía de gases son para estándares internos de ácido ricinoleico (AR), en la parte B (tomado de Min Kuo and Nakamura, 2004).	28
Figura 6. Perfil de ácidos grasos de higuera CV Mamona blanca con cascara, empleando la acetona para su extracción.....	29
Figura 7. Perfil de ácidos grasos de higuera CV Mamona negra sin cascara empleando el hexano para su extracción.....	30
Figura 8. Perfil de ácidos grasos de higuera CV Mamona negra con cascara, empleando la acetona para su extracción.....	30
V.- CONCLUSIÓN .....	31
VII.- DISCUSIÓN .....	32
VIII. – BIBLIOGRAFIA .....	33

## **DEDICATORIA.**

A dios que por darme salud e inteligencia para poder culminar esta etapa de mi vida y que en los malos y buenos momentos está con nosotros un amigo incondicional.

A mis padres Andrés Ruiz Ruiz y María del Carmen Núñez Hernández por brindarme su apoyo en todo momento y sus sabios consejos para salir adelante.

A mis hermanos Joel Eduardo, José Antonio y Pedro Mauricio por su cariño y amor.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A dios que siempre está conmigo en todo momento de mi vida y darme salud e inteligencia para poder soportar los obstáculos de la vida, a dios solamente a dios que sin él no sería nadie en esta vida.

A mis padres Andrés Ruiz Ruiz y María del Carmen Núñez Hernández, por todo su amor, sus sabios consejos a ser una persona de éxito, con mucho cariño a mis padres.

En estas líneas quiero agradecer de forma sincera a los que ayudaron a sacar adelante este proyecto de tesis que con esfuerzo, cariño y respeto me brindaron todo su apoyo en todo momento.

Al Doctor Jesús Vásquez Arroyo por confiar en mí y que fue la piedra angular en este proyecto.

Al Ingeniero Joel limones Avitia por proporcionar la semilla de higuera y por sus consejos a la elaboración de este proyecto.

Al Maestro en Ciencias Jorge Meza Velázquez por el apoyo a la investigación y utilización de cromatografía de la Universidad Juárez de Durango.

Al laboratorista José Silverio Álvarez Valdez que con su ayuda fue pieza fundamental en el trabajo de campo.



## RESUMEN.

Los biocombustibles, considerados como una mezcla de hidrocarburos que se utilizan en los motores de combustión interna y que derivan de la biomasa y se utilizan como energías alterna, entre los que se encuentran el biodiesel, bioetanol, biogás, biopropanol; son una alternativa ambiental, debido a una disminución de gases de efecto invernadero. La vía común para producir biodiesel es el método de transesterificación, el cual se refiere a la reacción de catálisis química que involucra aceite vegetal (higuerilla en este caso) y alcohol para generar ácidos grasos y glicerol. La composición del biodiesel básicos de los aceites y grasas son los triglicéridos, los cuales provienen tanto de ácidos grasos saturados como insaturados y otros ácidos grasos de cadena larga y sus esteres formados con el alcohol. El objetivo de la presente investigación fue: determinar la extracción y calidad del aceite obtenido a partir de semilla de higuerilla (*Ricinus communis* L.) de las variedades mamona blanca y negra, para la producción de biodiesel. Para ello, se realizó un diseño experimental trifactorial con tres repeticiones donde el factor A, representó variedad de semillas; el factor B, los solventes y C, la semilla con cáscara o sin ella. Se realizaron determinaciones morfométricas de la semilla como lo fueron el largo (LS), ancho (AS), peso (PS) y volumen (VS). Así mismo, se determinó la cantidad de aceite extraído (Kg ton<sup>-1</sup> de semilla) y la calidad del aceite, en base a la composición de sus ácidos grasos. De acuerdo con los resultados encontrados, existen diferencias marcadas en las determinaciones morfométricas, destacándose la variedad mamona blanca por su tamaño, diámetro y peso, así como la producción de aceite (450 Kg ton<sup>-1</sup> de semilla). Desafortunadamente, en cuanto a la calidad de aceite, no se encontró la presencia del ácido graso principal (ácido ricinoleico), en abundancia ya, que constituye el 90% de la composición. Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la morfometría de la semilla. Los métodos de extracción con solventes (hexano o acetona) fueron iguales estadísticamente, mientras que el mejor tratamiento con respecto a la cubierta, fue el uso de la semilla con cáscara de la variedad mamona blanca. Del presente trabajo se concluye: la semilla de higuerilla con cáscara, mamona blanca produjo los mejores rendimientos de extracción de aceite, independientemente del solvente que se utilice. La morfometría (tamaño y peso de la semilla principalmente) se deberán considerar, pues existieron diferencias significativas.

**Palabras claves:** Extracción soxhlet, solventes orgánicos, ácido ricinoleico, morfometría de semilla.

## ABSTRACT.

Biofuels, considered as a mixture of hydrocarbons that is used in internal combustion engines and that derived from the biomass are used as alternative energy, among which are biodiesel, ethanol, biogas, biopropanol, are an environmental alternative, decreased due to greenhouse gases. The common way to produce biodiesel transesterification method is which refers to the chemical catalytic reaction involving vegetable oil (castor oil in this case) and alcohol to generate fatty acids and glycerol. The basic composition of biodiesel oils and fats are triglycerides, which come from both saturated and unsaturated fatty acids and other long chain fatty acids and their esters formed with alcohol. The aim of this investigation was to determine the quality of extraction and oil from castor seed (*Ricinus communis* L.) varieties black and white sucker, for the production of biodiesel. For this purpose, an experimental design was conducted with three replications trifactorial where factor A, represented variety of seeds, the factor B, solvents and C, the seed in shell or not. Morphometric measurements were made of the seed as were the length (LS), width (AS), weight (PS) and volume (VS). Likewise, we determined the amount of oil extracted (ton Kg-1 seed) and oil quality, based on the composition of fatty acids. According to the findings, there are marked differences in the morphometric determinations, white sucker highlighting the variety in size, diameter and weight, as well as oil production (450 kg ton-1 seed). Unfortunately, the quality of oil, there was no presence of the principal fatty acid (ricinoleic acid), and in abundance, which constitutes 90% of the composition. We found statistically significant differences in the morphometry of the seed. The methods of extraction solvent (acetone or hexane) were statistically equal, while the best treatment with respect to the cover was the use of the seed shell castor white variety. This paper concludes: castor seed shell, white sucker produced the best yields of oil extraction, regardless of the solvent used. The morphometry (size and seed weight mostly) must therefore be considered significant difference.

**Keywords:** soxhlet extraction, organic solvents, ricinoleic acid, seed morphometry.

## I.- INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ricinus communis* L.) en México no se ha establecido como cultivo de importancia. Las primeras investigaciones en México se realizaron en 1962 por el Dr. Raúl Robles Sánchez en colaboración con el Dr. Leodegario Quilantán, en la búsqueda de biocombustibles, el uso del aceite de ésta, ha demostrado tener ventajas técnicas y ecológicas, como un lubricante por su gran densidad, porque conserva su viscosidad a diferentes temperatura y porque solo se congela a 10 °C bajo cero y está posicionado como una oportunidad para el desarrollo agrícola en áreas áridas y empobrecidas de las zonas tropicales y subtropicales (Rico et al., 2011).

La higuera es cultivo oleaginoso de importancia secundaria ya que, con un millón anual de toneladas, sólo contribuye un 0.5-1.0 % a la producción mundial de aceite. Los principales países productores de semilla son: India, China, Brasil, Mozambique y Etiopía, los principales importadores son: Estados Unidos de Norteamérica (USA), Comunidad Económica Europea (CEE) y Japón (Pascual and Correal, 1992) Y con estudios recientes se determino que, la FAO 2010, muestra que los principales países exportadores son Argentina con 3 datos oficiales y Australia con 1617 datos oficiales y las importaciones fueron para Armenia con 9 datos oficiales, Argelia 24 datos oficiales todas estas, todos estimados por el mismo año.

Es así como la semilla de la higuera, ha surgido como una solución atractiva, el conteniendo aproximadamente el 40% de su peso en aceite de ricino, caracterizado por tener cerca de un 90% en peso de ácido ricinoleico, lo que hace de este aceite el de mayor proporción de ácidos grasos de todos los aceites vegetales (Guerrero Fajardo et al., 2010). En busca de nuevas alternativas energética, se encuentra el uso de los biocombustibles. Estos, se generan en base de insumos agrícolas como caña, aceite de palma africana, maíz, soya, y algunos de reciente experimentación como *Jatropha*, entre otros (Amparo et al., 2009). Los conflictos entre los biocombustibles y el uso de alimentos como materias primas han abierto la posibilidad de investigar el uso de materias primas no comestibles para su producción (Guerrero Fajardo et al., 2010). Un

alternativa de producción de biodiesel resultará del aprovechamiento sustentable del aceite de higuera.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Producir biodiesel a partir de semillas oleaginosas que no compitan con cultivos industriales.

### **1.2.1 OBJETIVO ESPECIFICO**

Determinar la extracción y calidad del aceite (perfil de los esteres de ácidos grasos) obtenido a partir de semilla de higuera (*Ricinus communis* L.) de las cv. Mamona blanca y mamona negra.

## **1.3. HIPOTESIS**

**H<sub>0</sub>** = La producción y calidad de aceite extraído de semillas de higuera son iguales en las dos variedades mamona blanca y mamona negra.

**H<sub>a</sub>**= La producción y calidad de aceite extraído de semillas de higuera son diferentes en las dos variedades mamona blanca y mamona negra.

## II.- REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.

Desde el inicio de la revolución industrial a finales del siglo XVIII, el hombre generó cambios en la composición de la atmósfera de manera acelerada, utiliza de manera intensiva los combustibles fósiles. Estas sustancias son básicamente compuestos de carbono que, al ser quemados (combinados con oxígeno), generan energía y como residuo producen dióxido de carbono, gas que contribuye al calentamiento global y considerados de manera general como gases de efecto de invernadero (GEI) (Duarte et al., 2006).

Este calentamiento del planeta es lo que se conoce como el efecto invernadero, y es un fenómeno natural asociado al funcionamiento del ecosistema planetario. Los gases que lo causan son, consecuentemente, llamados gases de efecto invernadero (GEI) (Guhl, 2008). El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el cual contribuye a la producción de este fenómeno en un 76%. También hay otros gases responsables del efecto invernadero aunque su contribución es mucho menor, como el metano ( $\text{CH}_4$ ), 13%, el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), 6%, y los gases fluorados, entre los que se encuentran los perfluorocarbonos (PFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

### 2.2. ALTERNATIVAS CONTRA LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE GASES EFECTO INVERNADERO.

El modelo productivo que nació con la revolución industrial, basado en el uso creciente de los combustibles fósiles, dejó de ser sostenible, sin embargo, predomina en los sistemas de producción capitalista. Se impone otro modo de producir y consumir, fundamentado en el ahorro y en la eficiencia energética y en el uso de energías renovables. El Protocolo de Kioto, es el primer paso que da la humanidad para combatir el cambio climático (Nieto, 2005), este ha sufrido cambios y los países desarrollados,

son los que más se oponen a este, debido a que emiten la mayor cantidad de GEI en el mundo, entre ellos, USA, la CEE y China.

Con la finalidad de prevenir cambios irreversibles y reducir el impacto de los gases invernadero sobre el clima del planeta, muchos países han decidido apostar a estrategias de diversificación de la producción de energía, utilizando fuentes renovables. bajo análisis consiste en los verdaderos impactos en cuanto a la mitigación del efecto invernadero y reducción del cambio climático (Amparo et al., 2009). La primera estrategia ha sido la sustitución de combustibles derivados del petróleo por biocombustibles, logrando con ello una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>, generada por fuentes móviles (Cortés et al., 2009). Combustibles que se generan en base de insumos agrícolas como caña, aceite de palma africana, maíz, soya, y algunos de reciente experimentación como jatropha (piñón) e higuierilla, entre otros (Amparo et al., 2009). La elevada demanda energética mundial ha hecho necesario buscar nuevas fuentes de energía, especialmente renovables y menos perjudiciales para el medio ambiente. Cobra una gran importancia en nuestros días por varias razones fundamentales, como el hecho de provenir de una fuente renovable, ser un instrumento de lucha contra el deterioro medioambiental, además de un factor de desarrollo de la agricultura e industrias derivadas, y otros beneficios que serán desarrollados con posterioridad (Stratta, 2000) (Stratta, 2000). Sin embargo, la ecuación de gases de efecto invernadero (GEI) no es el único balance ambiental a considerar, sino también la deforestación. Los biocombustibles también poseen el potencial para reducir emisiones de sustancias tóxicas claves, usualmente asociadas a los combustibles fósiles como el monóxido de carbono, material particulado y sulfatos (Dufey et al., 2009).

La sostenibilidad es multifacética, y considera que "la relación entre el desarrollo económico, la equidad de la calidad ambiental y social". Los consumidores están buscando maneras de reducir la cantidad de aceite que utilizan para reducir la producción de dióxido de carbono en el medio ambiente, pero hay también económico incentivos para hacerlo, como por ejemplo los bonos de carbono (Fusco and Dowing, 2012).

El cultivo de higuierilla se constituye en una alternativa válida para la obtención de biocombustible, además de tener un alto potencial para contribuir al desarrollo de la economía campesina, a corto, mediano y largo plazo (Quiroz et al., 2011). La producción de biocombustibles tiene el potencial de disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, las que se pueden vender en el mercado internacional por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), especificado en el Protocolo de Kioto (Ramirez, 2008).

### **2.3. HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.).**

La higuierilla, pertenece a la Familia: Euphorbiaceae y se le conoce científicamente como: *Ricinus communis* L.

Etimología: el nombre del genero *Ricinus* se debe al nombre latino de la garrapata y se refiere al parecido de la semilla con dicho acaro, tanto en la forma como en el color. Nombres comunes en otros países o idiomas: hundsbaum, lausebaum, wunderbaum (alemán); bimazi (chino); alcherva, catapucia, catapuciamayor, cherva, crotón, higuera del diablo, higuera infernal, higuierilla, castor, palma cristi, palmacristi (España); ricin (francés); masketi (Haiti); castor, higuero (Honduras); castor vean tree, castor oil plant, common oil nut tree (ingles); palma kristi, ricin (Martinica); bafureira, erva dos carrapatos, mamoneiro, ricino (Portugués); cawapat (Republica Dominicana); tártago, higuiereta (Venezuela). El nombre común del aceite de castor se da porque erróneamente en los siglos XVI y XVII se creía que el aceite de ricino se obtenía de semillas de la planta *Agnus castus*, la higuierilla es procedente de África tropical y de la India, ha sido introducida en casi todas las regiones del mundo para obtener aceite de ricino o como ornamental (Ramiro and Silvia, 2007).

La higuierilla es una planta endémica de zonas tropicales y subtropicales, que crece en forma silvestre, no requiere de condiciones especiales para su cultivo (humedad, temperatura, etc.) y es vista como maleza (García-Cota et al., 2009). En cultivos marginales no requieren de terrenos fértiles, ya que proliferan en suelos áridos, pobres

en nutrientes, con altos niveles de radiación y baja precipitación pluvial (Garibay et al., 2009). Es de fácil manejo y adaptación al clima árido y semiárido como los registrados en el estado Falcón, con suelos poco aptos para cultivos más exigentes (Zamora et al., 2011a). La planta de higuierilla se desarrolla espontáneamente en todos los climas; presenta racimos con características dehiscentes e indehiscentes y su semilla contiene entre 45% y 55% de aceite, materia prima importante en la producción de biodiesel (Alvarado et al., 2011).

#### **2.4. USO DE LA HIGUERILLA Y BENEFICIOS**

En cultivos agroforestales, la planta de higuierilla es usada para dar sombra temporal a los cultivos de cacao y café por su rápido crecimiento y por el tamaño y forma de su hoja. Como repelente vegetal, en la antigüedad se usó para repeler los insectos de los cultivos por los principios tóxicos que tiene y algunos campesinos la utilizan para este fin. Como controlador de erosión en suelos inestables, se utiliza para la protección de las riberas de los ríos y quebradas, por su adaptabilidad a los suelos arenosos. La torta es tóxica y debe sufrir un proceso de detoxificación para su uso en la alimentación animal. Sin embargo, es utilizada como abono orgánico de buena calidad, eficiente en la recuperación de tierras agotadas, ya que es una excelente fuente de nitrógeno (N) y presenta además, propiedades insecticidas y nematicidas (Mazzani, 2007).

#### **2.5. VARIEDAD DE HIGUERILLA BLANCA Y NEGRA**

La higuierilla mamona blanca, presenta características de 48% aceite. Se cultiva desde los 500 hasta 1800 msnm. Tiempo de cosecha 5 – 7 meses. La higuierilla mamona negra, Características 52% de aceite. Se cultiva desde los 0 hasta los 600 msnm. Tiempo de cosecha 4 – 5 meses (Amado et al., 2006).



## **2.6. ACEITE VEGETAL ALTERNATIVO**

El uso de aceite vegetales convencionales en la producción de biodiesel, en sus altos costos han abierto la posibilidad de buscar fuentes de aceites vegetales alternativos (Guerrero Fajardo et al., 2010). Las materias primas más promocionadas para la producción del biodiesel son los aceites vegetales, por lo que el aceite de higuera (*Ricinus communis* L.) obtenido de la semilla de esta planta conocido como “aceite de ricino” podría ser una alternativa (Zamora et al., 2011).

Los aceites vegetales son la principal materia prima para la producción de biodiesel, razón por la cual el uso de cultivos de alto contenido oleaginoso ha sido estudiado exhaustivamente. En consecuencia se ha planteado el uso de aceites no comestibles procedentes de cultivos marginales tales como *Jatropha curcas* (piñón), *Calophyllum inophyllum* (tamanu), *Pongamia pinnata* (allá de la India, karanja), *Madhuca indica*, *Swida wilsoniana*, *Ricinus communis* L. (higuerilla) y *Vernicia fordii* (tung) (Garibay et al., 2009).

## **2.7. EL ACEITE DE HIGUERILLA**

El aceite alternativo de higuera se proyecta como un producto comercial en la cadena agroindustrial, debido a que se produce oleo químico, biocombustible y productos donde encontramos: fungicidas, debido a los componentes que posee (nematicidas y fungistática), sustancias a partir del extracto de sus hojas como abono debido a abundante contenido de nitrógeno, fosforo, potasio y otros elementos menores (Emilio et al., 2011). Conocido comercialmente como aceite de ricino o “castor oil” no es comestible. es un líquido amarillo pálido o casi incoloro, transparente, viscoso, de olor débil que al gusto produce una sensación dulce seguida de un sabor ligeramente agrio y usualmente nauseabundo (Valderrama, 1994). Es importante precisar que la higuera representa una fuente de materia prima para la producción de aceite como lubricante aeronáutico y otros fines; en este sentido, su producción contribuiría a diversificar la matriz energética del país, promoviendo la generación de energías alternativas a partir de fuentes renovables (Zamora et al., 2011).

El aceite constituye el 48-50% de la semilla y se extrae del mesocarpio. El aceite de ricino tiene cientos de aplicaciones industriales basadas todas ellas en su alto contenido en ácido ricinoleico (90%). Entre ellas tenemos: pinturas, lacas y barnices, revestimientos, polímeros sintéticos tipo nylon, resinas, lubricantes y fluidos de frenos, cosméticos, tinturas textiles (como el aceite rojo de Turquía), insecticidas y en la industria de la piel y como medicina por sus propiedades laxantes o como calmante para aplicaciones locales, pero actualmente a escala muy reducida (Pacual and Correal, 1992).

Es así como, la semilla de la higuera ha surgido como una solución bastante atractiva, conteniendo aproximadamente el 50% de su peso en aceite de ricino, caracterizado por tener cerca de un 90% en peso de ácido ricinoleico, lo que hace de este aceite, es de mayor proporción de ácidos grasos de todos los aceites vegetales (Guerrero Fajardo et al., 2010). El aceite de higuera es un triglicérido vegetal es uno de los pocos glicéridos naturales casi puros, ya que cerca de 90% corresponde al ácido ricinoleico (ricinoleico). Presenta características que lo constituyen en fuente de materia prima para la obtención de poliuretanos, debido a la presencia de varios grupos hidroxilo (-OH) dentro de su estructura (Moreno and Solano, 2011).

Los poliuretanos obtenidos a partir del aceite de higuera son típicamente flexibles, debido a las largas cadenas de ácidos grasos en su estructura; los materiales también se caracterizan por una excelente resistencia a la abrasión. La estructura de estos elastómeros es termoestable debido a la naturaleza trihidroxílica del aceite (Valero et al., 2008) (Valero et al., 2008). Poliuretanos (PU) son polímeros termoestables que se obtiene de la reacción química de condensación entre compuestos polihidroxílicos (tales como poliésteres, poliésteres, glicoles o polioles) y polisocianatos. Según las propiedades requeridas y el uso al que va a destinarse, se han desarrollado varios tipos de PU, que incluyen espumas flexibles y rígidas, láminas, recubrimientos, fibras, adhesivos y elastómeros (Moreno and Solano, 2011). El aceite de ricino o higuera, es

una de las pocas fuentes de glicéridos naturales, en el cual aproximadamente un 90% del contenido de ácidos grasos está constituido por ácido ricinoleico, con la peculiaridad de ser un ácido graso de 18 carbonos con un doble enlace en los carbonos 9 y 10 y un grupo hidroxilo en el carbono 12 (Cardona et al., 2010). Posee la viscosidad más alta de todos los aceites vegetales conocidos y la viscosidad cambia poco con la temperatura. Como se observa en los cuadros (1 y 2) (Manzano et al., 2009). Tiene una alta densidad y a diferencia de todos los demás aceites vegetales, es miscible con alcohol en cualquier concentración pero solo es miscible dentro de ciertos límites con disolventes alifáticos del petróleo (Valderrama, 1994). La mayoría de los aceites sintéticos comunes que se utilizan en aplicaciones automotrices se queman en la cámara de combustión a altas revoluciones. El aceite de ricino no, ya que se ocupa de formar polímeros a medida que la temperatura sube (Pérez et al., 2009). La mayoría de los aceites sintéticos hierven en las paredes del cilindro a temperaturas apenas por encima de su punto de inflamación. La misma actividad puede tener lugar en el área del perno de pistón, dependiendo del diseño del motor. El ricino es un aceite que forma una película lubricante, que no se rompe a altas revoluciones. Por ejemplo: Una moto de carrera alcanza 12,000 rpm. En ese caso el aceite de ricino cumplirá satisfactoriamente su función, Pero en una moto de calle que no llega a más 8,000 rpm no se justifica el uso de este aceite. El problema que se tiene, es que al no tener aditivos antioxidantes, se oxida formando una película gomosa que obstruye todos los orificios. En los motores de carrera eso no es problema, porque se desarma muy seguido y se limpia constantemente evitando así la permanencia durante largos periodos del aceite de ricino degradado en el motor (Pérez *et al.*, 2009).

**TABLA 1.** Características fisicoquímicas del aceite de higuera (Valderrama, 1994).

Índice	Valor	Unidades
Acidez	0.410	Mg KOH/mg de muestra
Yodo	74.500	Mg de I/g de muestra
Saponificación	182.200	Mg KOH/mg de muestra
Insaponificable	0.050	%p/p
Densidad (25°)	0.968	G/m
Viscosidad (25°)	762.00	Cps
Hidroxilo	168.32	Mg KOH/mg muestra
Humedad Karl Fisher	1.7	% p/p

**TABLA 2.** Composición de triglicéridos de aceite de higuera (Manzano *et al.*, 2009).

Triglicéridos de ácidos grasos principalmente	Porcentaje
Ricinoleico	90%
Oleico	5%
Linoleico	2%
Palmítico	2%
Esteárico	1%
Dihidroxiestearico	Trazas

## **2.8. PAISES PRODUCTORES DE ACEITE DE HIGUERILLA**

El ricino o castor (*Ricinus communis L.*) es un cultivo oleaginoso de importancia secundaria ya que con un millón anual de toneladas (que se obtienen de plantas semisilvestres en lugar de plantaciones propiamente dichas) sólo contribuye un 0.5-1% a la producción mundial de aceite. Los principales países productores son India, Brasil, Rusia, China y Tailandia y los importadores: USA, y Japón (Pacual and Correal, 1992).

## **2.9. ALTERNATIVAS RENOVABLES ACEITE DE HIGUERILLA**

Actualmente, ha ocurrido un auge mundial en la utilización de su aceite para la fabricación de biodiesel, combustible ecológico de origen vegetal que reemplaza o se mezcla con el gasoil del petróleo, el cual supone una notable disminución de las emisiones contaminantes. La obtención de biodiesel es sencilla; se parte de un aceite vegetal que se somete a un proceso químico llamado transesterificación, obteniéndose como resultado el biodiesel y glicerol como subproducto, el cual tiene a su vez más de 1600 usos a nivel industrial y poco conocido en la industria farmacéutica (Mazzani, 2007).

El aceite de higuera es una alternativa renovable y energética de la cual se pueden obtener materias primas como sustituto de combustibles fósiles (petróleo), esta planta también puede emplearse como base para resinas, lubricantes de motores de alta rotación, entre otros (Emilio et al., 2010). Además, es un cultivo rendidor del cual se puede obtener entre 350 y 700 kg de aceite/ha en siembras con mínimo manejo del cultivo, pudiendo llegar hasta 1250 kg de aceite en siembras tecnificadas (Zamora et al., 2011a). La mayoría de aceites vegetales tienen una viscosidad del orden de 10 a 20 veces superior al diesel, el aceite de ricino es un caso particular, su viscosidad es más de 100 veces superior al diesel (Lozada and Velásquez, 2009).

## **2.10. ACEITES MAS INVESTIGADOS**

Entre los aceites más investigados se encuentran el aceite de girasol, soya, colza, palma y las pocas investigadas son la higuera y grasas animales, siendo las tres primeras las más usadas para la producción de biodiesel en Europa y Norte América (Alzate and Ariel, 2009) . Los aceites vegetales con mayor volumen de producción son los de soja, girasol, palma y colza que se utilizan principalmente en alimentación representando un 14% de la producción de aceites y grasas, Una excepción la constituyen el lino (8.6%) y el aceite de algunas Euphorbiaceas como el ricino o higuera y tung, que representan el 1.0% de la producción total (Pacual and Correal, 1992).

## **2.11. PROPIEDAD DE SOLVENTE ORGÁNICO ACETONA Y HEXANO**

En el proceso de extracción de aceite y del extracto purificado de cera de caña son utilizados los disolventes hexano y acetona que son eliminados posteriormente en las etapas de secado correspondientes. La acetona es un disolvente clase 3, clasificado como de pocos efectos tóxicos para la salud humana. Para este tipo de disolvente son aceptables concentraciones menores de 5 000 ppm ó 0,5 % según la Farmacopea Europea 2000. El hexano es clasificado como disolvente clase 2, de toxicidad moderada, su uso debe ser limitado y en caso de ser usado, la concentración límite permisible es de 290 ppm (Luna *et al.*, 2005).

### **2.11.1. Acetona**

La acetona es un líquido incoloro, de olor característico agradable, volátil, altamente inflamable y sus vapores son más pesados que el aire como se muestra en el cuadro 3. La acetona es un líquido incoloro, de olor característico, que hierve a 56,2°C (329,4K) y se disuelve en agua, etanol y éter en todas proporciones. En la diabetes (diabetes mellitus) aparece la acetona como un producto de intercambio anómalo, y en un estado de la misma s puede determinar en la orina (acetonuria) (Beyer and walter, 1987).

**TABLA 3.** Propiedades de acetona. Empresa J. T. Baker.

Propiedades	Porcentaje
Por CG corregida para el agua	99.60%
Color (APHA)	8.0
Residuos después de evaporaciones	0.0001%
Soluble en agua	Pasa la prueba
Acido titulable	0.0002
Base de titulable	0.0001
Alcohol isopropílico (por GC)	0.01%
Metanol (por GC)	0.02%
Permanganato	Pasa la prueba
Agua (por K.F)	0.36%
El acetaldehído, como HCHO	0.001%
Trazas de impurezas en ppm	0
Punto de inflamación	-17°C (-0F)

### **2.11.2. Aplicaciones de la acetona en la industria**

La acetona es un excelente disolvente de numerosas sustancias orgánicas. En la industria se utiliza para la gelatinización de la nitrocelulosa, en la fabricación de películas y explosivos, como disolvente de la seda al acetato, barnices y acetileno, así como importante producto intermedio de síntesis (p. ej. Para la obtención de centenos, haloformos, metacrilatos, oxido de mesitilo y forona.) (Beyer and walter, 1987).

### 2.11.3. Hexano.

Líquido incoloro de olor característico, volátil y muy inflamable, soluble en alcohol, éter y cloroformo, insoluble en agua (Tabla 4).

**TABLA 4.** Propiedades hexano. Empresa J. T. Baker.

Propiedad del hexano	Porcentaje
Por CG total de isómeros	99.9%
color APHA	5.0
Residuo después de evaporaciones	0.0005%
Soluble en agua de ácido titulable meq/g	0.0002
Compuestos de azufre (como 5)	0.005%
Tiofeno	Pasa la prueba
Bolling punto típico	68.7°C
Densidad (g/ml) a 25°C	0.6630
Punto de inflamación	-21°C (-7F)

### 2.11.4. Aplicaciones del hexano en la industria

El solvente hexano, es un excelente disolvente para aceites y presentar bajo punto de ebullición, entre 63-93°C, a pesar de ser moderadamente toxico e inflamable (Ravgnani *et al.*, 2001).

### 2.12. EXTRACCION LIQUIDO-LIQUIDO

La extracción de un componente de una mezcla líquida mediante un disolvente presenta en ocasiones ventajas respecto a efectuar la separación por destilación (Costa *et al.*, 1998).

- Las instalaciones son más sencillas.
- Hay la posibilidad de separar componentes sensibles al calor sin necesidad de realizar una destilación a vacío.



- La selectividad del disolvente para componentes de la naturaleza química similar permite separaciones de grupos de componentes, imposibles de lograr basándose solo en el punto de ebullición.

La extracción líquido-líquido es el procesos de separación de los componentes de una solución distribuidos entre dos líquidos inmiscibles. La solución líquida se pone en contacto con otro líquido no miscible que extrae preferentemente uno o más componentes (Michelena *et al.*, 2001).

### **2.13. EXTRACCION SOLIDO-LIQUIDO**

La extracción sólido-líquido es una operación básica cuya finalidad es la separación de uno o más componentes contenidos en una fase sólida, mediante utilización de una fase líquida o disolvente. El componente o componentes que se transfieren de la fase sólida a la líquida recibe el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte (Albert and Barbosa, 2005).

La extracción sólido-líquido recibe distintos nombres según la finalidad del proceso; así se le conoce también como lixiviación, lavado, percolación, etc. En la biografía anglosajona se encuentra frecuentemente descrita bajo el nombre de “leaching” o “solvent extration”. La finalidad de esta operación puede ser diversa, pues en algunos casos es necesario eliminar algún componente no deseable de un sólido mediante disolución con un líquido, denominándose lavado a este proceso de extracción. Sin embargo, en otros casos se desea obtener un componente valioso que está contenido en un sólido, disolviendo con un líquido, denominándose a esta operación lixiviación (Albert and Barbosa, 2005; Ibarz and Barbosa-Cánovas, 2005). Si el componente extraído es el valioso se denomina lixiviación. La palabra percolación se refiere más bien a la forma de operación –vertido de un líquido sobre un sólido- que al objetivo perseguido (Costa *et al.*, 1998).

### **2.14. APLICACIONES IMPORTANTES SOLIDO-LIQUIDO EN LA INDUSTRIA**

Aplicaciones importante de la extracción sólido-líquido en la industria alimentaria son: extracción de aceite y grasas animales y vegetales, lavado de precipitados, obtención

de extractos de materias animales o vegetales, obtención de azúcar, fabricación de té y café instantáneo, entre otras.

Una etapa simple consta de un mezclador con agitación, donde se pone el contacto el sólido y el disolvente durante cierto tiempo de contacto. A continuación se lleva a un separador, donde se obtienen las fases extracto y refinado, después de un cierto reposo. No siempre se utilizan dos equipos, sino que en uno solo se puede realizar las dos etapas de extracción y separación, denominándose extractor a este equipo (Albert and Barbosa, 2005) (Ibarz and Barbosa-Cánovas, 2005).

### **2.15. EXTRACCION DE ACEITE MECANICO (PRENSADO) Y SOLVENTE**

Los procesos de extracción de aceite vegetal son generalmente llevados a cabo mediante los métodos de prensado y por solvente (Brossard et al., 2010). El rendimiento del aceite depende del equipo y del método de extracción empleados, ya sea mecánico o por solventes. Con la extracción mecánica se puede obtener un 75% de rendimiento y usando sistemas de prensado comercial, se puede llegar hasta un 90% (Ramirez, 2008).

La extracción por prensado consiste en la separación de los líquidos contenidos en productos sólidos mediante la aplicación de fuerzas de compresión, de modo que las gotas de aceite desgarran y rompen las paredes de las células y salen al exterior. En la extracción por disolvente conocida como sólido-líquido, el soluto contenido en fase sólida se separa por contacto con el disolvente líquido (Trejo and Maury, 2002).

### **2.16. EXTRACCIÓN SOXHLET (SOLVENTE)**

Es un método de extracción continuo que se utiliza para materiales sólidos. Consiste en colocar el material a extraer, previamente molido y pesado, en un cartucho de celulosa que se introduce en la cámara de extracción, conectada por una parte a un balón de destilación y por otra a un refrigerante. El disolvente contenido en el balón se calienta a ebullición, el vapor asciende por el tubo lateral y se condensa en el refrigerante, cayendo sobre el material. Cuando alcanza el nivel convenientemente el sifón por el

tubo regresando al balón. El proceso se repite hasta conseguir el agotamiento deseado del material (Lamarque et al., 2008). El líquido condensado cae dentro del dedal que contiene el sólido. El solvente caliente empieza a llenar el dedal y extrae el compuesto deseado a partir del material vegetal. Una vez el dedal se llena con el solvente, el brazo de la derecha actúa como sifón, y el solvente, el cual contiene el compuesto deseado disuelto, se regresa dentro del balón de destilación. El ciclo vaporización- condensación- extracción- evacuación por el sifón, se repite varias veces, y el producto deseado se concentra en el balón de destilación (Rogelio *et al.*, 2008).

### **2.17. VENTAJA DE LA EXTRACCION SOXHLET (SOLVENTE)**

Este es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceites vegetales y puede reducir el contenido de aceite de las semillas oleaginosas hasta menos de un 1%. La extracción por prensado deja un residuo aproximado de 6%. La extracción por solvente es especialmente ventajosa en el tratamiento de semilla con un contenido bajo en aceite. La extracción por solvente es una típica operación de transferencia de masa, donde el solvente penetra en el sólido y el aceite contenido en él se hace miscible con el solvente (Valderrama, 1994).

1. El disolvente y la muestra están en contacto íntimo y repetido. De manera que se mejora muchísimo la extracción porque siempre se emplea un disolvente limpio.
2. El disolvente proviene de una condensación luego es líquido y está caliente. Favorece la solubilidad del aceite.
3. No se requiere filtración posterior. El disolvente orgánico se evapora quedando sólo el aceite.
4. Gran capacidad de recuperación.
5. Instrumentación simple.

#### **2.17.1. DESVENTAJA DEL EXTRACTOR SOXHLET.**

1. Es un proceso extremadamente lento e imposible de acelerar.
2. Se requiere gran cantidad de disolvente.

### **2.18. CAMPO DE APLICACIÓN DEL SOXHLET.**

Aunque su campo de aplicación es fundamentalmente en agroalimentarios también de utilidad en el área medioambiental, así es el método de análisis recomendado para la determinación del aceite y la grasa total recuperable en aguas de vertidos industriales permitiendo la determinación de hidrocarburos relativamente no volátiles, aceites vegetales, grasas animales, ceras, jabones y compuestos relacionados.

## **III.- MATERIALES Y METODOS**

### **3.1. LUGAR DE ESTUDIO.**

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en Torreón Coahuila, México **Coordenadas:** 25°32'40" N; 103°26'30" O, a 1140 metros **sobre el nivel del mar** en el laboratorio de suelos y en la Universidad Juárez de Durango (UJED) laboratorio de alimentos.

### **3.2. MATERIAL BIOLÓGICO**

Se emplearon semillas de dos variedades de Higuierilla. Las semillas de mamona blanca fueron gentilmente proporcionadas por el ingeniero Joel Limones Avitia obtenidas de terrenos baldíos de la ciudad de Torreón Coahuila, por otro lado la variedad de mamona negra donada por el ingeniero Eliseo Raygoza Sánchez cultivadas.3.3. VARIABLES DE ESTUDIO.

#### **3.3.1. Morfometría de la semilla.**

El análisis morfométrico se realizó con la finalidad de establecer diferencias en las variables de las semillas examinadas. La Morfometría se realizó para los siguientes caracteres: Peso Fresco (PFS), Largo (LS), Ancho (AS), Grosor (GS) y relación largo/ancho y volumen.

#### **3.3.1.2. Largo de la semilla (LS).**

Se tomaron 5 semillas al azar para identificar el largo de la semilla en mm con un vernier de precisión.

#### **3.3.1.3. Ancho de la semilla (AS).**

Se tomaron 5 semillas al azar para identificar y medir el ancho de la semilla en mm con un vernier de precisión.

#### **3.3.1.4. Volumen de la semilla (VS).**

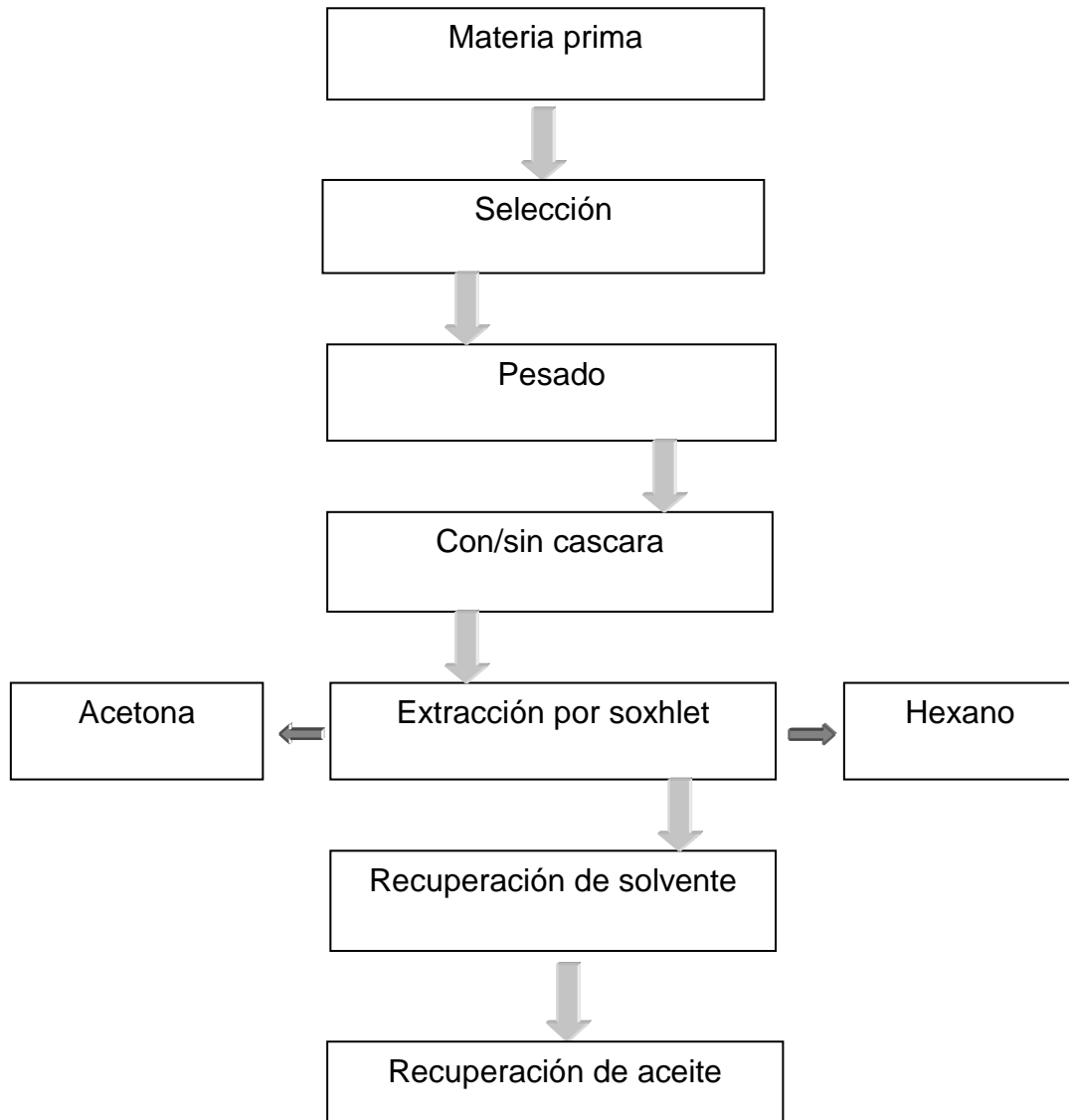
Las dos variedades de semilla, mamona blanca y mamona negra ambas fueron colocadas en un vaso de precipitado de 1 L (por separado), posteriormente se pesaron en una Balanza Analítica de Precisión Electrónica (Sartorius, modelo HR-200, USA.). La medición se realizó cuatro veces.

#### **3.4. Método de extracción de aceite Soxhlet.**

Para la extracción de aceite se utilizó un extractor soxhlet (solvente) de 250 ml, empleando acetona y hexano como disolvente. La semilla de Higuierilla contiene aceite el cual no se puede extraer con simplemente triturarlo, por lo que hay que llevar a cabo un proceso de extracción el cual permita despojar a la semilla del aceite que se encuentra contenida en ella. Se sabe que esta semilla contiene aceite por la literatura consultada y porque al momento de comprimirla, ya sea con la palma de la mano o los dedos, se experimenta una “sensación grasosa”, en el Figura 1, se detallan los pasos para la preparación de la materia prima hasta la extracción de aceite.

Extractor Soxhlet (250 ml). Es una unidad de laboratorio conformada por 3 piezas de vidrio: un balón donde se introduce el disolvente que se calienta conectado al dispositivo de extracción, que contiene un dedal de celulosa donde se colocan una muestra de 10 gramos del material vegetal. Al alcanzar el disolvente la temperatura de ebullición, los vapores ascienden por un conducto y pasa a estado líquido en el condensador ubicado en el tope del extractor y gotean sobre la matriz sólida, donde

ocurre el proceso de extracción lentamente. Una vez que se llena el extractor, por medio de un sifón, el solvente es drenado hacia el balón, donde se repite el ciclo y se va acumulando el extracto en el balón.



**FIGURA 1.** Diagrama de preparación y extracción de aceite de semilla de higuera (*Ricinus communis* L.).

### **3.5. ESTERIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ACEITE DE HIGUERILLA, PROCESO DE METILACION DE ESTERES Y SAPONIFICACION.**

La metilación se realizó mediante el método de la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1969). Se mezclan 0.5 ml de aceite con 1 ml de NaOH al 1N en metanol, se agita en vortex por 30-40 segundos y se calienta durante 15 minutos en baño maría hirviendo. Se deja enfriar y se añade 1 ml de tricloruro de boro (14%), se agita en vortex por un minuto y se deja reposar por 30 minutos. Posteriormente se añaden 6 ml de hexano (grado HPLC) y 2 ml de agua destilada, la muestra se centrifuga a 1500 rpm por 5 minutos. La muestra de esteres metilados de ácidos grasos finalmente se transfirió a un frasco ámbar y se almacena a -20 °C hasta su análisis.

#### **3.5.1. Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.**

Se inyectó 1 microlitro de la solución de esteres metilados de ácido grasos (FAME por sus siglas en inglés). Disuelto en hexano al cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 6820) equipado con un detector de ionización de flama. Los FAME fueron separados en una columna capilar Supelco SP2560 (125 m x 0.25 mm x 0.2 mm) usando helio como gas acarreador a una presión de 42 lb. Las condiciones de corrida fueron temperatura inicial de la columna fue de 120°C por 5 minutos, y se incrementó 3°C/min hasta 210°C manteniéndose por 25 minutos, transcurrido este tiempo, se incrementó la temperatura 225°C a 1°C/min permaneciendo así durante 10 minutos. La temperatura inicial del inyector fue de 260°C, con una temperatura del detector de 260°C. Los picos del ácido linoleico fueron identificados por sus tiempos de retención con referencia a los estándares de metilesteres puros (SUPELCO, EU). La identificación y análisis de los picos se realizó usando el software QA Cerity Chemical Station.

### **3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.**

En el desarrollo del presente estudio, se utilizó un diseño experimental trifactorial, con tres repeticiones. El factor A, incluye las dos variedades de semilla (Mamona blanca y mamona negra), factor B, dos solventes para la extracción (hexano y acetona) y el factor C, con dos factores (semilla sin cáscara y con cáscara).

Se utilizó un modelo lineal como sigue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC) + (BC) + e_{ijkl}$$

Donde:

i= mamona blanca y negra j= acetona y hexano k= extracción l= tres repeticiones

$Y_{ijk}$  =Respuesta obtenida en la k-ésima repetición del i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel del factor B.

$\mu$ = Efecto medio general.

$A_i$  = Efecto atribuido al i-ésimo nivel del factor A (variedad).

$B_j$ = Efecto atribuido al j-ésimo nivel del factor B (extracción).

$(AB)_{ij}$  = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel del factor B.

$e_{ijkl}$  = error aleatorio.

### **3.7. ANÁLISIS DE DATOS.**

Los datos fueron analizados por análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias, empleando el paquete estadístico de minitab15.



## IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados encontrados, el análisis morfométrico de las variedades, presentaron diferencias significativas en LS, AS, GS y PS, destacándose el cultivar mamona blanca (MB), como sobresaliente sobre mamona negra (MN).

### 4.1. RESULTADO MORFOMETRICO DE SEMILLA DE HIGUERILLA.

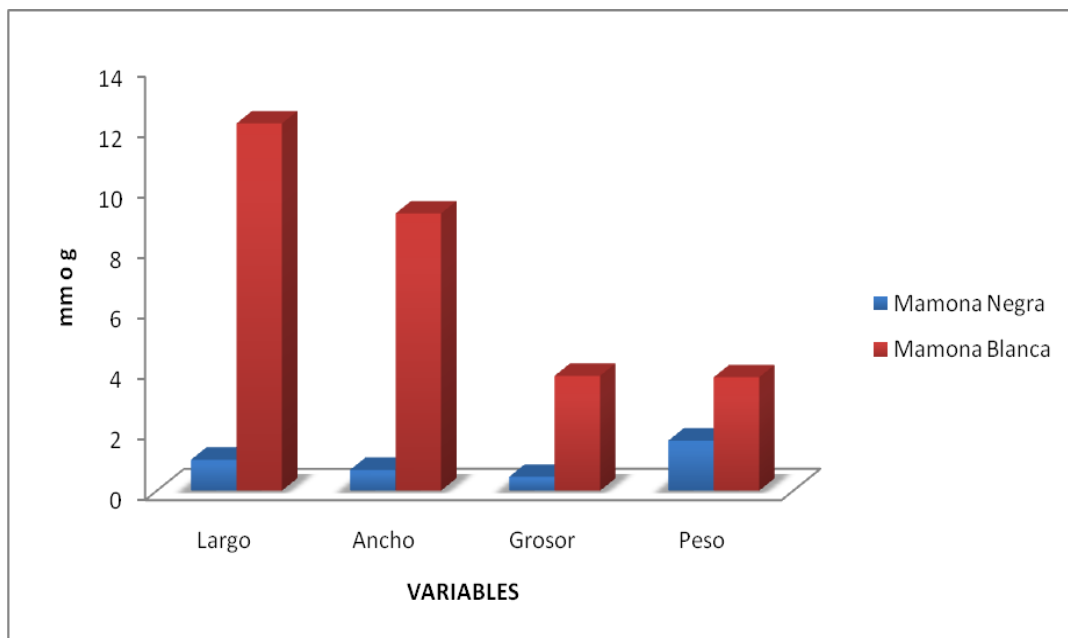
De acuerdo con los resultados morfométricos (Figura 1), para el caso de la semilla mamona blanca; se determinaron promedios de largo que oscilaron entre 11- 14 mm, ancho 8-10 y grosor 3-5 mm; mientras que para la semilla del cultivar mamona negra fueron: 1-2 mm largo, 0.7-1 de ancho y 0.4-0.9 mm de grosor. Nuestros resultados concuerdan con los resultados reportados por Leal (2009), quienes evaluaron ecotipos ecuatorianos y fueron estadísticamente diferentes los diámetros y peso de las semillas evaluadas. Así mismo, se han reportado promedios entre 8 y 20 mm de largo y entre 4 y 12 mm de ancho, en función de la variedad de ricino, dentro de estos promedios se encuentra la variedad mamona blanca (Pita *et al.*, 2004), mientras que mamona negra se encuentra fuera de estos valores.

Así mismo, los pesos de 100 semillas, oscilaron entre 7 y 124 g para colectas de Chiapas(Goytia-Jiménez *et al.*, 2011). Por la gran variabilidad genética que presenta esta especie, presentándose en 2011, un reporte que, pone de manifiesto, la importancia de comprender este recurso con particular énfasis en su genoma, proteína y transcriptora, generándose una base de datos con información disponible (Thakur *et al.*, 2011).

### 4.2. EXTRACCION DE ACEITE DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.).

De acuerdo con los métodos de extracción de aceite de la semilla de *R. communis*, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los solventes; con cascara o sin ella, sin embargo; si existen diferencias entre las variedades en la extracción del

aceite (Figura 2), siendo nuevamente MB la que destaca. Sus niveles de producción, son aproximados a los reportados por la literatura del 50% (Melo et al., 2008; Rizzardo et al., 2012), en nuestro caso fue del 45%, similares a los reportados por Vanaja et al., (2008), que fueron de 43.7 a 44.2 %, así como a resultados reportados para coco (47.8) y de 50 % para semillas de *Colocynthis Citrullus* (calabacita silvestre) (Obasi et al., 2012).



**FIGURA 2.** Determinaciones morfométricas de las semillas de higuera (*Ricinus communis* L.) empleadas en este estudio.

Por estudios realizados en colectas de *R. communis* en Chiapas, se encontraron valores de contenidos de aceite del orden de 12.2 al 64.88 %, siendo este último muy superior a nuestros resultados (Goytia-Jiménez et al., 2011) . Mientras que Amado et al., (2006), reporta valores promedio de 51 %, superando en un 5% a mamona blanca y del 55 % por resultados encontrados por (Akpan et al., 2006) mientras que para otras especies oleaginosas (*Butyrospermum parkii*, *Lophira lanceolata*, *Sterculia setigera*, *Detarium microcarpum*, *Blighia sapida* y *Schorocarpya birria*), los contenidos

de aceite (%) fueron: 34, 40, 33, 7.4, 26 y 42 respectivamente (Kyari, 2008), resultados que están por debajo del promedio encontrado para la variedad Mamona Blanca.

#### **4.2.1. Rendimiento de la extracción de aceite de semilla de higuierilla por ton.**

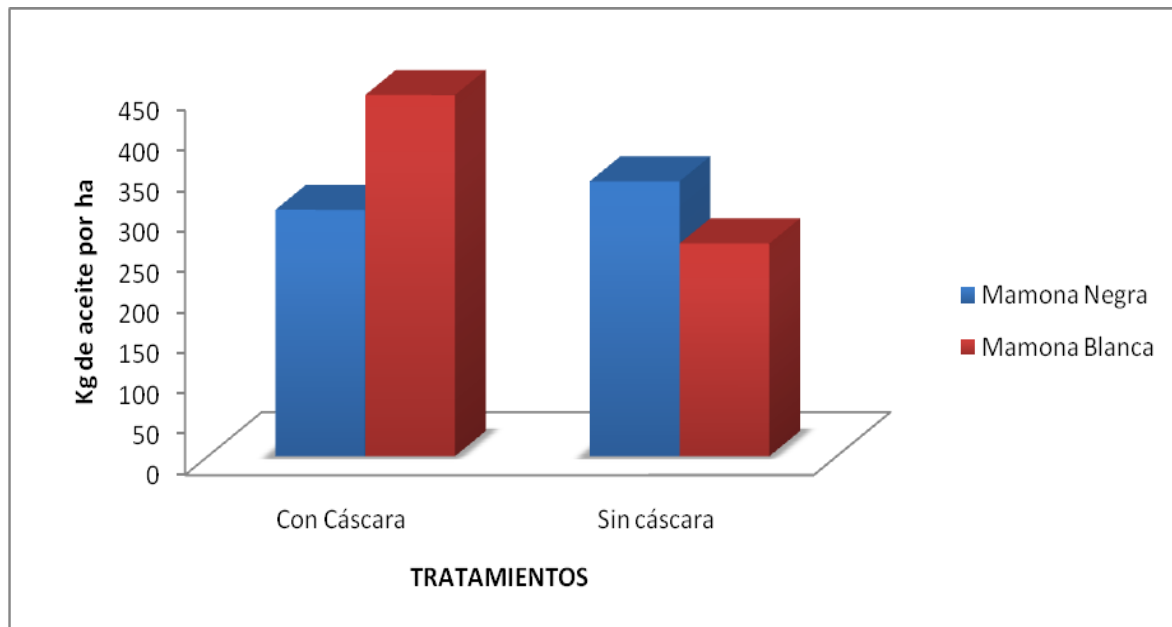
Como se sabe, la higuierilla (*R. communis* L.) es una oleaginosa originaria de África y se siembra en todo el mundo (Rizzardo et al., 2012), principalmente con fines de producción de biocombustibles (biodiesel), debido a su alto contenido de aceite en la semilla, sus rendimientos oscilan entre 1,307 a 905 Kg de semilla por ha en la India y China; alcanzándose en Brasil, rendimientos máximo de 568 Kg de semilla ha<sup>-1</sup>. Se considera que, el potencial que pudiera tener este cultivo pudiera ser del orden de los 1500 Kg en el caso de Brasil. Para la Variedad Mamona BRS, en Brasil, los rendimientos fueron afectado por la fecha de siembra, alcanzándose rendimientos de hasta 1,834 Kg ha<sup>-1</sup>, cuando se sembraron el 20 de noviembre del 2008, por el contrario, las siembras del 17 de septiembre (2008) y 10 de diciembre (2009), generaron los resultados más bajos con 546 y 706 kg de semilla ha<sup>-1</sup> (Ferreira et al., 2011).

En Venezuela, se evaluaron siete cultivares, donde los rendimientos (kg ha<sup>-1</sup>), oscilaron entre 93-597 Kg, lo que indican la pobreza de estas líneas para fines de extracción de aceite (Zamora et al., 2011).

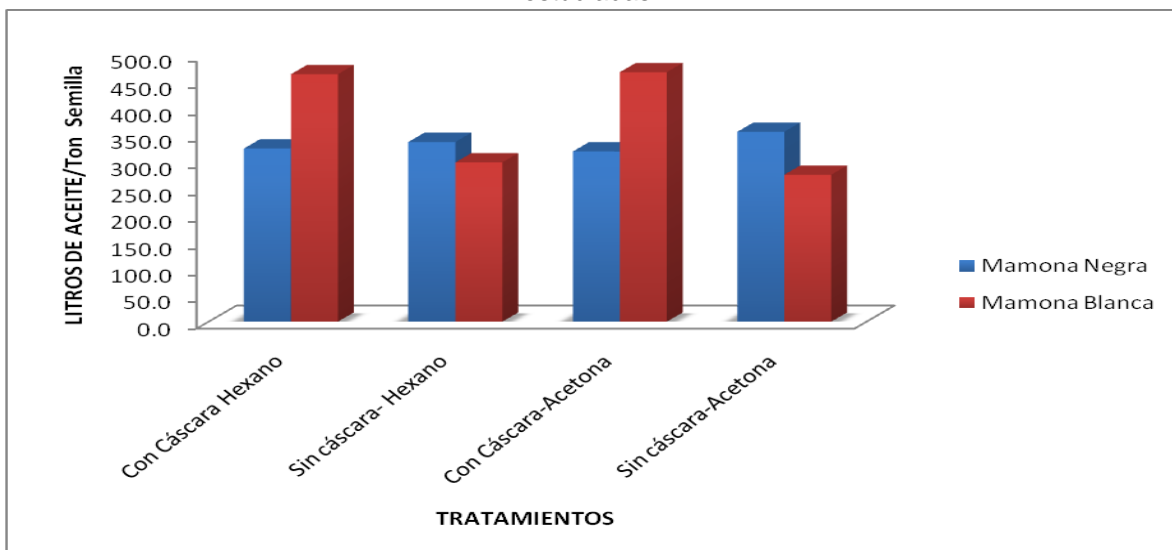
Se han reportado estudios experimentales y ajustado modelos para establecer relaciones entre rendimiento y temperatura, alcanzando un máximo de 1400 kg de semilla, donde el análisis de regresión resultó significativa ( $Y=89.2 X + 762.8$ ; una  $R^2=0.59$ ), considerando en el eje de la X, diferencias de temperaturas y en el eje Y el rendimiento (Vijaya et al., 2005).

De las dos variedades de higuierilla mamona blanca y mamona negra, se extrajo mayor cantidad de aceite en mamona blanca con cascara 450 L ton<sup>-1</sup> de semilla, mientras tanto la mamona negra con cascara fue de 350 (Figura 3), lo que representó un 22.3%

de diferencia. Las diferencias encontradas fueron estadísticamente significativas ( $P < 0.01$ ), de acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 5), observándose además, efecto de interacción variedad, cubierta, es decir la mamona blanca produce más con cáscara y la mamona negra produce más aceite sin cáscara Figura 4.



**Figura 3.** Extracción aceite con cáscara y sin cáscara de las dos variedades de *Ricinus communis* estudiadas.



**FIGURA 4.** Promedio de extracción Soxhlet con solventes, de aceite de semilla de *Ricinus communis* de dos variedades estudiadas.

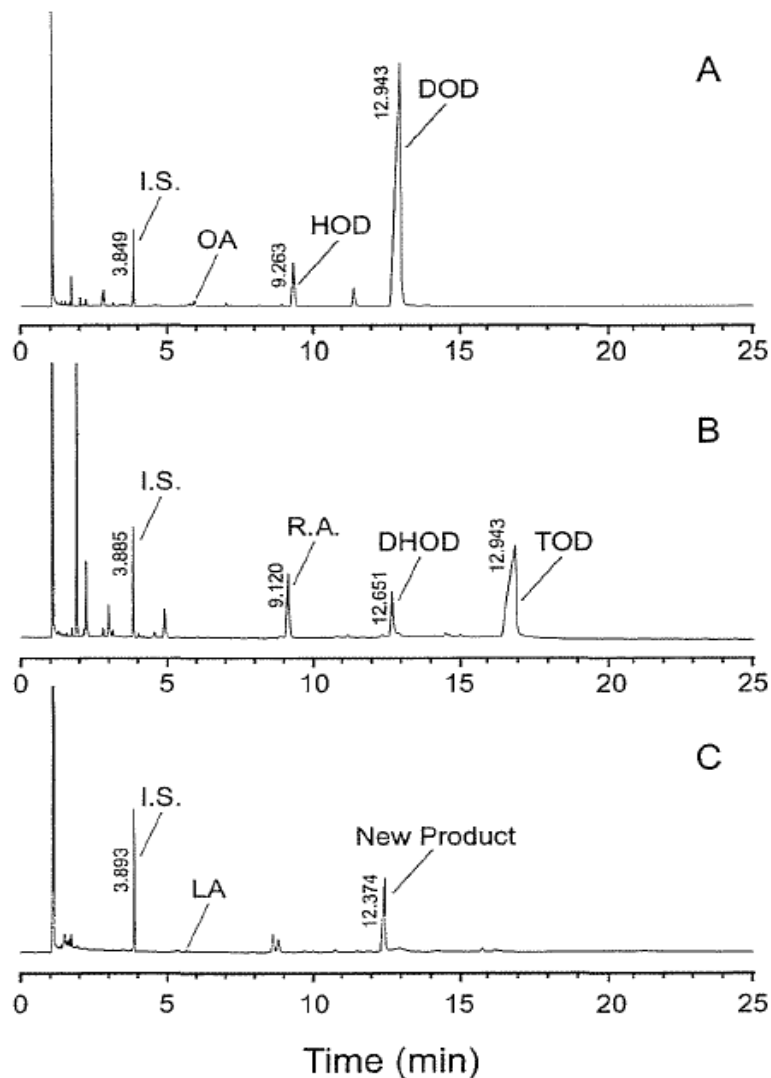
Por lo tanto y de acuerdo con lo señalado por Leal-Alvarado (2009), es importante analizar la extracción de aceite de cada ecotipos e identificar cual es el mejor para una región en específico. Así mismo, se sabe que el cultivo una vez establecido, está sujeto a ataque de plagas y enfermedades, tal fue el caso de una de las variedades de estudio (mamona blanca), que fue destruido el cultivo experimental por el ataque de hongos (Alejandro Moreno Resendez, comunicación personal 2012).

**TABLA 5.** Análisis de varianza para la producción de aceite de dos variedades de semilla de higuera (*Ricinus communis* L.) con y sin cubierta.

Source	DF	SS	MS	F	P
Variedad	1	0.65012	0.65012	68.95	0.000
Cubierta	1	2.16119	2.16119	229.20	0.000
Interaction	1	3.75856	3.75856	398.60	0.000
Error	12	0.11315	0.11315		
Total	15	6.68302			

#### **4.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD EN BASE AL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS OBTENIDO DE LAS DOS VARIEDADES DE HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.) ESTUDIADAS.**

De acuerdo con la Figura 5 (b), se presenta un ejemplo de un cromatograma de estándares para éteres de ácidos graso, donde claramente se observa que el ácido ricinoleico, presenta tiempos de retención de aproximadamente 10 minutos, para una corrida, empleando cromatografía de gases (Min Kuo and Nakamura, 2004).

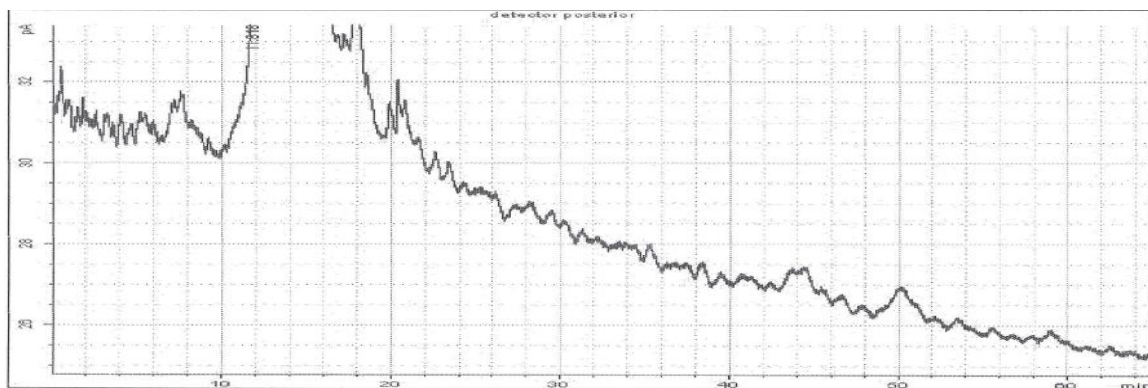


**Figura 5.** Cromatogramas de gases de esteres de metilo. Los picos de la cromatografía de gases son para estándares internos de ácido ricinoleico (AR), en la parte B (tomado de Min Kuo and Nakamura, 2004).

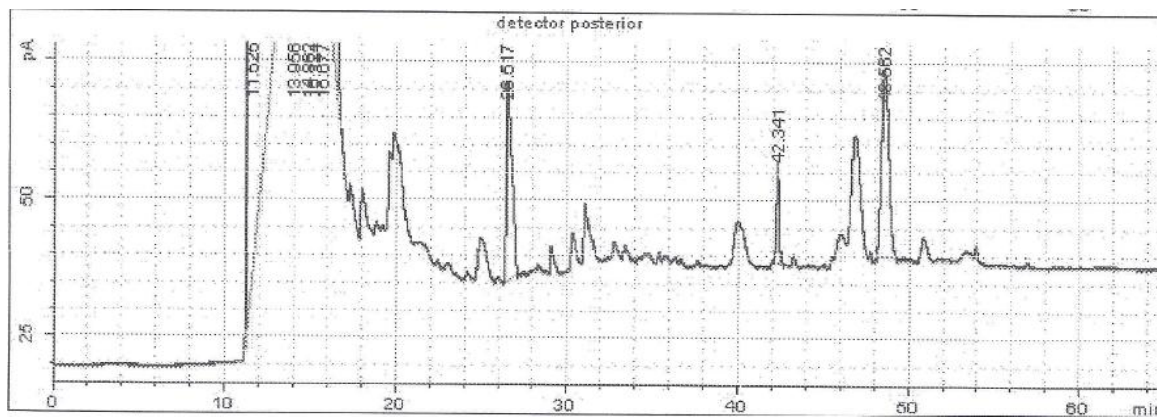
De acuerdo con datos reportados en la literatura, la calidad del aceite de *R. communis* por su perfil de ácidos grasos, se manifiesta que en un 89.4% predomina el ácido ricinoleico (Nanclares *et al.*, 2010), mientras que de acuerdo con la ficha técnica de Higuierilla reportada por Ramírez (2008), cita contenidos del 70% de éste y de 12 % del ácido ricino. De un total de 151 colectas de semillas de higuierilla en Chiapas, solamente se les determinó el contenido de aceite en semilla, siendo sobresaliente, sin

embargo, no se determinó su calidad, en base al perfil de ácidos grasos, esto debido a que, de acuerdo a nuestros resultados (Figuras 6-8), se presentan ejemplos de cromatogramas, donde se demuestra que, la presencia del principal ácido graso, en % bajo la curva es insignificante y contradictorio con lo reportado por la literatura, por lo que las colectas de Chiapas, bien valdría la pena se considerara la posibilidad de establecer la calidad en base al criterio señalado.

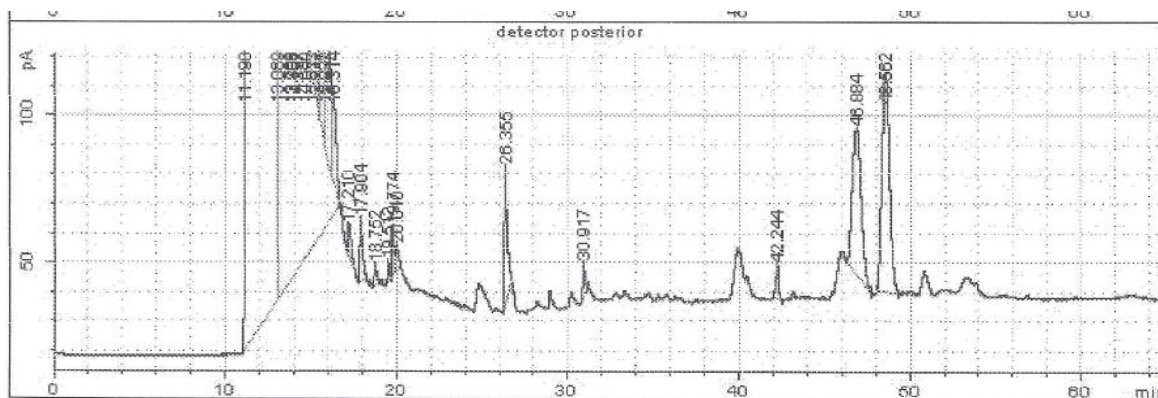
Considerando la figura 5 y por los cromatogramas obtenidos (Figuras 6-8), es claro que en los tiempos de retención, las áreas bajo la curva, son de bajo valor, lo que indican un bajo porcentaje en el contenido de dicho aceite. Se requerirá de estudios posteriores para una validación de la técnica cromatografía a bien utilizar gases masas, como estrategia alternativa. Por nuestros resultados, estos son contradictorios a los reportados por la literatura y será necesario buscar la posible explicación de ello.



**Figura 6.** Perfil de ácidos grasos de higuera CV Mamona blanca con cascara, empleando la acetona para su extracción.



**Figura 7.** Perfil de ácidos grasos de higuera CV Mamona negra sin cascara empleando el hexano para su extracción.



**Figura 8.** Perfil de ácidos grasos de higuera CV Mamona negra con cascara, empleando la acetona para su extracción.



## V.- CONCLUSIÓN

La higuera es una planta muy importante para la producción de aceite que tiene la característica de ser rústica y productiva en áreas de baja pluviometría.

De acuerdo con los resultados encontrados en el presente estudio, se puede concluir que:

- 1.- Existen diferencias morfométricas en las semillas de *Ricinus communis* sobresaliendo Mamona Blanca.
- 2.- La extracción promedio de aceite de la semilla de *Ricinus communis* CV Mamona Blanca fue del 45 %.
- 3.- No existen diferencias en la extracción de aceite de las semillas de *Ricinus communis* con los solventes: Acetona o hexano.
- 4.- La producción promedio de aceite (por ton de semilla) de *Ricinus communis* para la CV Mamona blanca fue de 450 L.

## VII.- DISCUSIÓN

Las sustancias a partir de las cuales se producen los aceites son semillas o frutos. En realidad, todas las semillas y frutos contienen aceite, pero sólo los llamados oleaginosos Higuierilla y jatropha sirven para la producción industrial de aceite del biodiesel y no competir con aceites convencionales.

La jatropha se conoce como piñón o piñoncillo se distribuye en los estados de Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora. En México no existe experiencia en cultivos por lo cual se toma de referencia estudios de Nicaragua donde existe plantaciones extensas para lo agroindustrial El rendimiento por hectárea, ya estabilizado es de 5 toneladas de semilla seca por hectárea, de los cuales de 1.8 a 2 toneladas son de aceite.

La semilla de colza contiene entre 380 y 400 kilogramos de aceite al procesarla por el método de solventes, se obtienen 369 kilogramos de aceite crudo. Los 369 kilogramos de aceite al esterificarse con bioetanol, producirán 387 kilogramos de biodiesel, es decir aproximadamente 460 litros. Así, los productos principales de la transformación de una tonelada de semilla, son: 460 litros de biodiesel.

Sin embargo, a pesar de su gran importancia, la investigación nacional en el tema de bioenergía y en específico con *R. communis* es reciente, por lo que aún se requiere de investigación e innovaciones en este cultivo. Es un cultivo rendidor, del cual se puede obtener entre 350 y 700 kg de aceite/ha, en siembras con mínimo cuidado del cultivo, pudiendo llegar hasta 1.250 kg de aceite en siembras tecnificadas con lo cual se puede obtener biodiesel 1250 litros.

## VIII. – BIBLIOGRAFIA

- Akpan, U.G., Jimoh, A., Mohammed, A.D., 2006, Extraction, Characterization and Modification of Castor Seed OIL. Department fo Chemical Engineering, Federal University of Technology, Minna, Nigeria., 1-8.
- Albert, I., G. V., Barbosa, C., 2005, Operaciones Unitarias en la Ingenieria de Alimentos Madrid españa.
- Alvarado, P., J. I. , Ávila, C., E., Hernández, V., B., Ochoa, E., X. M., Alvarado, P., E. S., 2011, Características morfológicas de semillas de higuierilla con potencial para la produccion de biodiesel. Universidad Autonoma de Aguas Calientes 12 seminario de investigación, 1-1.
- Alzate, C., Ariel, C., 2009, Perspectiva de la Produccion de Biocombustible en Colombia: Contextos Latinoamericanos y Mundial. Revista de Ingenieria, Universidad de los Andes, Colombia, 109-120.
- Amado, G., E., Perea, O., J. C., López, A.F., 2006, Cracterizacion Termoanalitica de Semillas de Ricinus cummunis Variedades Mamona Blanca, Mamona Negra y Silvestre: Analisis de las propiedades Reológicas del Biodiesel Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pmplona Bucaramanga, Colombia 4, 15-20.
- Amparo, A., M., Cárdenas, H., Dufey, A., Hofmann, M., Honty, G., Horta, L.A., Leone, A., Rocha, D., Rodriguez, A., Volpi, G. 2009. Biocombustibles como energia alternativa: una mirada hacia una region, p. 72.
- Beyer, H., walter, W., 1987, Cetonas Alifáticas (Alcanonas), 227-237 pp.
- Brossard, G., C. O., Ferrari, R.A., Pighinelli, A.L., Jin, P., k., 2010, Evaluacion preliminar de etanol anhidrido como solvente en la extraccion de aceite de semillas de jatropa ( *Jatropha curcas* L.). 1-8.
- Cardona, V., S. M., González, C.R., Franco, C.A., Cardeño, L.F., Rios, L.A., 2010, Obtencion de monoglicéridos de aceite de ricino empleado glicerina refinada y cruda. Estudio de las principales variables del proceso. Revista de la Facultad de Quimica Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia 17, 128-134.
- Cortés, M., E., Suarez, M., H., Pardo, C., S., 2009, Biocombustibles y autosuficiencia energética. 76, 101-110.
- Costa, L., J., Cervera, M., S., Cunill, G., F., Esplugas, V., S., Mans, T., C., Mata, A., J. , 1998, Ingenieria quimica introduccion a los procesos, las operaciones unitarias y los fenomenos de transporte.
- Duarte, C., C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Rios, A.F., Simó, R., Valladares, F., 2006, Cambio Global Impaco de la Actividad Humana Sobre el Sistema Tierra. Consejo Superior de Investigación Cientificas 1-165.
- Dufey, A., Volpi, G., Tixera, D.R., Horta, L.A., Noueira, Leone, A., Honty, G., Hofmann, M., Albal, A.M., cardenas, H., Rodriguez, G., A, 2009, Biocombustibles como energia alternativa: una mirada hacia la region 1-72.

- Emilio, D., A., Aperador, C., W., Silva, G., J. R., 2010, Influencia del porcentaje de mezcla del aceite de higuierilla en la obtencion de combustible alternativo para motores diesel. 46-52.
- Emilio, D., A., Aperador, W., Aviles, O., 2011, Biocombustible obtenido a partir de aceite de higuierilla. 1-5.
- Ferreira, A., R., Dos Ajos, E.S., S. D., Diedrich, E., E., 2011, Análise de Crescimento de Mamona Semeada em Diferentes Épocas. Ciencia Rural, Santa Maria 41, 1347-1353.
- Fusco, E.J., Dowing, T.J., 2012, An alternate source of energy: The production of biofuels from seaweed. Int. J. Bus. Insig. Transf. 5, 122-135.
- Garcia-Cota, T.d.N.J., Cruz, G., V. M. , Najera-Martinez, I., Sanchez, D., O., Reyes-Ortega, Y., Lopez-Arenas, T., 2009, Purificacion de Biodiesel Obtenido de Aceite de Ricinus Superficies y Vacios Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnologia de Superficies y Materiales A.C Distrito Federal, Mexico 22, 20-23.
- Garibay, H., A., Vázquez, D., R., Sánchez, S., M. del P., Serrano, C., L., Martinez, J., A., 2009, Biodiesel a Partir de Microalgas. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de Mexico 13, 38-61.
- Goytia-Jiménez, M.A., Gallegos-Goytia, C.H., Nuñez-Colin, C.A., 2011, Relación Entre Variedades Climáticas con la Morfología y Contenido de Aceite de Semillas de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17, 41-48.
- Guerrero Fajardo, C.A., Osorio Leon, I.D., Sierra Vargas, F.E., 2010, Evaluación del Efecto de la Temperatura en la Produccion de Biodiesel con Aceite de Higuierilla. Ingenieria e Investigación, Universidad Nacional de Colombia, Bogota Colombia 30, 52-61.
- Guhl, C., A., 2008, Aspectos Éticos del Calentamiento Climático Global. 8, 20-29.
- Ibarz, A., Barbosa-Cánovas, G.V., 2005, Aparatos de Extracción sólido-Líquido Madrid España, 792-797 pp.
- Kyari, M.Z., 2008, Extraction and Characterization of Seed Oils. Departamento of Science Laboratory Technology, Ramant Polytechnic, Maiduguri, Nigeria 22, 139-142.
- Lamarque, A., Zygadlo, J., Labuckas, D., Lopez, L., Mariela, T., Maestri, D., 2008, Fundamentos teoricos-practicos de quimica organica., 1-51.
- Lozada, G., J. R., velásquez, J., J. A., 2009, transertificacion alcalo-catalizada del aceite de higuierilla. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellin, Colombia, 1-10.
- Luna, S., B., Gonzalez, B., L., Rodrigez, E., Bello, T., Acosta, B., Mosquera, S., J., Benavides, L., Quintana, O., 2005, Desarrollo y validación de un analitico para la determinacion de disolventes residuales por espacio de cabeza estático - cromatografia gaseosa capilar en policosanol Departamento de Aseguramiento de la Clidad, Dirección de Producción, Centro nacional de Investigaciones Cientificas, Ciudad de la Habana, Cuba 36, 143-147.
- Manzano, P., Rivera, P., Perez, J., Orellana, A., Ahumada, O., Castillo, J., Ruiz, O., 2009, Comparacion del porcentaje de aceite y del tamaño de esis ecotipos de semillas de higuierilla (*Ricinus comunis*), de origen sudamericano. 22, 15-20.

- Mazzani, E., 2007, El tártago: la planta, su importancia y usos. Ministerio de Agricultura y Tierras de Venezuela, 1-9.
- Michelena, G., Carrera, E., Bell, A., Altuna, B., Almeida, G., 2001, Proceso de Separación y Decoloración del Ácido Jasmónico a Partir de Botrydiplodia Theobromae Cepa 715. Tecnología, Ciencia y Educación. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos 16, 12-19.
- Min Kuo, T., Nakamura, L.K., 2004, Diversity of Oleic Acid, Ricinoleic Acid and Linoleic Acid Conversions Among Pseudomonas Aeruginosa Strains. Microbial Genomic and Bioprocessing Research Unit, National Center for Agricultural Utilization Research, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Peoria, IL 61604, USA. 49, 261-266.
- Moreno, P., Y. L., Solano, G., S. E., 2011, Utilización del subproducto vegetal generado en la elaboración de edulcorantes de stevia como material de relleno reforzante en elastómeros de poliuretano a partir de aceite de higuera. Grupo de Investigación en Polímeros, Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia, 30.
- Nanclares, J., Gil, P., A., Jaramillo, I.F., 2010, Síntesis de Poliuretanos a Partir de Aceite de Higuera y Estudio de su Degradación Térmica. Facultad de Ingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín-Colombia.
- Nieto, S., J., 2005, Cambio climático y protocolo de Kioto: Efectos sobre el empleo, la salud y el medio ambiente. 1-14.
- Obasi, N.A., Ukadilonu, J., Eze, E., Akubugwo And, E.I., Okorie, U.C., 2012, Proximate Composition, Extraction, Characterization and Comparative Assessment of Coconut (Cocos nucifera) and Melon (Cucurbiturbitis citrullus) Seeds and Seed Oils. Department of Science Laboratory Technology, Akanu Ibiam Federal Polytechnic Unwana, Afikpo, Ebonyi State, Nigeria 15(1), 1-9.
- Pascual, V., M. J., Correal, C., E., 1992, La familia Euphorbiaceae Como Fuente de Aceites Vegetales para la Industria Química. Consejería de Agricultura de la Región de Murcia. C.R.I.A. Dpto. Cultivos Zonas Áridas.30105-La Alberca.Murcia 43, 1-10.
- Pascual, V., M. J., Correal, C., E., 1992, La familia Euphorbiaceae Como Fuente de Aceites Vegetales para la Industria Química. Consejería de Agricultura de la Región de Murcia. C.R.I.A. Dpto. Cultivos Zonas Áridas.30105-La Alberca.Murcia 43, 1-10.
- Pérez, R., E. A., Garrido, J., Graciano, N., 2009, Comportamiento de la temperatura de trabajo de un lubricante mineral utilizando aceite de ricino como aditivo. Scientia Et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia 15, 78-82.
- Pita, R., Anadón, A., Martínez, L., M.R., 2004, Ricina: Una fitotoxina de uso potencial como arma. Asociación Española de Toxicología 21, 51-63.
- Quiroz, O., C. M., Botero, O., M. J., Castaño, Z., J. C., 2011, Etiología de la necrosis de los brotes terminales de la higuera (Ricinus Communis L.).
- Ramírez, M.A., 2008, Cultivos para la Producción Sostenible de Biocombustibles: Una Alternativa para la Generación de Empleos e Ingresos. 1-23.

- Ramiro, F., G., silvia, L.J., R., 2007, Plantas medicinales aprobadas en comolombia, 138 p.
- Ravgnani, M.A.S.S., Cardoso, R., Silvia, A.P., 2001, Propuesta de una nueva red de intercambiadores de calor en una planta de extraccion de aceite de soya utilizando analisis pinch, Vol 12.
- Rico, P., H .R, Tapia, V., L. M, Teniente, O., R, Gonzalez, A., A, Hernandez, M., M, Solis, B., J. L, Zamarripa, C., A, 2011, Guia para Cultivar Higierilla (*Ricinus Communis* L.) en Michoacan. Centro de Investigación Regional del Pacifico Centro Campo Experimental Valle de Apatzingán, 1-43.
- Rizzardo, R.A.G., Milfont, M.O., Da Silva, E.M.S., Freitas, B.M., 2012, Apis mellifera Pollination Improves Agronomic Productivity of Anemophilous Castor Bean (*Ricinus communis*). Anais de Academia Brasileira de Ciencias, 1-9.
- Rogelio, O., C., Luz, A., Rios. V., Luz, A., Betancur. J., Diana, M., Ocampo S., 2008, Curso practico de quimica organica enfocado a biologia y alimentos.
- Stratta, J., 2000, biocombustibles: los aceites vegetales como constituyetes prncipales del biodiesel. Investigación y Dearrollo - Departamento de Capacitación y Desarrollo de Mercado, 1-15.
- Thakur, S., Jha, S., Chattoo, B.B., 2011, CastorDB: A Comprehensive Knowledge Base for *Ricinus communis*. Centre for Genome Research, Department of Microbiology and Biotechnology Centre, Faculty of Sciencie, University of Baroda, Vadodara-390002, India, 1-9.
- Trejo, C., E., Maury, L., M. I., 2002, extraccion y caracterizacion del aceite de Poraqueiba sericea Tulasne (UMARI). Facultad de Ingenieria en Industrias Alimentarias de la UNAP. Iquitos-Perú 2, 1-18.
- Valderrama, J.O., 1994, Biotecnologia, Vol 5, 1-89 pp.
- Valero, M.F., Pilido, J.E., Ramirez, A., Cheng, Z., 2008, Estudio de la propiedades mecanicas, termicas, reológicas y morfologia de poliuretanos a partir de aceite de higuerilla modificado por transerterificación. Grupo de Investigación en Polimeros, Escuela de Ingenieria Quimica, Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia 9(2), 102-118.
- Vijaya, K., P., Ramakrishna, Y.S., Bhaskara, R., D. V., Sridhar, G., Srinivasa, R., G., Rao, G.G.S.N., 2005, Use of Remote Sensing for Drought Stress Monitoring, Yield Prediction and Varietal Evaluation in Castor Benas (*Ricinus communis* L.). Central Research Institute for Drylan Agriculture, Santoshnagar, Saidabad (PO), Hyderabad-50 059, India 26, 5525-5534.
- Zamora, F., Durán, N., Medina, M., Torres, D., Acosta, Y., Moreno, R., Silvestre, A., Sánchez, A., Zamora, P., Frank, J., 2011b, Comportamiento Agronómico de Cultivares de Tártago (*Ricinus communis* L.) en el Sector Cubana, Municipio Falcón, Estado Falcón, Venezuela. Multicencias 11, 129-135.