

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La materia prima a partir del cual se extrae aceite son semillas o frutos. En general, toda semilla y fruto contiene aceite, pero sólo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite. La diferente composición y estructura de las mismas condiciona el procesado al que se someten con el fin de extraer el aceite.

Entre las semillas de plantas cultivadas en nuestra región por su aceite, las más conocidas son: el maní, la soja y el girasol.

En cuanto a los frutos oleaginosos, estos provienen principalmente del cocotero (copra) del nogal, de la palma de aceite (palma y palmito) y del olivo (aceitunas).

El ricino, tártago, higuera o castor (*Ricinus Communis*) es una especie perteneciente a la familia de las Euphorbiaceae, originaria de África (Etiopía) de ahí pasa a India y China. Las semillas de ricino son tóxicas para los seres humanos y animales ya que contienen la proteína ricina, aunque esta última se encuentra ausente en el aceite (Berman et al., 2011, citado en Ossa F., 2012).

El ricino se desarrolla fácilmente como una planta “nativa” y puede a menudo ser encontrada en cualquier terreno baldío. Se reproduce de forma silvestre y es considerada como maleza que crece en las cunetas de las carreteras, bordes de arroyos, jardines, tierras de labor. Es un importante recurso natural para la extracción del aceite; sin embargo, en el país aún no existen industrias que se dediquen a este rubro, mucho menos empresas que se dediquen a la fabricación y comercialización de los productos derivados del mismo.

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITE DE RICINO EN MILES DE TONELADAS AÑO

Producción mundial de aceite de ricino en miles de toneladas año

País	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Brasil	70,2	48,7	43,3	52,3	42,5	45,45	63,45
China	101,7	90,2	81,5	83,1	81,4	81	81
India	335,2	351,2	367,6	413	375,8	540	675
Tailandia	4,5	5	5,6	5,7	5,4	5,4	5,4
Países Africanos	21,2	21,9	22,5	23,8	24,4	7,2	7,2
Total	534,3	518,5	522,6	580,3	531,8	679,05	832,5

Fuente: COMPREHENSIVE CASTOR OIL REPORT, 2013, citado en Ramos D., 2014

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE SEMILLAS DE RICINO 2011-2014

Producción mundial de semillas de ricino 2011-2014

Países	Producción en miles de toneladas		
	2011-12	2012-13	2013-14
Brasil	141	25	30
China	180	180	180
India	1580	1070	1200
Otros países	105	106	110
Total	2006	1381	1520

Fuente: Castor Oil Company, 2013. *Preview of Comprehensive Castor Oil Report*

Un indicador importante a tomar en cuenta para determinar si el mercado internacional ofrece adecuadas oportunidades para exportar es el precio, éste, según información de Trade Map (2009), asciende a los 3800 \$us/ Tonelada ofrecido por Irlanda, seguido muy de cerca por Reino Unido, Canadá, Dinamarca y Japón (Diamond A.F., 2010).

SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE RICINO EN BOLIVIA

El desafío más importante que tiene que enfrentar el país es orientar a situar el tema de la generación de agroenergías y biocombustibles a un nivel de prioridad.

Los cultivos más importantes y de mayor eficiencia que se pueden utilizar para la elaboración de energías alternativas son las especies como soya, girasol, piñón y ricino; además es una forma de darle valor agregado y uso local a la producción de los derivados de estas especies oleaginosas.

Superficie, producción y rendimiento de ricino en Bolivia

Departamento	Superficie (ha)		Producción (TM)		Rendimiento (Kg/ha)	
	2003/04 (p)	2004/05 (e)	2003/04 (p)	2004/05 (e)	2003/04 (p)	2004/05 (e)
La Paz	0	0	0	0	0	0
Oruro	0	0	0	0	0	0
Pando	0	0	0	0	0	0
Potosí	0	0	0	0	0	0
Cochabamba	0	0	0	0	0	0
Tarija	0	0	0	0	0	0
Santa Cruz	5000	6000	6500	6000	1300	1000
Chuquisaca	0	0	0	0	0	0
Beni	0	0	0	0	0	0

p): Preliminar, e): Estimado

Fuente: Lijerón J. C., 2008 *biocombustibles sostenibles en Bolivia*.

En base a la tabla anterior se puede evidenciar el departamento de Santa Cruz con una superficie aproximada de 6000 hectáreas de cultivo de ricino; también se puede ver a simple vista poblaciones silvestres de esta oleaginosa en la provincia Hernando Siles del departamento de Chuquisaca y la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, datos que no aparecen en la tabla porque son producciones silvestres de menor significancia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener aceite de ricino de uso industrial, en forma experimental, a partir de semillas de ricino (*Ricinus Communis*) del Chaco Boliviano por el método de extracción con solvente (*éter de petróleo*).

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Caracterizar la materia prima: Contenido humedad, contenido de materia seca, contenido materia grasa y contenido de fibra.
- Realizar un diseño factorial para determinar las variables más significativas y el número de experimentos necesarios para la extracción del aceite de ricino.
- Realizar la fase experimental del proceso de obtención de aceite de ricino de uso industrial a escala de laboratorio a partir de semillas de (*Ricinus Communis*).

- Realizar el balance de materia y energía en el proceso de obtención de aceite de ricino.
- Caracterizar el producto (aceite de ricino) obtenido a partir de semillas de (*Ricinus Communis*): Densidad, índice de refracción, acidez, índice de peróxidos, humedad y materia volátil, cenizas.

JUSTIFICACIÓN

En la región del Chaco Boliviano el ricino crece de manera silvestre, su aprovechamiento es mínimo en la medicina casera; los usos de este aceite hacen que sea un rubro interesante para ampliar la frontera agrícola que después pueden convertirse en proyectos semi industriales o industriales, dando a la región y a los productores una alternativa tanto para desarrollo de los productores como de la región.

A través de la obtención del aceite de ricino se logrará dar valor agregado a la materia prima que se encuentra olvidada y que puede ser aplicada en la industria de pinturas, cosméticos, lubricantes, barnices y elastómeros; por lo cual ofrece a los agricultores una nueva alternativa para su desarrollo económico y de alguna manera mejorar la calidad de vida sin afectar sus actividades cotidianas que estos realizan.

En el ámbito tecnológico actualmente el país no cuenta con industrias que realicen la extracción del aceite de ricino, la presente investigación servirá para el desarrollo de otros proyectos y ayudará a generar nuevas ideas, recomendaciones, innovaciones a futuros estudios.

La población en su conjunto donde se haga la respectiva extracción de la semilla de ricino, contará con un precedente o alternativa para un futuro, teniendo a mano la manera de transformarla en un producto de mayor valor agregado, con la consecuente mejora de su condición de vida.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. GENERALIDADES DE LOS ACEITE VEGETALES

1.1. DEFINICIÓN

Los aceites vegetales son compuestos orgánicos obtenidos a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Entre los más usados están el de: Soja, palma, girasol, sésamo, maní, oliva y canola. Muchos son consumidos directamente o usados como ingredientes en las comidas, pero no todos son comestibles como el aceite de castor o algodón (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).

Los distintos tipos de aceites vegetales más comunes que pueden ser extraído sea de la semilla o del fruto son los siguientes:

- **Aceite de coco y de palma:** Estos aceites son ricos en grasa saturada que abundan en los alimentos de origen animal (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de colza, aceite de cártamo, aceite de sésamo y aceite de arroz:** Se obtienen de la semilla y son muy ricos en ácidos grasos linoléicos insaturados (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de germen de trigo:** Es rico en vitamina A, E y ácidos grasos polinsaturados. Además, es un precursor de la vitamina D (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de girasol:** Es rico en ácido linoléico, lo es también en vitamina E. El aceite es extraído de las pepas de girasol (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de nuez:** Se obtiene por presión en frío y no precisa refinado es el más rico en ácido linoléico, en vitamina E y en ácidos grasos polinsaturados (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de maíz:** El aceite de germen de maíz es un aceite muy interesante porque es muy rico en vitamina E (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).

- **Aceite de maní:** Este aceite es de color muy claro y su idoneidad para aguantar altas temperaturas (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de oliva:** Es un aceite vegetal de uso principalmente culinario que se extrae del fruto recién recolectado del olivo (*Olea europaea*) denominada oliva o aceituna (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de sésamo:** Contiene igual proporción de ácido oleico (mono insaturado) y linoleico (poliinsaturado). No precisa refinado, contiene un antioxidante natural, que lo hace muy estable y resistente a la oxidación, por lo que soporta varios años sin enranciarse (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).
- **Aceite de soja:** De sabor neutro, es rico en grasas poliinsaturadas, especialmente en ácido linoleico. Es un aceite especial, junto con el germen de trigo. Es riquísimo en vitamina A y en vitamina E (Rojas A. Marín L. y Oropeza Y., 2010).

1.1.1. ESPECIES VEGETALES PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE VEGETAL NO COMESTIBLE

Las fuentes alternativas, tomando en cuenta las especies más adaptadas a las condiciones del país donde mejor se desarrollan, y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos; en este sentido es destacable la utilización de los aceites de *Camelina sativa*, *Crambe abyssinica* y *Jatropha curcas* (Robalino C.S., 2009).

De acuerdo al proceso los aceites comestibles y no comestibles atraviesan las diversas etapas, desde la obtención hasta su refinación, estos son:

- **Aceite vegetal:** Es un producto constituido por esterres glicéricos de ácidos grasos y sus fosfátidos asociados, esteroides, alcoholes, hidrocarburos y pigmentos, obtenidos de semillas oleaginosas o frutos por procesos industriales tales como extrusión, extracción de solventes orgánicos, calentamiento con vapor de agua, o cualquier combinación adecuada de esos procesos (Simons M. C., 2010).
- **Aceite vegetal crudo:** El aceite vegetal es fundamental aquel que proviene de la extracción por solvente, que contiene los elementos que le son propios, y cuya

composición es la que corresponde a la cosecha y a la procedencia de las semillas oleaginosas o frutos de los que fue extraído (Simons M. C., 2010).

- **Aceite vegetal neutralizado:** El aceite vegetal crudo que ha sido sometido a procesos de eliminación de mucílagos y desacidificación por medios físicos o químicos, hasta que el valor de la acidez cumpla con lo indicado por la norma de especificaciones que corresponda (Simons M. C., 2010).
- **Aceite vegetal semirrefinado:** El aceite vegetal crudo que ha sido sometido a los siguientes procesos: eliminación de mucílagos y desacidificación por medios físicos o químicos, decoloración y filtrado (Simons M. C., 2010).
- **Aceite vegetal refinado:** El aceite vegetal semirrefinado que ha sido sometido a procesos de desodorización y eventualmente enfriado y refinado (Simons M. C., 2010).

1.2. ORIGEN DEL RICINO

El árbol de ricino es originario del Norte de África, lugar de donde se lo conoce hace más de 6000 años. En el antiguo Egipto se utilizaba la semilla para extraer aceite, cuando aún no se conocía el aceite de oliva. Posteriormente pasó a ser cultivado en el resto del mundo. Generalmente se lo encuentra en tierras cálidas y templadas de regiones tropicales y por ello no se adapta bien en los locales muy fríos (Diamond A. F., 2010).

Sin embargo, a pesar que el ricino es considerado como un cultivo de importancia y conocido por su versatilidad de usos en diversas regiones del mundo, su cultivo no es realizado a gran escala, cuya principal razón ha sido la presencia de sustancias tóxicas en diversos órganos de la planta (CastorOil.in, 2010 citado en Córdoba O. J., 2012).

1.2.1. MORFOLOGÍA

Este arbusto crece bien en suelos toscos o pedregosos y rojo profundos, desarrollando y fortaleciendo inicialmente su sistema de fijación y absorción, para soportar el desarrollo vegetativo y productivo de la planta (Correa M.L., 2014).

Figura 1-1: Árbol de ricino



Fuente: Elaboración propia, 2015

- **Raíz**

El sistema radical es pivotante y presenta raíces ramificadas y superficiales, la raíz puede alcanzar profundidades hasta de 6 metros, en plantas de ciclo perenne. En plantas anuales, la raíz es fibrosa y su crecimiento es limitado por exceso de humedad o mal drenaje (Amorim et al., 2001 citado en Córdoba O. J., 2012).

- **Tallo**

El tallo es erecto, circular y parcialmente hueco; ramificado y varía en longitud; de color verde, rojo, o morado y con la presencia o ausencia de cera sobre este órgano. El tallo está bien definido por un número de nudos, a partir de los cuales emerge una hoja; los entrenudos tienden a ser cortos en la base e incrementar en longitud a una mayor altura sobre la planta (Weiss., 1983 citado en Córdoba O. J., 2012).

- **Hoja**

Es una planta bien foliada y las hojas se distribuyen de forma alterna; son palmadas, con 5 a 11 lóbulos acuminados, las márgenes son cerradas, con o sin cera y varían en longitud y coloración, desde el verde, rojo, hasta el morado (Weiss., 1983 citado en Córdoba O. J., 2012).

- **Flor**

Las flores son normalmente monoicas, dispuestas en inflorescencias tipo racimo, en la cual la parte basal está ocupada por flores masculinas y el ápice por las femeninas, la relación normal de flores femeninas y masculinas es 1:1; sin embargo, esta proporción puede variar en función de las condiciones ambientales (Moshkin, 1986 citado en Córdoba O. J., 2012).

- **Fruto**

El fruto es globuloso, trilobulado, casi siempre cubierto por abundantes púas, que le dan un aspecto erizado; tiene tres cavidades, cada una con una semilla, grande y jaspeada, de superficie lisa y brillante, rematada por una excrecencia y que contiene una toxina llamada ricina (Robalino C.S., 2009).

- **Semilla**

La semilla es oval, rara vez esférica o alargada, este órgano está cubierto por un tegumento (testa) duro y quebradizo, por debajo del cual se encuentra una fina capa que envuelve el albumen, que es blanco, compacto y rico en aceite (Beltrão *et al.*, 2001; Weiss, 1983., citado en Córdoba O. J., 2012).

1.3. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE RICINO

Está compuesta por una resina que es altamente tóxica para el hombre y los animales, debiendo tener cuidado con los residuos de este compuesto en la extracción del aceite.

Tabla I-1: Composición de la semilla de ricino

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE (%)
Aceite	46,19
Almidón	20,00
Albúmina	0,50
Goma	4,31
Resina Bruta y Principios Amargos	1,91
Fibra Leñosa	20,00
Agua	7,09
TOTAL	100,00

Fuente: Feria de ciencias Tezoyuca-México, 2009. *Biocombustible a través de ricinus communis*

1.4. PRODUCTO: ACEITE DE RICINO

1.4.1. DEFINICIÓN DEL ACEITE DE RICINO

El aceite de ricino es un líquido viscoso, amarillo pálido, no volátil, con un sabor blando y es algunas veces utilizado como purgante. Tiene un leve olor característico mientras que el aceite crudo sabe ligeramente acre causando náuseas después de saborear. (Ogunniyi D.S., 2006 citado en Cabrales R.A., 2013).

Relativo a otros aceites vegetales, tiene una buena durabilidad y no se vuelve rancio a menos que sea sometido a calor excesivo, el aceite de ricino es el único aceite comercial que contiene una cantidad considerable de hidroxiácidos (Cabrales R.A., 2013).

1.4.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE RICINO

Desde el punto de vista de su composición química el aceite de ricino se diferencia del resto de los aceites vegetales comunes (soja, girasol, etc.) por su alto contenido del ácido graso conocido como ricinoleico, o 12- hidroxioleico, por este motivo la mayoría de los triglicéridos que lo constituyen contienen dos o tres ácidos ricinoleicos; en la tabla I-2 se muestra la composición química de los ácidos grasos del aceite de ricino.

Tabla I-2: Composición química de ácidos grasos del aceite de ricino

Ácido graso		Proporción	
		Según DIN 55939 (%)	Según Bockisch (%)
Ácido ricinoleico	$C_{18}H_{34}O_3$	86-92	82-90
Ácido linoleico	$C_{18}H_{32}O_2$	2,8-6	3-6
Ácido oleico	$C_{18}H_{34}O_2$	2,5-4	2-4
Ácido palmítico	$C_{16}H_{32}O_2$	1-1,5	1-1,5
Ácido esteárico	$C_{18}H_{36}O_2$	0,5-1,5	-
Ácido linolenico	$C_{18}H_{30}O_2$	0,2-0,8	0,2-0,6

Fuente: Sánchez I.A. y Huertas K., 2012. *Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de semillas de ricinus communis. (Higuerilla) modificadas genéticamente y cultivadas en el eje cafetero.*

El alto contenido de ácido ricinoleico es la razón para el valor versátil del aceite de ricino en la tecnología ya que la presencia de grupos hidroxilo y dobles enlaces hace que el aceite sea adecuado para muchas modificaciones y reacciones. En comparación

con otros aceites vegetales, el aceite de ricino tiene una muy alta proporción de ácidos grasos insaturados (Sánchez I.A. y Huertas K., 2012).

1.4.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACEITE DE RICINO

El aceite de ricino es un aceite inodoro, viscoso y no secante, que en su estado natural tiene un sabor suave inicialmente y después es desagradable; es de color amarillo-verde a amarillo-marrón. En su estado procesado también puede ser claro. A diferencia de otros aceites se caracteriza por su indigestibilidad, solubilidad en alcoholes en cualquier proporción pero tiene una limitada solubilidad en disolventes alifáticos de petróleo, alta higroscopicidad y viscosidad extraordinariamente alta, el aceite de ricino es un aceite no secante. Los largos tiempos de almacenamiento no representan un problema en condiciones herméticas (Ogunniyi D.S. Y Scholz v., 2006, citado en Sánchez I.A. y Huertas K., 2012).

En la tabla I-3 se muestran las propiedades fisicoquímicas del aceite, las mismas que dependen del tipo de semilla y del método usado para su extracción, pero en general los valores de las propiedades fisicoquímicas se encuentran entre los valores que se presentan a continuación.

Tabla I-3: Características fisicoquímicas del aceite de ricino

Propiedad	Valor
Densidad relativa a 25 °C	0,952-0,965
Viscosidad a 25 °C, cSt	6,3-8,9
Índice de acidez, mg KOH/g	2
Índice de yodo, mgl/g	82-90
Índice de saponificación, mgKOH/g de aceite	176-187
Materia insaponificable, %	0,8
Índice de peróxido, meq/kg	5
Índice de refracción a 25°C	1,47

Fuente: Castor Oil Report, 2010, citado en Lombeida N.A., 2015
Diseño de un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de ricino (Ricinus communis)

1.5. APLICACIONES Y USOS DEL ACEITE DE RICINO

Las aplicaciones industriales del aceite de ricino son innumerables a tal punto que la química de este aceite se ha denominado como ricinoquímica. Éste, es usado en la industria de tintas, papel, textiles, cosméticos, lubricantes, farmacéutica, plásticos, en el sector agropecuario, telecomunicaciones, entre otros.

Tabla I-4: Principales usos del aceite de ricino

Sector de uso	Producto	Sector de uso	Producto
Pinturas y tintas	Pinturas Plastificantes y recubrimientos Barnices Removedores Aditivos Glicerina Poliamidas	Farmacéutica	Anti caspa Emoliente Emulsificante Encapsulante Expectorante Laxativo y purgante Glicerina
Productos químicos para textiles	Materiales para terminados textiles Nylon, fibras, sintéticas y resinas Detergentes sintéticos	Perfumería	Heptaldehido Ácido heptanoico Alcohol heptílico Acetato de heptilo
Cosméticos	Labiales Tónicos capilares Champús Brillos Emulsificantes Desodorantes Ceras	Lubricantes	Grasa lubricante Lubricantes para autos Fluidos hidráulicos Aditivos Agentes anticorrosión
Plásticos y caucho	Películas plásticas Adhesivos Resinas sintéticas Plastificantes	Electrónica y telecomunicaciones	Polímeros Poliuretanos Aislamientos Poliolos
Alimentario	Recipientes Surfactantes Aditivos	Industria papelera	Antiespumante Aditivo a prueba de agua
Agricultura	Fertilizante orgánico	Otros	Sellante Componente de vidrios de seguridad Jabones Sales metálicas

Fuente: (Córdoba O. J. 2012). *Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuierilla (Ricinus communis L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos*

1.6. MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES

Los cinco procesos más comunes para recuperar el aceite a partir de semillas oleaginosas son el prensado hidráulico, el prensado expeller, emulsión, extracción con solventes y recientemente la extracción en condiciones supercríticas (Grasso F.V., 2013).

1.6.1. PROCESO DE EXTRACCIÓN MEDIANTE PRENSA HIDRÁULICA

El prensado hidráulico, el proceso más antiguo, se originó en Europa en 1795. Debido a la producción intensiva de aceites su uso ha declinado con el paso de los años y actualmente no es muy utilizado (Grasso F.V., 2013).

Figura 1-2: Proceso de extracción mediante prensado hidráulico



Fuente: Grasso F.V., 2013. *Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna.*

En este tipo de prensa, la salida del aceite es a través de agujeros ubicados en el extremo de la cámara cilíndrica de la prensa. Las semillas reciben un aumento de compresión en dirección a la cabeza de la prensa. El aceite se extrae de las semillas cerca de los orificios de salida y drena a través de ellos (Gómez S. y Villegas S. citado en Delgado k., 2012).

Para el prensado de las semillas se siguen los siguientes pasos:

- Colocar las semillas en el recipiente de extracción.

- Colocar sobre las semillas, y dentro del recipiente de extracción, el pistón con la varilla hacia arriba.
- Colocar el conjunto armado dentro del recipiente para recolección de aceite.
- Con esto hecho se está en condiciones de prensar las semillas mediante el bombeo del gato hidráulico (Delgado, 2012).

1.6.2. PROCESO DE EXTRACCIÓN MEDIANTE PRENSA EXPELLER

Las prensas de tornillo como los expellers han reemplazado a los originales equipos hidráulicos y son usadas para una amplia variedad de materiales oleaginosos.

Figura 1-3: Proceso de extracción mediante prensa de tornillo (expellers)



Fuente: Grasso F.V., 2013. *Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna.*

Una prensa expeller consiste en un solo husillo que gira libremente dentro de un cilindro, barril o camisa; estos dos elementos interactúan a manera de una bomba elevando la presión de la mezcla, extrayendo el aceite y drenándolo a través de las ranuras u orificios y liberando la torta por medio de un agujero llamado dado; para elevar la presión en un tornillo simple existen variaciones de geometría que influyen directamente en el comportamiento de la mezcla mientras permanece dentro del cilindro (Gómez S. y Villegas S. citado en Delgado k., 2012).

Un expeller consiste en tres regiones distintas: una zona que permite la alimentación del material a procesar; luego una zona por donde pasa el material que ingresó ya

fundido y por último una zona donde la acumulación de presión por el proceso debe ser liberada (Gómez S. y Villegas S. citado en Delgado k., 2012).

Para materiales que contienen relativamente altos contenidos de aceite se llevan a cabo dos procesos, los cuales consisten en una etapa continua de pre-prensado seguida de extracción por solvente. La principal ventaja del pre-prensado es que permite realizar extracción por solvente a materiales que son muy dificultosos de procesar por métodos de extracción directa. Estos procesos combinados son usados, generalmente, con oleaginosas de alto contenido en aceite (alrededor de 35 %) como girasol, tung, algodón y germen de maíz (Grasso F.V., 2013).

1.6.3. PROCESO DE EXTRACCIÓN MEDIANTE EMULSIÓN

En la extracción del aceite, las semillas molidas se mezclan con agua caliente y se hierven para permitir que el aceite flote y sea recogido. Las semillas molidas se mezclan con agua caliente para hacer una pasta que se amasa en una prensa hasta que el aceite se separa en forma de emulsión (Sayegh A.N. y Cárdenas L.G., 2011).

Se obtiene de esta manera el aceite crudo, el cual se almacena en tanque o depósitos de acero inoxidable. Posteriormente, el aceite es sometido a diferentes procesos de refinado según su uso en la industria (Sayegh A.N. y Cárdenas L.G., 2011).

1.6.4. PROCESO DE EXTRACCIÓN EN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS

La extracción supercrítica es una operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto supercrítico del solvente; esta extracción permite controlar y manipular en condiciones de presión y temperatura a las de su punto crítico. Se considera punto crítico aquel en el que las fases líquidas y vapor se vuelven indistintas, esto es, la fase crítica, determinada normalmente por los parámetros: presión crítica, temperatura crítica y densidad crítica (Esquível M, y Bernardo M. G., 2010).

En esta fase según (Esquível M, y Bernardo M. G., 2010), el fluido tiene propiedades típicas que lo hacen especialmente indicado como solvente de extracción; así:

- El hecho de poseer viscosidades próximas a las del gas, aumenta su poder de difusión.
- Densidades próximas a las del líquido, favorece la interacción entre las moléculas de solvente y soluto.
- Con pequeñas variaciones de presión y temperatura se puede variar la densidad del fluido controlando así su poder solvente.
- La separación del solvente puede ser hecha sencillamente por variación de la presión y/o temperatura.
- Poseer coeficientes de difusión próximos a los del líquido, lo que facilita el fenómeno de transporte.

Los fluidos utilizados como solventes de extracción supercrítico son el dióxido de carbono, propano, agua, amoníaco, hexano, etileno, tolueno y el óxido nitroso.

De todos los solventes referidos, el más utilizado es sin duda alguna el dióxido de carbono, a causa de los bajos valores de sus parámetros críticos (especialmente la temperatura, que permite su utilización en extracciones con productos volátiles o que se alteran químicamente a altas temperaturas) (Esquível M, y Bernardo M. G., 2010).

Esta técnica de desarrollo reciente, tiene la ventaja de no alterar la composición del aceite, ni de dejar ningún resto de disolvente, sin embargo los costos del equipo y operación son elevados debido al empleo de altas presiones y equipos herméticos para el trabajo con gases.

1.6.5. PROCESO DE EXTRACCIÓN MEDIANTE DISOLVENTES ORGÁNICOS

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.

Este es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceites vegetales y puede reducir el contenido de aceite hasta un 1%. A la extracción debe preceder la limpieza y trituración de la semilla, esta trituración tiene por finalidad abrir las células y facilitar la salida del aceite (Balderrama J, Mery A, Aravena F., 1991)

Este proceso de extracción, emplea solventes como hexano, acetona, benceno, tolueno, etanol y éter de petróleo. El solvente se coloca en un balón, cuando alcanza el punto de ebullición se evapora y gracias al refrigerante se condensa. El condensado cae sobre un recipiente, que tiene un cartucho poroso con la muestra en su interior, hasta que se produce el reflujo y el solvente con el material extraído vuelve al balón. Este proceso es repetitivo hasta que la muestra queda agotada, el aceite extraído se concentra en el balón. (Núñez, 2008; Giraldo *et al.*, 2010 citado en Correa M.L., 2014).

En la figura 1-4 se muestra la extracción por solvente (Soxhlet).

Figura 1-4: Equipo de Soxhlet



Fuente: Sánchez I.A. y Huerta K., 2012. *Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de semillas de ricinus communis. (Higuerilla) modificadas genéticamente y cultivadas en el eje cafetero.*

1.7. TEORÍA DE LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

1.7.1. DEFINICIÓN

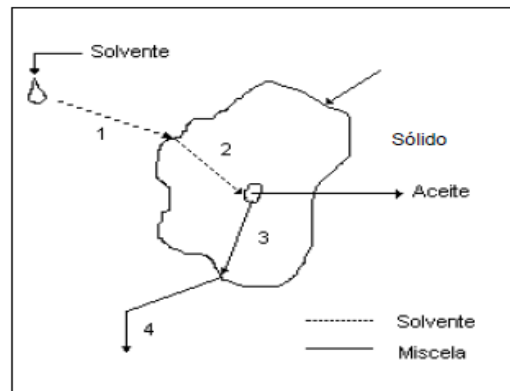
Es un proceso de separación que consta de la transferencia de solutos de una matriz sólida hacia un disolvente. Es una operación utilizada extensivamente para la recuperación de importantes compuestos alimentarios como son: la sacarosa de la caña o remolacha, lípidos de oleaginosas, proteínas de la torta de oleaginosas, fotoquímicos de plantas, e hidrocoloides funcionales de algas, entre otros (Perea M.J., 2011).

El principio de la extracción es poner en contacto la matriz sólida porosa (semillas o granos) con un disolvente puro o un disolvente/mezcla de aceites, para ser transferido hacia un medio fluido, esta extracción es más lenta que en el sistema mecánico. Aunque

el principio de la extracción por disolvente es relativamente simple, ésta implica un mecanismo complejo, especialmente por los materiales que producen aceite, a causa de la estructura celular de los cuerpos vegetales; por lo tanto, es difícil explicar todo el fenómeno que toma lugar durante la extracción con el disolvente con una simple teoría (Perea M.J., 2011).

El objetivo del proceso de extracción sólido-líquido es el de reducir el contenido de aceite en el sólido al mínimo nivel posible con el mínimo uso de solvente, para esto deben producirse cuatro pasos bien definidos (Grasso F., 2013).

Figura 1-5: Mecanismo de extracción por solvente de aceite a partir de sólidos



Fuente: Grasso F., 2013. *Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna*

- 1).- El solvente debe estar en contacto con la superficie del sólido.
- 2).- El solvente debe difundir dentro del sólido y disolver el aceite.
- 3).- La mezcla de aceite y solvente debe luego difundir nuevamente hacia la superficie.
- 4).- La mezcla debe drenar a través de la capa de sólidos.

Existen dos fuentes para el "aceite residual" que queda en el sólido luego de completarse el proceso de extracción. La primera es el "aceite no extraído" o aquel aceite que no ha sido extraído al experimentar los pasos 1 y 2 y la segunda es el "aceite superficial" o aquel aceite que ha completado los pasos 1, 2 y 3, pero no el 4, debido a las características de escaso drenaje de la capa de sólidos en el extractor (Grasso F., 2013).

Para reducir al mínimo el "aceite no extraído", el sólido debe prepararse para romper todas las células oleíferas y proporcionar la mayor área de contacto entre el solvente y el aceite; mientras que para reducir al mínimo el "aceite superficial" el sólido debe prepararse para proporcionar una capa que permita drenaje eficiente (Grasso F., 2013).

Preparar el sólido para minimizar el "aceite no extraído" dará lugar a un alto porcentaje de "aceite superficial" y viceversa. Para proporcionar la máxima ruptura de células y área de contacto entre el solvente y el aceite sería aconsejable moler el sólido al menor tamaño posible, pero esto resultaría en una capa compacta que no permitiría un buen drenaje. De manera similar, para dar máximo drenaje y en consecuencia, mínimo "aceite superficial", un sólido grueso sería mejor, pero esto reduciría la ruptura de células y el área de contacto del solvente y el aceite (Grasso F., 2013).

1.7.1.1. TRANSPORTE DIFUSIVO

El éxito de un proceso de extracción es en función de qué tan rápido se disuelve el compuesto a extraer y del equilibrio que se alcanza en la fase del disolvente, diferentes fenómenos están involucrados en el paso del soluto desde el sólido hasta el seno del solvente: El aceite difunde a través de los poros internos hasta la superficie del sólido (transporte de masa interno) y luego pasa al seno del líquido por un mecanismo convectivo producido por la diferencia de concentración entre la solución ocluida en los poros y el seno de la solución (transporte externo) (Grasso F., 2013).

1.7.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

La estimación del coeficiente de difusión es importante para determinar la velocidad de transferencia de masa. En los materiales celulares, las macromoléculas pueden estar enlazadas químicamente a la matriz sólida, pero la velocidad de estas reacciones pueden ser limitadas por la difusión. Para entender estos procesos se requiere conocimiento sobre la naturaleza y propiedades de los efectos gobernados por la difusión. La difusión es un proceso físico mediante el cual cierta masa es transferida bajo la influencia de gradientes de concentración (Schwartzberg y Chao, 1982. Citado en Grasso F.V., 2013).

1.7.2.1. MODELO MATEMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

Según (Balbin Y. et al., 2015) la difusión molecular puede ser definida por la segunda ley de Fick para estado no estacionario como:

$$\left(\frac{\partial c}{\partial \theta}\right) = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right) \quad (Ec. 1-1)$$

Donde:

C = Concentración de soluto a la distancia z del origen y al tiempo θ .

θ = Tiempo.

D = Coeficiente de difusión, cantidad de material que pasa por un plano de unidad de área en un unidad de tiempo debido a una gradiente de concentración de la unidad.

Para obtener la difusión de acuerdo a la ley de Fick ciertas condiciones deben ser establecidas (Fan y col., 1948 citado en Balbin Y. et al., 2015).

- D debe ser constante e independiente del espesor.
- La forma de la lámina debe ser razonablemente homogénea.
- La distribución del aceite en la célula debe ser uniforme y la difusión a través de la orillas de la placa debe ser despreciable.
- El grosor de la muestra debe ser uniforme y el mismo para todas las muestras que son extraídas al mismo tiempo.

Si la lámina es porosa, y las condiciones anteriores se cumplen, una de las soluciones encontradas para la ecuación (1-1) para una placa infinita está dada por (Cranck 1957 citado en Balbin Y. et al., 2015), que corresponde al flujo en una sola dirección, solución correspondiente a las condiciones límite de:

$$c = 0, \quad z = \pm l, \quad q \geq 0, \quad c = c_0, \quad -l < z < l$$

La relación entre las concentraciones c_i del aceite en el disolvente puede convertirse a una relación entre las cantidades de aceite por unidad de volumen del sólido q_i :

Quedando la solución representada en la ecuación (1-2).

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\Pi^2} \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} * e^{-\frac{D\theta}{(2l)^2} (2n+1)^2} \quad \text{Ec. (1-2)}$$

Donde:

θ = Tiempo de extracción, s.

q_0 = Cantidad inicial de aceite en el sólido cuando $q = 0$

q_{θ} = Cantidad de aceite por unidad de sólido a q min, g/g s.s.

$2L$ = Espesor de la muestra sujeta a extracción, m.

D = Coeficiente de difusión m^2/s .

n = Índice de sumatoria.

La serie representada por la ecuación (1-2) converge rápidamente y así que pocos términos (n) son con frecuencia suficiente para los cálculos prácticos (Treybal, 1990 citado en Balbin Y. et al., 2015).

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\Pi^2} \left(e^{-\frac{D\theta\Pi^2}{(2l)^2}} + \frac{1}{9} e^{-\frac{9D\theta\Pi^2}{(2l)^2}} + \frac{1}{25} e^{-\frac{25D\theta\Pi^2}{(2l)^2}} + \dots \right) \quad (\text{Ec.1-3})$$

Considerando estado no estacionario y partículas de geometría esféricas, suspendidas en un medio de concentración constante sin restricción de volumen, el primer término es suficiente y la ecuación se reduce a:

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\Pi^2} e^{-\Pi^2 \frac{D\theta}{(2l)^2}} \quad (\text{Ec.1-4})$$

$$\text{Entonces:} \quad \log \frac{q_{\theta}}{q_0} = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta \quad (\text{Ec.1-5})$$

Donde:

a = Constante obtenida a partir de regresión lineal de valores experimentales.

1.7.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN

- **Tamaño de partícula:** Es importante tener un tamaño adecuado de las partículas sólidas, de tal manera que se tenga un material particulado que alcance una buena superficie de contacto, sin ser un material muy fino que dificulte su manipulación e incremente la energía para su reducción de tamaño. De ahí la importancia del tamaño de la partícula para incrementar el área de contacto entre el sólido y el líquido extractor, favoreciendo la velocidad de transferencia de materia del sólido al solvente. Así mismo, se ve favorecida la difusión del soluto hacia el solvente por la menor distancia que ha de recorrer el soluto por el interior del sólido (Simons M. C., 2010).
- **Selectividad del líquido extractor o solvente:** El líquido escogido debe ser un solvente selectivo, con una viscosidad lo suficientemente baja para facilitar su flujo a través del sólido y de bajo punto de ebullición para que el extracto pueda concentrarse por la evaporación del solvente (Lawrence J. 1984 citado en Simons M. C., 2010).

Por lo general, se utiliza un solvente relativamente puro, pero a medida que transcurre la extracción, la concentración del soluto aumentará y la velocidad de extracción disminuirá progresivamente, en primer lugar debido a la disminución del gradiente de concentración y en segundo lugar por el aumento de la viscosidad de la disolución (Simons M. C., 2010).
- **Temperatura de extracción:** Siempre es un factor favorecedor del proceso para la velocidad de extracción. Y por lo general ha de realizarse a la temperatura de ebullición del solvente, para el caso del éter de petróleo cuya temperatura de ebullición es de 70 °C, de modo que se produce la mayor solubilidad del soluto en el disolvente. Es por esa razón que a temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor; sabiendo que se da mejor extracción a baja viscosidad, esto incrementa la rapidez de extracción (Simons M. C., 2010).
- **Tiempo de extracción:** El tiempo de extracción es un factor muy importante y debe ser suficiente para permitir la separación de los compuestos de interés, aunque se

debe prestar cuidado para que no sea excesivo, por lo que se determinará el tiempo óptimo de extracción (Simons M. C., 2010).

Sin embargo el tiempo de extracción está relacionado con el tamaño de la partícula y la calidad del solvente, para alcanzar un determinado rendimiento tiene su efecto en el tamaño de los equipos de extracción y en el costo de producción (Simons M. C., 2010).

- **Agitación del fluido:** La agitación del solvente es importante, ya que aumenta la difusión de remolino, incrementando la transferencia del material desde la superficie de las partículas hacia la masa de la disolución.

Además, la agitación evita la sedimentación con las suspensiones de pequeñas partículas y hace que se utilice de una forma más eficaz la superficie de contacto (Simons M. C., 2010).

1.8. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE EXTRACCIÓN Y CALIDAD DEL ACEITE EXTRAÍDO

Las diferentes características y técnicas influyen en el rendimiento y la calidad de extracción del aceite; las mismas se muestra en la tabla I-5.

Tabla I-5: Rendimiento y calidad del aceite extraído

Proceso	Rendimiento (%)	Calidad
Extracción mediante prensa hidráulica.	60-65	<ul style="list-style-type: none"> • Menor cantidad de formación de mucílago. • Acidez relativamente baja.
Extracción mediante prensa expeller.	68-80	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor cantidad de impurezas. • Turbidez en el aceite.
Extracción mediante emulsión.	35-40	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del aceite. • Formación de espuma. • Alteración en la viscosidad.
Extracción mediante condiciones supercríticas.	90-94	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de líquidos supercríticos inertes que no producen ninguna alteración en el aceite.
Extracción mediante disolventes orgánicos.	95-99	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de trazas que podrían quedar de solvente en el aceite si es que no se hace una adecuada separación solvente/aceite.

Fuente: Kemper, 2005 citado en Lombeida N.A. 2015. *Diseño de un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de ricino (Ricinus communis)*

1.9. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE RICINO MEDIANTE EL MÉTODO SÓLIDO-LÍQUIDO

La extracción por solventes es una operación unitaria que radica en utilizar un solvente para extraer triacilgliceroles de la semilla, dando una difusión del solvente en la materia prima que contiene al aceite. El proceso completo consiste en:

- **Recolección de frutos:** Se cosechan los frutos de las plantas de ricino.
- **Selección de frutos maduros:** Se selecciona solamente los frutos que estén de color castaño o café claros; se descartan aquellos frutos de color verde o en color rojizo y se separan los elementos extraños que se puedan mezclar durante la cosecha.
- **Descascarado:** La semilla está constituida por fibra, cáscara y almendra; para poder procesar esta semilla es necesario realizar la operación de descascarillado el cual tiene por finalidad romper la cascarilla externa de la semilla, recuperando la fibra y la almendra presentes en ésta ya que la cáscara dificulta el proceso de extracción, esta operación se la realiza de manera manual.
- **Trituración de las semillas:** Proceso en el que se utiliza un molino manual de rodillos para triturarlas el cual ayuda a extraer el aceite más rápidamente, cuando la semilla se somete a una disminución de tamaño de partícula aumentando el área lateral de la misma.
- **Tamizado de las semillas:** El objetivo del tamizado es poder determinar el tamaño promedio de partículas de las semillas de ricino trituradas.
- **Carga de semillas trituradas al extractor Soxhlet:** Introducir la muestra de almendra pura al equipo Soxhlet para su respectivo proceso de extracción.

1.10. SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE RICINO

Para la selección del método se aplica rangos de valores que se emplean en la matriz de decisión que se muestra en la tabla I-6, que son los siguientes:

Tabla I-6: Rango de valores para la matriz de decisión

Rangos de temperatura y tiempo		Costo		Calidad del aceite obtenido		Toxicidad de los solventes	
No son accesibles	0	Muy alto	0	Pésima	0	Sí son tóxicos	0
Sí son accesibles	10	Alto	2	Mala	2	No son tóxicos	10
		Medio	4	Regular	4		
		Bajo	6	Buena	6		
		Muy bajo	8	Muy buena	8		
		Sin costo	10	Excelente	10		

Fuente: Elaboración propia, 2015

Con estos datos de parámetros y a base de los resultados de la matriz de decisión que se muestra en la tabla I-7, el método más conveniente para la extracción del aceite de ricino es el de solvente, debido a que el equipo (Soxhlet) opera en rangos de temperatura y tiempo de fácil control; el equipo está disponible en el Laboratorio de Química de la Universidad, y la calidad del aceite obtenido es muy buena.

1.10.1. MATRIZ DE DECISIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE RICINO

Para elegir el método en la extracción del aceite de ricino se elabora la siguiente matriz de decisión.

Tabla I-7: Matriz de decisión en la extracción del aceite de ricino

Necesidades		Porcentaje de valoración (%)	Alternativas del proceso de extracción															
			A			B			C			D			E			
Obligatorias	Aplicable a las semillas de ricino		Sí			Sí			Sí			Sí			Sí			A= Extracción por prensado B= Extracción con prensa expeller C= Extracción mediante emulsión D= Extracción en condición supercrítica E = Extracción con solvente
	Rangos de T y t accesibles	15	No	0	0	No	0	0	Sí	10	150	Sí	10	150	Sí	10	150	
	Costo	35	Bajo	6	210	Medio	4	140	Bajo	6	210	Muy alto	0	0	Bajo	6	210	
	Calidad del aceite de ricino obtenido	40	Regular	4	160	Buena	6	240	Pésima	0	0	Excelente	10	400	Muy buena	8	320	
	Toxicidad de los solventes	10	No	10	100	No	10	100	No	10	100	No	10	100	Sí	0	0	
Total		100	470			480			460			650			680			

Fuente: Elaboración propia, 2015

1.11. SELECCIÓN DEL SOLVENTE PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE RICINO

En la tabla I-8 se muestran las ventajas y desventajas de los solventes a utilizar en una extracción sólido-líquido.

Tabla I-8: Ventajas y desventajas de solventes a utilizar en una extracción sólido líquido

Proceso	Solvente	Disponibilidad del reactivo	Ventajas	Desventajas
Extracción sólido-líquido	Éter de petróleo	Disponible	<ul style="list-style-type: none"> •Buena eficacia •Barato •No higroscópico •Menos inflamable que el etil éter 	<ul style="list-style-type: none"> •Contaminante del ambiente •Riesgo de incendio y explosión
	Hexano	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> •Utilizado en la obtención de aceite en semillas con bajo contenido de aceite •No provoca alteración química de los componentes del aceite 	<ul style="list-style-type: none"> •Contaminante del ambiente •Riesgo de incendio y explosión
	Etil éter	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> •Punto de ebullición bajo •Mejor disolvente de grasas que el éter de petróleo 	<ul style="list-style-type: none"> •Caro •Es higroscópico •Formación de peróxidos •Muy explosivo
	Éter etílico	Disponible en pequeña proporción	<ul style="list-style-type: none"> •Punto de ebullición bajo •Buen disolvente para la mayoría de los lípidos 	<ul style="list-style-type: none"> •Altamente inflamable •Formación de peróxidos

Fuente: Elaboración propia, 2015

En nuestra región no se cuenta con una fácil adquisición de reactivos, por razones de que son sustancias controladas, y por esta razón se considera como el solvente más adecuado el éter de petróleo, ya que la Universidad cuenta con este reactivo con una cantidad suficiente para llevar a cabo la presente investigación.

1.12. CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE DE RICINO

La calidad de un aceite está determinada por una serie de características o propiedades físicas y químicas que dan indicios acerca de la pureza, conservación, usos y otras cualidades del aceite que se describen a continuación.

- **Densidad:** Es la relación de la masa de aceite en aire con su volumen a una temperatura dada. Está expresada en kilogramos por litro (numéricamente igual a gramos por mililitro) (Sánchez I.A. y Huertas K., 2012).
- **Viscosidad:** La viscosidad es una medida de la fricción interna entre moléculas, o de la resistencia a fluir de los líquidos. En general, la viscosidad de los aceites desciende con un incremento en la insaturación y con un decrecimiento del peso molecular de sus ácidos grasos (Robalino, 2009).
- **Índice de Refracción:** La determinación de este índice es útil en el control de los procesos de hidrogenación, no solo para los aceites sino también para las grasas, cuya temperatura indicada es de 40 °C. Los aceites y las grasas poseen poderes de refringencia diferentes, y de acuerdo a su naturaleza desvían con mayor o menor intensidad, los rayos de luz que los atraviesan, así el índice de refracción de una grasa aumenta con la longitud de la cadena de hidrocarburos y el grado de insaturación de los ácidos grasos constituyentes de los triglicéridos (Cabrales R.A., 2013).
- **Índice de acidez:** El índice de acidez (IA) es el número de mg. de KOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (es decir, que no se encuentran unidos a un glicérido) de 1 g de aceite. Se determina mediante la titulación o valoración del aceite disuelto en alcohol con una solución estándar de KOH. Un valor elevado para este índice muestra que el aceite contiene una alta cantidad de ácidos grasos libres, ya que ha sufrido un alto grado de hidrólisis (Robalino C.S., 2009).
- **Índice de peróxido:** El índice de peróxido (IP) mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o aceite. Los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la oxidación de las grasas, cualquiera sea su composición (Robalino C.S., 2009).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología a emplear está en el marco de la normatividad y el alcance establecido; para esta finalidad de trabajo de grado. Para cada objetivo específico se otorgara el tratamiento respectivo, el mismo que será desarrollado en el proyecto.

2. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE RICINO

La presente investigación desarrollará un proceso experimental en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho mediante el método de Soxhlet usando éter de petróleo como solvente. Los equipos, reactivos, material de laboratorio e insumos se describen en la tabla II-1.

Tabla II-1: Requerimiento de equipos, reactivos, material de laboratorio e insumos para la extracción del aceite de ricino

Equipos	Reactivos	Material de laboratorio	Insumos
Balanza analítica	Éter de petróleo	Soxhlet	Semillas de ricino
Sistema extractor Soxhlet (Gerhardt)	Hidróxido de sodio	Pinzas	
Refractómetro	Fenofaleina 0.1 N	Balones de 250 ml	
Estufa	Ácido clorhídrico 0.5 N	Tubo refrigerante	
Termómetro	Hidróxido de potasio 0.5 N	Mangueras	
Picnómetro	Alcohol	Dedales de celulosa	
Molino manual de rodillos		Adaptadores Soxhlet-balón	
Cronómetro		Vidrios reloj	
		Probetas	
		Tubos de ensayo	
		Pipetas	
		Piceta con agua	
		Mortero	
		Codos	
		Gradilla	
		Espátulas	

Fuente: Elaboración propia, 2015

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA: semillas de ricino

En la presente investigación para extraer el aceite de las semillas de ricino (*Ricinus Communis*) se utilizó semillas producidas de manera silvestre del departamento de Chuquisaca, localidad Uruguay; se realizó la cosecha de los racimos de este lugar porque existe una población de ricino con superficies poseídas y dispersadas en todo este sector, encontradas en alrededor del pueblo, terrenos baldíos, quebradas y a lo largo de caminos y carreteras de la zona.

Figura 2-1: Ubicación geográfica del pueblo de Uruguay



Fuente: Elaboración propia, 2015

Uruguay es un pueblo ubicado en la segunda sección municipal de la provincia Hernando Siles, Municipio San Pablo de Huacareta que se encuentra localizado a 506 km de la ciudad de Sucre capital del departamento y a 196 km al sur de la ciudad de Monteagudo, a una altura de 3930 metros sobre el nivel del mar; la ubicación geográfica 20°31'16.95" (latitud sur); 64° 8'58.85" (longitud oeste). A continuación se describen los aspectos más sobresalientes del ricino de la zona.

- **Planta**

Arbusto con un tamaño desde los 2 m hasta los 5 m aproximadamente, tiene hojas grandes en forma estrelladas de 5 a 11 lóbulos dentados, varía en el color del follaje y del tallo, de un color rojo oscuro a verde.

- **Fruto**

El fruto a simple vista se parece a una cápsula tricarpelar, con una semilla por carpelo; de forma alargada, mediante contacto directo con la piel se siente una estructura semejante a espinas, denominadas acúleos. Éstos se distribuyen en racimos de longitud variable.

- **Semilla**

La semilla a simple vista se asemeja a una formación ovalada, una que otra de forma alargada, de color café con manchas grises y negras; con la ayuda de un Vernier se logró medir las semillas con las siguientes características promedio: De 0,8 a 1,4 cm de longitud; 0,6 a 1,2 cm de ancho y 0,4 a 0,8 cm de espesor. Estas están cubiertas por un tegumento (testa) con una característica dura y quebradiza, por debajo del cual se encuentra una fina capa que envuelve el albumen, con un color blanco.

Figura 2-2: Semillas de ricino



Fuente: Elaboración propia, 2015

En este estudio, por tratarse de una investigación tipo experimental, se realiza la caracterización de la materia prima determinando los siguientes parámetros: Humedad, materia grasa, contenido de fibra y materia seca proporcionados por el laboratorio (RIMH).

Es muy importante un análisis fisicoquímico de la materia prima para saber su calidad por si la materia prima no reúne las condiciones de calidad para ir sobre seguro del

producto terminado y al producto terminado hay que hacerle análisis para ver si está dentro de las normas establecidas.

En la tabla II-2 se resume los parámetros y las normas aplicadas para las correspondientes determinaciones.

Tabla II-2: Parámetros y normas aplicadas para el análisis de las semillas de ricino

Parámetro	Unidades	Norma
Humedad	%	NB 074-2000
Materia seca	%	---
Materia grasa	%	NB-312027-206
Contenido de fibra	%	Manual tec. Lab

Fuente: Elaboración propia, en base a la información entregada por RIMH, 2016

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene por objetivo definir el número de pruebas que se van a realizar en una investigación manipulando dos o más variables independientes (factores) del sujeto de estudio y según esto observar los cambios que se producen en la variable respuesta.

Para que la metodología de diseño de experimentos sea eficaz es fundamental que el experimento esté bien diseñado por alguno de los siguientes motivos.

- Determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la variable respuesta.
- Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen en la respuesta.
- Determinar la mejor combinación de las variables controlables que influyan en la variable respuesta.

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea un diseño factorial 2^k que corresponde a un modelo 2^2 es decir de 2 factores, 2 niveles y 2 repeticiones, y sobre esto se evalúa la variable respuesta.

2.2.1. PASOS A REALIZAR EL ANÁLISIS DEL DISEÑO FACTORIAL 2^K

2.2.1.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Para llevar a cabo el diseño experimental se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis.

- Existe diferencia, en cuanto a los niveles de variación en el tiempo de extracción.
- Existe diferencia, en cuanto a los niveles de variación en el tamaño de partícula.
- La interacción entre ambos factores es significativo en la extracción.

2.2.1.2. CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE DISEÑO

En la tabla II-3, se representa cada uno de los efectos 1, A, B, y AB, y cada una de las combinaciones de los tratamientos.

Tabla II-3: Construcción de la matriz de diseño

Tratamiento o corridas	Variables			Total (y _i)
	Tiempo (T)	Granulometría (G)	(T*G)	
(1)	-	-	+	Y ₁
a	+	-	-	Y ₂
b	-	+	-	Y ₃
ab	+	+	+	Y ₄

Fuente: Elaboración propia, 2015

Para cualquier diseño 2^k con n réplicas, la estimación del efecto y de los cuadrados se estima de la siguiente forma.

$$\text{Efecto} = \text{Contraste} / n2^{K-1} \quad (\text{Ec. 2-1})$$

$$SS_x = [\text{Contraste}]^2 / n2^k \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Los efectos de interés en el diseño 2^2 , son los efectos principales de A y B y la interacción AB.

Estimaremos cada uno de los efectos de la siguiente forma:

$$A = [a + ab - b - (1)] / 2n \quad (\text{Ec. 2-3})$$

$$B = [b + ab - a - (1)] / 2n \quad (\text{Ec. 2-4})$$

$$AB = [ab + (1) - a - b] / 2n \quad (\text{Ec. 2-5})$$

Las cantidades entre corchetes en las ecuaciones 2-3, 2-4 y 2-5 se llaman contrastes. Podemos utilizar los contrastes para calcular las sumas de cuadrados para A, B y la interacción AB.

$$SS_A = [a + ab - b - (1)]^2 / 4n \quad (\text{Ec. 2-6})$$

$$SS_B = [b + ab - a - (1)]^2 / 4n \quad (\text{Ec. 2-7})$$

$$SS_{AB} = [ab + (1) - a - b]^2 / 4n \quad (\text{Ec. 2-8})$$

En la tabla II-4 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para un diseño factorial de 2^2 , en base a la aplicación de la prueba estadística de Fisher (F_0).

Tabla II-4: Análisis de (ANOVA) para un diseño 2^2

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F ₀
Tratamiento A	SS _A	a-1	MS _A = SS _A / a-1	MS _A / MS _E
Tratamiento B	SS _B	b-1	MS _B = SS _B / b-1	MS _B / MS _E
Interacción AB	SS _{AB}	(a-1)(b-1)	MS _{AB} = SS _{AB} / (a-1)(b-1)	MS _{AB} / MS _E
Error	SS _E	ab(n-1)	SSE = SS _T - SS _A - SS _B - SS _{AB}	
Total	SS _T	abn - 1	MS _E = SS _E / ab(n-1)	

Fuente: Elaboración propia, 2015

2.2.2. FACTORES Y NIVELES DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

En la tabla II-5 se muestran los factores y el dominio experimental de los niveles de las variables a tratar.

Tabla II-5: Factores y dominio experimental de las variables de estudio

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
A= Tiempo (h)	6	8
B= Granulometría (mm)	1	2

Fuente: Elaboración propia, 2015

El número de experiencias a realizar es:

$$N_{\text{exp}} = (N^{\circ} \text{ niveles } F_A * N^{\circ} \text{ niveles } F_B) * N^{\circ} \text{ repeticiones}$$

$$N_{\text{exp}} = (2 * 2) * 2 = 8$$

En base a este diseño experimental se realizan 8 experimentos elementales en el proceso de extracción.

En la tabla II-6 se muestran las combinaciones de las variables en sus dos niveles a realizar para cada muestra.

Tabla II-6: Niveles de las variables para la extracción de aceite de ricino

N° de muestra	t _{ij}	g _{ij}	Resp I (R)	Resp II (R)
1	-1	-1	t ₁₁ g ₁₁	t ₁₂ g ₁₂
2	+1	-1	t ₂₁ g ₁₁	t ₂₂ g ₁₂
3	-1	+1	t ₁₁ g ₂₁	t ₁₂ g ₂₂
4	+1	+1	t ₂₁ g ₂₁	t ₂₂ g ₂₂

Fuente: Elaboración propia, 2015

Donde:

i= Nivel

j= Repetición

t= Tiempo de extracción

g= Granulometría

R= Rendimiento en la extracción: Porcentaje de aceite extraído/masa de semillas trituradas de ricino.

Hipótesis nula

$$H_0 = t_{11} = t_{21} = t_{12} = t_{22} = 0$$

$$H_0 = g_{11} = g_{21} = g_{12} = g_{22} = 0$$

$$H_0 = t_{11}g_{11} = t_{21}g_{11} = t_{11}g_{21} = t_{21}g_{21} = t_{12}g_{12} = t_{22}g_{12} = t_{12}g_{22} = t_{22}g_{22} = 0$$

Hipótesis experimental

$H_0 : t_{11} \neq t_{21} \neq t_{12} \neq t_{22}$, no todas las t_{ij} son 0.

$H_0 : g_{11} \neq g_{21} \neq g_{12} \neq g_{22}$, no todas las g_{ij} son 0.

$H_0 : t_{11}g_{11} \neq t_{21}g_{11} \neq t_{11}g_{21} \neq t_{21}g_{21} \neq t_{12}g_{12} \neq t_{22}g_{12} \neq t_{12}g_{22} \neq t_{22}g_{22}$, no todas las interacciones son 0.

2.2.3. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO Y GRANULOMETRÍA SOBRE EL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN

2.2.3.1. FACTORES

- **TIEMPO DE EXTRACCIÓN**

Este factor relaciona los intervalos de tiempo para la extracción del aceite, de manera que se pueda observar el rendimiento en el transcurso de este tiempo.

- **GRANULOMETRÍA DE LA MATERIA PRIMA**

Para la determinación del factor granulometría, se realiza el tamizado de las semillas de ricino trituradas usando un juego de tamices de 5, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,063 mm. Norma Española UNE y una bandeja de recepción de la muestra.

2.2.3.2. NIVELES

- **DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DEL FACTOR INTERVALOS DE TIEMPO DE EXTRACCIÓN**

El tiempo empleado desde el encendido de los calefactores hasta el final de la extracción se divide en dos etapas.

- Acondicionamiento del equipo: Tiempo en el que el éter de petróleo llega a su punto de ebullición.
- Extracción: Tiempo transcurrido desde la formación de la primera gota de aceite hasta el agotamiento de las semillas.

El objetivo es poder determinar los tiempos óptimos de extracción con 6 h mínimo y 8 h máximo, así poder evaluar el mayor rendimiento de aceite en las semillas trituradas de ricino.

- **DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DEL FACTOR INTERVALOS DE GRANULOMETRÍA**

Los niveles hacen referencia al tamaño de partícula de la materia prima, en esta investigación se tiene partículas de 1 mm mínimo y 2 mm, máximo para posterior a esto poder evaluar el rendimiento de aceite obtenido por cada uno de ellos.

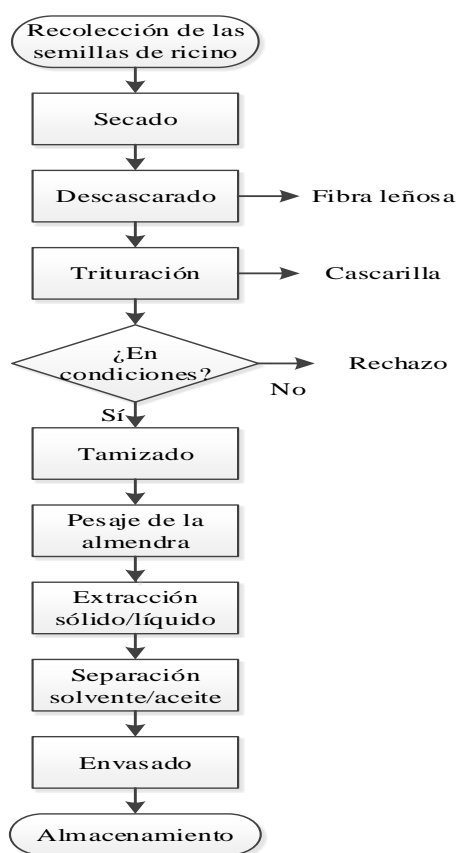
2.2.4. VARIABLE RESPUESTA

La variable respuesta es evaluar el rendimiento de aceite de las semillas de ricino, por cada 10 g de semilla en cada extracción, en función al tiempo y granulometría.

2.3. OBTENCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE RICINO

Las etapas del proceso de extracción de aceite de las semillas de ricino se muestran en la figura 2-3 desde la recolección de los racimos hasta el almacenamiento del aceite.

Figura 2-3: Obtención de aceite de las semillas de ricino



Fuente: Elaboración propia, 2015

2.3.1. RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima fue recolectada las de color castaño y de color café claro de manera personal, usando una tijera pequeña de podar para así poder cortar los racimos, evitando el derrame de las semillas al suelo y el deterioro de la planta.

Figura 2-4: Recolección de la materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2015

2.3.2. TRANSPORTE

Los racimos de ricino son transportados en cajas de cartón para evitar derrames y deterioro de las semillas hasta el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias y Tecnología perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho usando servicio público.

2.3.3. SECADO DE LOS RACIMOS DE RICINO

En esta etapa se colocan los racimos de ricino sobre lonas para que pierdan humedad; este proceso es natural con la luz del sol durante 5 días para que la separación de la semilla de su cubierta sea más fácil; en este proceso de secado muchos frutos se van abriendo y liberando la semilla.

2.3.4. DESCASCARADO

En el descascarado del ricino se da la ruptura de la fibra leñosa (aspecto erizado), a través de dos maderas frotando una sobre otra y así poder separar la semilla de la fibra leñosa.

2.3.5. TRITURACIÓN

La trituration se realiza en un molino manual de rodillos, el cual produce la rotura mecánica de las semillas en pequeñas partículas sin cambiar su estado de agregación, posterior a esto se procede a la separación de la almendra de la cascarilla e impurezas; para poder disminuir aún más las partículas de la almendra del ricino se utilizó un mortero de porcelana, mejorando así la eficiencia de la extracción. La trituration o molienda ayuda a las partículas a que puedan tener una mayor superficie de contacto facilitando el traspaso del solvente a la partícula ya que sus células se encuentran más abiertas.

Figura 2-5: Trituración de las semillas de ricino



2.3.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MATERIA PRIMA

El tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separa en dos fracciones o más pasándolos por un tamiz, cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. Para tal efecto se siguió el siguiente procedimiento.



Figura 2-6: Tamizado de las semillas de ricino

- Pesado de cada tamiz vacíos.
- Pesado de las semillas de ricino trituradas.
- Cargar las semillas trituradas al tamiz superior (5 mm).
- Encender el tamiz vibratorio regulando a una velocidad de 50 rpm y un tiempo de 20 minutos.
- Una vez finalizado el tiempo de tamizado se separa los tamices para su posterior registro de peso (tamiz más semillas de ricino).

2.3.7. PESAJE DE LAS ALMENDRAS TRITURADAS

Esta balanza se utilizó en todo el proyecto la cual fue útil para el pesaje en cada una de las etapas de obtención del aceite, la misma cuenta con una calibración automática con una pantalla digital.



Figura 2-7: Pesaje de las almendras trituradas

2.3.8. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE RICINO

Figura 2-8: Extractor GERHARDT



Fuente: Elaboración propia, 2015

La extracción de aceite de ricino es realizada a escala de laboratorio usando el equipo de Soxhlet y éter de petróleo como solvente. Este consiste en un balón, extractor Soxhlet y un condensador de reflujo en serie, con 6 plazas de extracción. Las semillas de ricino trituradas se colocan en un dedal de celulosa y se inserta en el tubo central del extractor. El éter de petróleo es colocado en el balón y se calienta hasta alcanzar su punto de ebullición en las condiciones atmosféricas de Tarija con 70 °C, donde el vapor de disolvente migra hacia la parte superior del extractor y luego hacia el condensador, donde son condensados a una velocidad de 3 a 6 gotas/segundo y caen por goteo de nueva cuenta a las semillas dentro del dedal (durante este tiempo los constituyentes solubles son extraídos). Cuando el nivel del extracto alcanza el tope del tubo sifón, todo el volumen del extracto es sifonado hacia el balón. El proceso se continúa hasta que el aceite sea completamente extraído.

2.3.9. DESTILACIÓN

Figura 2-9: Proceso de destilación



Fuente: Elaboración propia, 2015

Una vez que el proceso finaliza, es conveniente esperar por un cierto tiempo para que el sistema se enfría hasta que sea fácil manipularlo, cerrar el agua de refrigeración para no realizar consumo innecesario, el extracto es recuperado mediante la eliminación del solvente usando un kit de destilación, que se lo realiza retirando el Soxhlet conjuntamente el dedal con el contenido de torta, colocándolo en un sitio aireado para que se seque la muestra. En esta etapa se separa el aceite del solvente debido a la

volatilidad del éter de petróleo, este es recuperado mediante condensación para su posterior reutilización.

2.3.10. PRODUCTO FINAL

Después de la destilación queda el aceite crudo y trazas pequeñas de éter de petróleo; para poder eliminar la cantidad de trazas se lleva el balón con el contenido a una estufa de flujo convectivo por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 100 °C, esto garantiza la total eliminación del solvente.

2.3.11. ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL

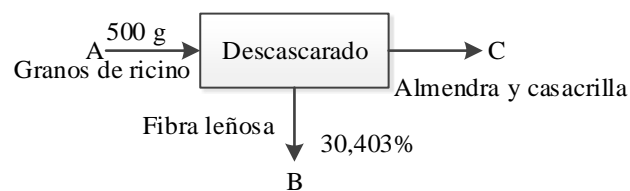
Una vez obtenido el aceite de ricino se procedió a almacenar en tubos de ensayos pequeños y cerrados al vacío, para evitar cualquier alteración del producto.

2.4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN

Para cada una de las extracciones se registran en tablas los tiempos, la granulometría, condiciones de materia prima, el residuo que queda después de la extracción (torta), las condiciones de las corrientes de entrada y salida de cada proceso y los volúmenes obtenidos en cada corrida en base al diseño factorial planteado, con la experiencia realizada y con el fin de determinar las condiciones óptimas del proceso se realiza el balance con las semillas trituradas de 1 mm y un tiempo de 8 horas.

2.4.1. BALANCE DE MATERIA

Balance de materia en el proceso de descascarado

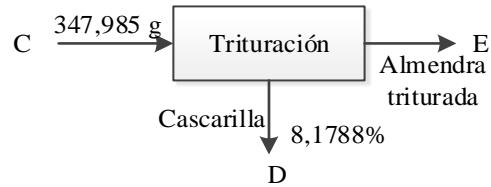


$$A = B + C \rightarrow C = A - B$$

$$B = (500 * 0,30403) = 152,015 \text{ g}$$

$$C = (500 - 152,015) = 347,985 \text{ g}$$

Balance de materia en el proceso de trituración



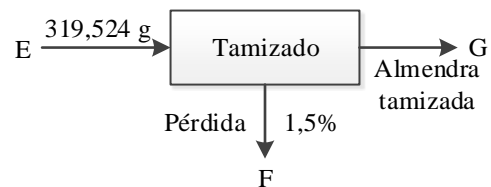
$$C = D + E \rightarrow E = C - D$$

$$D = (347,985 * 0,0818) = 28,461 \text{ g}$$

$$E = 347,985 - 28,461 \text{ g}$$

$$E = 319,524 \text{ g}$$

Balance de materia en el proceso de tamizado

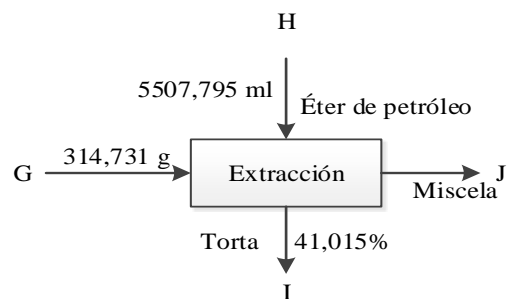


$$E = F + G \rightarrow G = E - F$$

$$F = (319,524 * 0,015) = 4,793 \text{ g}$$

$$G = (319,524 - 4,793) = 314,731 \text{ g}$$

Balance de materia en el proceso de extracción



Relación masa / volumen de solvente 1:17,5

$$\rho_{\text{Eter de petróleo}} = 0,642 \text{ g / cm}^3$$

$$\rho = m/v \rightarrow m = \rho * v$$

$$m = (0,6425 \text{ g / cm}^3 * 5507,795 \text{ cm}^3) = 3538,758 \text{ g}$$

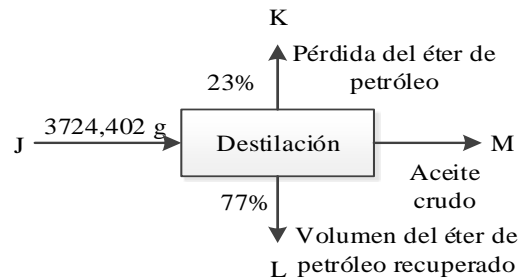
$$G + H = I + J \rightarrow J = G + H - I$$

$$I = (314,731 * 0,4102) = 129,087 \text{ g}$$

$$H = 3538,758 \text{ g}$$

$$J = (314,731 + 3538,758 - 129,087) = 3724,402 \text{ g}$$

Balance de materia en el proceso de destilación



$$J = K + L + M \rightarrow M = J - K - L$$

$$K = (3538,758 * 0,23) = 813,914 \text{ g}$$

$$L = (3538,758 * 0,77) = 2724,844 \text{ g}$$

$$M = (3724,402 - 813,914 - 2724,844) = 185,644 \text{ g}$$

2.4.2. BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía se efectúa en aquellas operaciones que así lo requieran, con un costo de 0,60 kWh, que es el costo que cobra SETAR en la ciudad de Tarija.

Proceso de tamizado

$$\text{Potencia } (p_o) = 0,092 \text{ kW}$$

$$\text{Tiempo} = 0,333 \text{ h}$$

$$\text{Energía} = p_o * t \rightarrow \text{Energía} = (0,092 \text{ kW} * 0,333 \text{ h}) = 0,0306 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo} = 0,0306 \text{ kWh} * 0,60 \text{ Bs / kWh} = 0,0184 \text{ Bs}$$

Proceso de extracción

$$Potencia (p_o) = 2,70 \text{ kW}$$

$$Tiempo = 8 \text{ h}$$

$$Energía = p_o * t \rightarrow Energia = (2,70 \text{ kW} * 8 \text{ h}) = 21,6 \text{ kWh}$$

$$Costo = 21,6 \text{ kWh} * 0,60 \text{ Bs / kWh} = 12,96 \text{ Bs}$$

Proceso de eliminación de trazas del éter de petróleo en el aceite

$$Potencia (p_o) = 2 \text{ kW}$$

$$Tiempo = 2 \text{ h}$$

$$Energía = p_o * t \rightarrow Energia = (2 \text{ kW} * 2 \text{ h}) = 4 \text{ kWh}$$

$$Costo = 4 \text{ kWh} * 0,60 \text{ Bs / kWh} = 2,4 \text{ Bs}$$

2.5. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE RICINO

Una vez obtenido el aceite de ricino se procede a realizar la medición de los siguientes parámetros fisicoquímicos: Densidad, índice de refracción, acidez, índice de peróxido, humedad y materia volátil, cenizas. Todas estas mediciones son proporcionadas por el laboratorio de (CEANID).

En la tabla II-7 se resume los parámetros y las normas aplicadas para las correspondientes determinaciones del aceite de ricino.

Tabla II-7: Parámetros y normas aplicadas para el análisis de aceite de ricino

Parámetro	Unidades	Norma
Densidad	g/ml	NB 34021
Índice de refracción	----	NB 34003
Acidez	%	NB 34004
Índice de peróxidos	MeqO ₂ /Kg	NB 34008
Humedad y materia volátil	%	NB 205-77
Cenizas	%	Gravimetría

Fuente: Elaboración propia, en base a la información entregada por el CEANID, 2015

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MATERIA PRIMA

El plan experimental para el análisis granulométrico de las almendras trituradas de las semillas de ricino se lo llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) perteneciente al Departamento de Procesos Industriales y Biotecnológicos de la Facultad de Ciencias y Tecnología dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Para esta finalidad se hizo uso de un molino manual de rodillos el que permitió el rompimiento de la cascarilla liberando la almendra triturada; posteriormente se cargaron al tamiz 155 g de materia prima, los resultados se lo describen en la tabla III-1.

Tabla III-1: Datos de análisis granulométrico de las semillas de ricino trituradas

Abertura de malla (mm) serie UNE	Abertura de malla (mm) series ASTM Tyler	Peso de la malla vacía (g)	Peso de malla con muestra (g)	Rechazo	% Rechazo
5	4,75	492,9	497,7	4,8	3,097
4	4	455,1	462,2	7,1	4,581
2	2	434,5	525,3	90,8	58,581
1	1	433,5	483,7	50,2	32,387
0,5	0,5	443,9	445,8	1,9	1,226
0,25	0,25	417,8	417,8	0	0
0,063	0,062	389,6	389,6	0	0

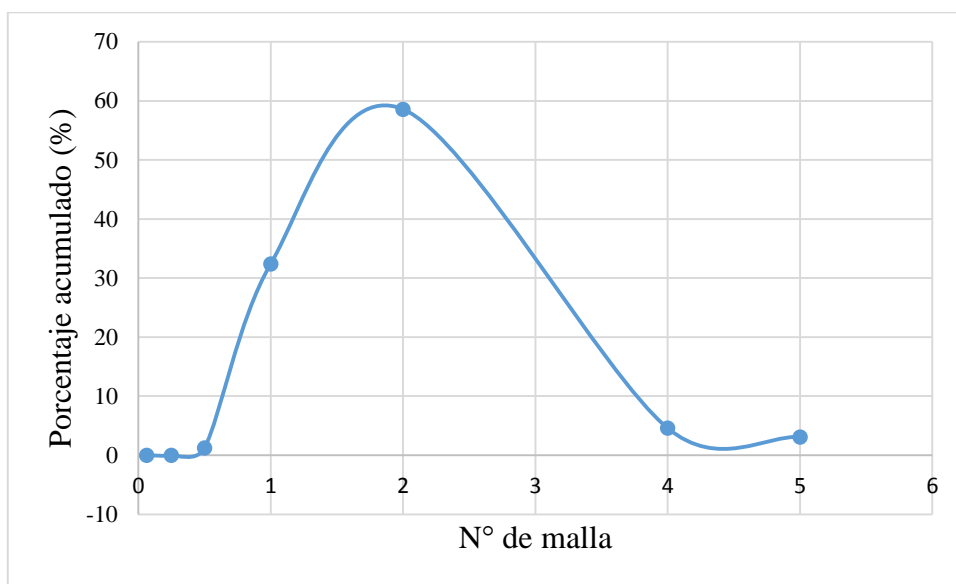
Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla III-2: Resultados del análisis granulométrico de las semillas de ricino trituradas

N° de malla (mm)	% Rechazo
5	3,097
4	4,581
2	58,581
1	32,387
0,5	1,226
0,25	0
0,063	0

Fuente: Elaboración propia, 2015

Figura 3-1: N° de malla vs porcentaje de rechazo



Fuente: Elaboración propia, 2015

En base a la figura 3-1 se observa el mayor porcentaje de rechazo 58,581% en la bandeja con diámetro de abertura de 2 mm, significando que el 58,581% de las partículas tiene el tamaño mayor a 2 mm, el 32,387% tiene un tamaño de partículas mayor a 1 mm, el 4,581% tiene el tamaño de partículas mayor a 4 mm, el 3,097% tiene las partículas mayor a 5 mm, el 1,226% tiene el tamaño mayor a 0,5 mm, finalmente para las mallas 0,25 y 0,063 se tiene el 0% de partículas.

3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA: *SEMILLAS DE RICINO*

En la tabla III-3 se presentan los resultados de la caracterización de la materia prima utilizada en esta investigación y la composición porcentual que se encuentra como referencia bibliográfica de otras investigaciones en otros países.

Tabla III-3: Características de las propiedades fisicoquímicas de las semillas de ricino

Propiedad	Almendra de ricino extraídas del (Chaco Boliviano)		Ecuador (Annongu y Joseph citado en Lombeida N.A)		Colombia (Sánchez I. A. y Huertas K)
Humedad %	2,83	NB 074-2000	7,33	AOCS 934,03	---
Materia seca %	97,17	---	---	---	---
Contenido de materia grasa %	52,84	NB 312027-2006	51,20	AOCS 920,85	51,59
Contenido de fibra %	2,11	Manual tec. Lab	4,98	ICC # 113	---

Fuente: Elaboración propia, en base a la información entregada por RIMH, 2016

Como se puede observar en la tabla III-3 y haciendo la comparación respectiva de las propiedades de la materia prima en esta investigación, se llega a evidenciar que los parámetros tales como: Humedad, con un porcentaje del 2,83%, que es bajo respecto a lo que señala la bibliografía; esta diferencia podría o estaría asociada por el cultivo, estado de madurez de las semillas y también por las altas temperaturas que se dan en el Chaco, razón por la cual presentan las semillas un bajo contenido de agua, en el caso del contenido de materia grasa con un porcentaje de rendimiento del 52,84%, en comparación al estudio realizado por (Annongu y Joseph, 2008 citado en Lombeida N.A., 2015) con un porcentaje del 51,20%; otro estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira Colombia por (Sánchez I. A. y Huertas K., 2012) obtiene un rendimiento de aceite del 51,59%, cuyos valores son muy cercanos al obtenido en esta investigación; el contenido de fibra es bajo en comparación a la bibliografía que se tiene con un porcentaje de 2,11%.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se llevó a cabo utilizando el paquete de *SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales)* para Windows que ofrece una rápida e instantánea visualidad de los datos.

Calcula los valores exactos (valores de significación) para las pruebas estadísticas en aquellos casos en los que las muestras son pequeñas o se distribuyen de forma poco uniforme y puedan hacer que las pruebas habituales resulten poco precisas.

3.2.1. DATOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS DE RICINO

Los resultados obtenidos en la experimentación según el diseño experimental planteado se muestran en la tabla III-4.

Tabla III-4: Datos experimentales del proceso de extracción del aceite de las semillas de ricino

N° de ensayos	Factores		Respuesta
	Tiempo (t)	Granulometría (g)	Rendimiento (R)
1	6	1	56,451
Réplica	6	1	56,151
2	6	2	45,227
Réplica	6	2	45,248
3	8	1	58,212
Réplica	8	1	58,475
4	8	2	47,18
Réplica	8	2	47,08

Fuente: Elaboración propia, 2015

El aceite de ricino se obtuvo empleando dos tamaños diferentes de partículas 1 mm y 2 mm; combinando ambos tamaños de partículas con los dos tiempos de extracción 6 y 8 horas.

El mayor porcentaje de aceite se obtuvo con la partícula de menor tamaño y con el mayor tiempo de extracción, llegando a obtener un rendimiento de 58,475% de aceite, un valor mayor al que se tiene en bibliografía; este dato demuestra que en la estructura de las semillas tienen un gran contenido de almacenamiento de aceite.

3.2.2. ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de la varianza ANOVA muestra la influencia de los factores granulometría e intervalo de tiempo de extracción y las intersecciones suscitadas sobre la variable respuesta (rendimiento) así como la significancia de los mismos. Los datos introducidos al *SPSS* de acuerdo al diseño experimental planteado se muestran en la tabla III-5.

Tabla III-5: Datos para el análisis de varianza

N° de ensayos	Factores		Respuesta
	Tiempo (t)	Granulometría (g)	Rendimiento (R)
1	-1	-1	56,451
Réplica	-1	-1	56,151
2	-1	+1	45,227
Réplica	-1	+1	45,248
3	+1	-1	58,212
Réplica	+1	-1	58,475
4	+1	+1	47,18
Réplica	+1	+1	47,08

Fuente: Elaboración propia, 2015

En la tabla III-6 se muestra las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable que registra el programa de *SPSS* y fueron realizadas en la parte experimental para un diseño de 2^2 con dos repeticiones, siendo un total de 8 experiencias.

Tabla III-6: Factores inter-sujetos

		N
Tiempo	-1,00	4
	1,00	4
Granulometría	-1,00	4
	1,00	4

Fuente: Elaboración propia, 2015

En la tabla III-7 se detalla el análisis de varianza aplicado al diseño experimental, para probar la significancia estadística de cada factor sobre el rendimiento.

Tabla III-7: Análisis de varianza (ANOVA)

Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	255,886 ^a	3	85,295	4023,123	0,000
Intersección	21426,984	1	21426,984	1010647,206	0,000
t	7,742	1	7,742	365,172	0,000
g	248,132	1	248,132	11703,667	0,000
t*g	0,011	1	0,011	0,531	0,507
Error	0,085	4	0,021		
Total	21682,955	8			
Total corregida	255,971	7			

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 0,999)

Fuente: Elaboración propia, 2015

Se puede observar en la tabla III-7 que el efecto de las variables en el análisis de varianza para el proceso de extracción del aceite de ricino con un nivel de significancia menor al 5%, influye lo que implica que son significativas con una confianza del 95%.

Razón que se concluye que la variable t*g no es significativa para el modelo, la variable tamaño de partícula y tiempo de extracción influyen en el rendimiento del aceite extraído, esto es porque el nivel de significancia es menor al 5% lo que implica que son significativas con una confianza del 95%, y serán las variables utilizadas para realizar el cálculo del modelo matemático que posee el diseño factorial.

Para encontrar el modelo matemático que mejor represente la experiencia realizada en esta investigación se toma en cuenta los factores e interacciones que sí influyen según resultados del análisis de varianza.

Tabla III-8: Variables introducidas/removidas

Modelo	Variables introducidas	Variables removidas	Método
1	Granulo, tiempo ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: Elaboración propia, 2015

En consecuencia a la tabla III-9 se muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa de *SPSS*, a través del diseño experimental planteado en esta investigación.

Tabla III-9: Coeficientes

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error tip.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	51,753	0,049		1056,101	0,000	51,627	51,879
tiempo	0,984	0,049	0,174	20,075	0,000	0,858	1,110
Granulometría	-5,569	0,049	-0,985	-113,649	0,000	-5,695	-5,443

a. Variable dependiente: Rendimiento

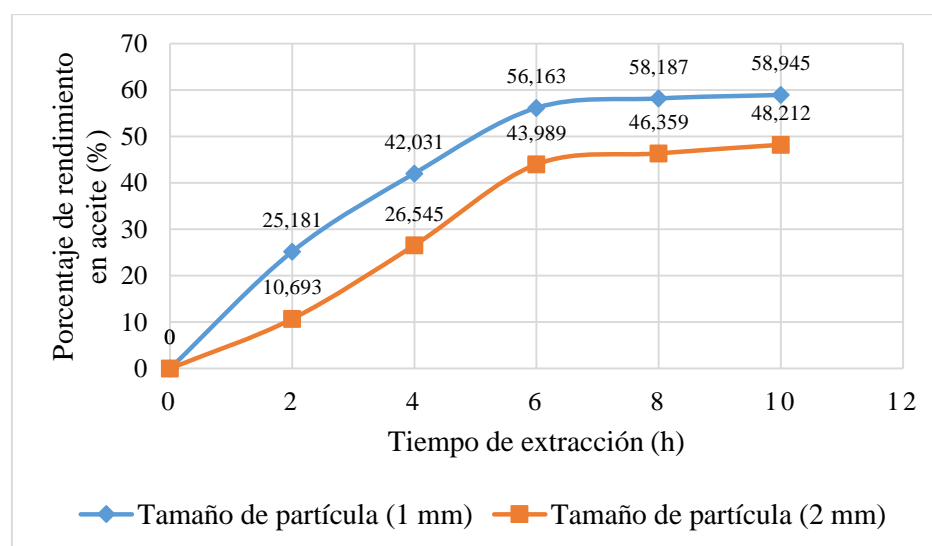
Fuente: Elaboración propia, 2015

$$\text{Rendimiento} = 51,753 + 0,984\text{tiempo} - 5,569\text{granulometría}$$

3.3. TIEMPO DE EXTRACCIÓN VS RENDIMIENTO DE ACEITE DE RICINO

Con el objetivo de poder determinar el tiempo óptimo de extracción se realiza la evaluación de la influencia que ejerce el tiempo en el proceso de extracción.

Figura 3-2: Tiempo de extracción vs rendimiento de aceite



Fuente: Elaboración propia, 2016

De acuerdo a este análisis, se evaluó el rendimiento de aceite a diferentes tiempos de extracción. La Figura 3-2 muestra los resultados de extracción obtenidos a diferentes tiempos, en el caso de las partículas de (1 mm) dado que a las 8 horas de extracción el rendimiento es máximo; entre 8 y 10 horas de extracción el porcentaje de aceite es similar, cosa que no aporta significativamente al rendimiento, esto puede o podría estar asociado a una saturación del disolvente o a un fenómeno de re-adsorción del aceite por el largo tiempo de contacto y cambios conformacionales en las estructuras de las semillas; en el caso de las partículas de (2 mm) entre 8 y 10 horas se puede notar un porcentaje de rendimiento diferencial de un 1,853%, la razón de esto es porque la superficie de contacto es menor y necesita un mayor tiempo de extracción a diferencia de las partículas de (1mm).

3.4. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE RICINO

Como ya se mostró en el capítulo I (acápito 1.7.2.1.) se puede estimar el coeficiente de difusión a partir del conjunto de datos disponibles (medidas de concentración contra tiempo).

$$\log \frac{q_{\theta}}{q_0} = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta$$

De acuerdo con la ecuación anterior, los valores de D se obtienen mediante un análisis de regresión lineal de los valores experimentales de la cantidad de aceite retenido en la semilla después de un tiempo Θ (q_{θ}) de extracción, para cada prueba.

Para cuantificar la cantidad de aceite retenido en la semilla después de un tiempo Θ (q_{θ}) se realizan cálculos basados en el peso de cada fracción del sistema: Peso de la muestra, peso de la muestra después de la extracción, peso del aceite superficial, peso del aceite retenido después del tiempo Θ .

3.4.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN PARA PARTÍCULAS DE (1 mm)

A continuación se puede observar la tabla III-10 que contiene los datos experimentales de la extracción en función del tiempo para partículas de (1mm).

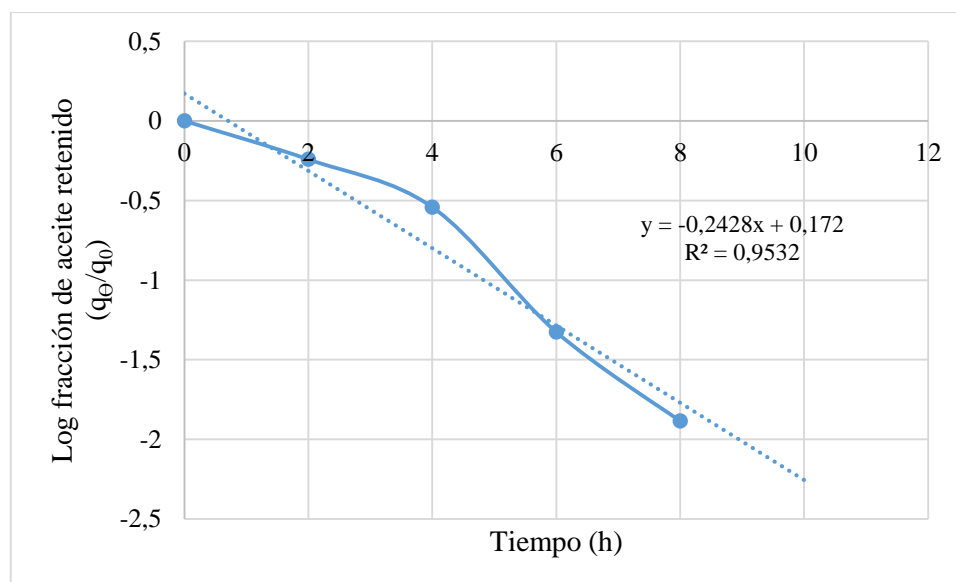
Tabla III-10: Datos experimentales obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión para partículas de (1 mm)

Tiempo (h)	Aceite extraído (g/g ss.)	Rendimiento en la extracción	% de aceite extraído	Fracción de aceite retenido (q_0/q_0)	log (q_0/q_0)
0	0	0	0	1	0
2	2,518	25,181	42,719	0,573	-0,242
4	4,203	42,031	71,305	0,2870	-0,542
6	5,616	56,163	95,280	0,0472	-1,326
8	5,819	58,187	98,714	0,013	-1,886
10	5,894	58,945	100	0	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con estos datos experimentales se realizó la figura 3-3 donde se determinó la función de la misma.

Figura 3-3: Tiempo vs log fracción de aceite retenido (q_0/q_0) para partículas de (1mm)



Fuente: Elaboración propia, 2016

La función de esta gráfica es la siguiente:

$$y = -0,2428x + 0,172$$

Donde:

$$\log (q_{\theta}/q_0) = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta = b$$

$$\log (q_{\theta}/q_0) = -0,2428$$

Una vez realizados los cálculos se procedió a reemplazar en la ecuación para la determinación del coeficiente de difusión.

$$\log \left(\frac{q_{\theta}}{q_0} \right) = -0,2428 - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta \quad \text{Entonces:}$$

$$4,286 \frac{D}{(2l)^2} = 0,2428$$

$$D = 5,098 * 10^{-11} m^2 / s$$

3.4.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN PARA PARTÍCULAS DE (2 mm)

A continuación se puede observar la tabla III-11 con los datos experimentales de la extracción en función del tiempo para partículas de (2 mm).

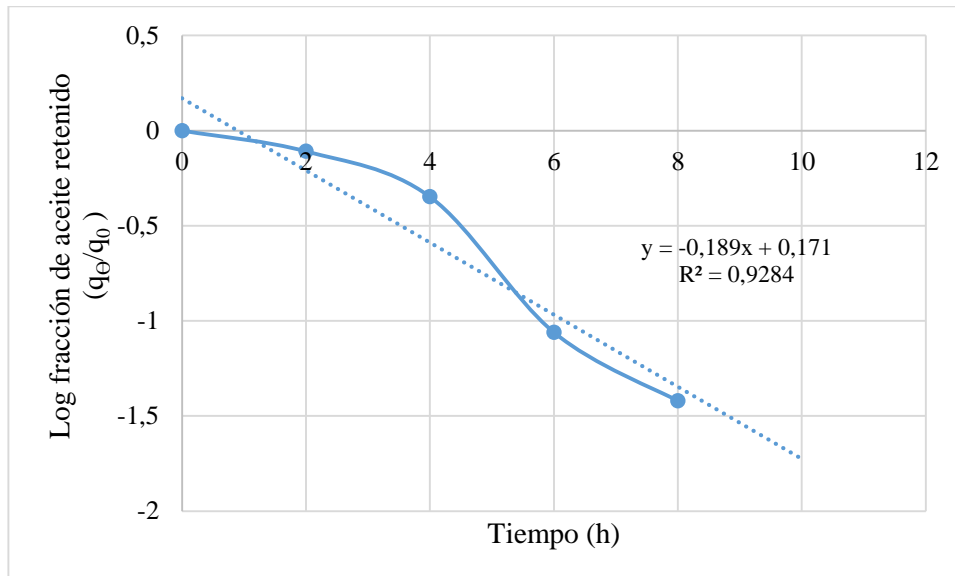
Tabla III-11: Datos experimentales obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión para partículas de (2mm)

Tiempo (h)	Aceite extraído (g/g ss.)	Rendimiento en la extracción	% de aceite extraído	Fracción de aceite retenido (q _θ /q ₀)	log (q _θ /q ₀)
0	0	0	0	1	0
2	1,069	10,693	22,179	0,778	-0,109
4	2,654	26,545	55,059	0,449	-0,348
6	4,399	43,989	91,241	0,087	-1,060
8	4,636	46,359	96,156	0,038	-1,420
10	4,821	48,212	100	0	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con estos datos experimentales se realizó la gráfica 3-4 donde se determinó la función de la misma.

Figura 3-4: Tiempo vs log fracción de aceite retenido (q_{θ}/q_0) para partículas de (2mm)



Fuente: Elaboración propia, 2016

La función de esta gráfica es la siguiente:

$$y = -0,189x + 0,171$$

Donde:

$$\log(q_{\theta}/q_0) = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta = b$$

$$\log(q_{\theta}/q_0) = -0,189$$

Una vez realizados los cálculos se procedió a reemplazar en la ecuación para la determinación del coeficiente de difusión para las partículas de (2mm).

$$\log\left(\frac{q_{\theta}}{q_0}\right) = -0,189 - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta \quad \text{Entonces:}$$

$$4,286 \frac{D}{(2l)^2} = 0,189$$

$$D = 4,899 * 10^{-11} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Los valores de los coeficientes de difusión son calculados a partir de las pendientes estimadas para cada una de las rectas ajustadas.

Como puede observarse, el orden de magnitud de los coeficientes de difusión calculados se encuentra en el orden de 10^{-11} m²/s, lo cual comparado con los datos de bibliografía (Doulia y col., 2000; Pajonk y col., 2003; Simeonov y col., 1999 Citado en Grasso F.V., 2013) compilaron coeficientes de difusión efectivos para una amplia variedad de oleaginosas en órdenes de magnitud de 10^{-12} a 10^{-10} m²/s.

Se puede evidenciar que al momento de triturar las almendras del ricino resultan ser dañadas (células rotas), por lo tanto, el aceite en la capa superficial simplemente será lavado rápidamente dejando el aceite remanente en las células no dañadas para difundirse de acuerdo a la ley de Fick.

3.5. RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

3.5.1. BALANCE DE MATERIA

En la tabla III-12 se muestran los resultados del balance de materia a base de los cálculos del acápite 2.4.1. que se dan durante el proceso de extracción para 500 gramos de semillas trituradas de ricino.

Tabla III-12: Resultados del balance de materia

Entradas (g)		Proceso	Salidas (g)			Pérdidas (g)
C (1)	C (2)		C (1)	C (2)	C (3)	
A		Descascarado	B	C		
500			152,015	347,985		
C		Trituración	D	E		
347,985			28,461	319,524		
E		Tamizado		G		F
319,524				314,731		4,793
G	H	Extracción	I	J		
314,731	3538,758		129,087	3724,402		
J		Destilación	L	K	M	
3724,402			2724,844	813,914	185,644	

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.5.2. BALANCE DE ENERGÍA

En la tabla III-13 se muestran los resultados obtenidos del balance de energía efectuado en cada operación que requiera energía.

Tabla III-13: Resultados del balance de energía

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Energía (kWh)
Tamiz vibratorio	0,092	0,333	0,031
Extractor Soxhlet	2,70	8	21,6
Estufa	2,00	2	4

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.6. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL PRODUCTO: *ACEITE DE RICINO*

Los resultados de densidad, índice de refracción, acidez, índice de peróxidos, humedad y materia volátil y finalmente cenizas se muestran en la tabla III-14 y la comparación con datos de bibliografía de otras investigaciones en otros países.

Tabla III-14: Caracterización fisicoquímica del aceite de ricino

Propiedad	Aceite de ricino obtenido en la investigación		Aceite de ricino obtenido por (Sánchez I. A. y Huertas K. 2012)	
Densidad 20 °C (g/ml)	0,9575	NB 34021	0,9589	NTC 336
Índice de refracción a 20 °C	1,4770	NB 34003	1,4770	A.O.C.S. (American Oil Chemistry Society)
Acidez (ac. Oleico)	0,37	NB 34004	0,2476	NTC 2781
Índice de peróxidos (meq O ₂ /kg de aceite)	2,04	NB 34008	Max 5	NTC 2781
Humedad y materia volátil %	0,09	NB 205-77	0,16	---
Cenizas %	N. d.	Gravimetría	---	---

Fuente: Elaboración propia, en base a la información entregada por el CEANID, 2015

La densidad obtenida para el aceite de ricino está dentro de los límites permitidos con un valor de 0,9575 g/ml a una temperatura de 20 °C. (Sánchez I. A. y Huertas K. 2012) obtuvo un resultado para este parámetro de 0,9589 g/ml a una temperatura de 25 °C, en otro estudio realizado por (Conceição et al. 2007) donde obtuvo un resultado de 0,9584 g/ml a 20 °C la alta densidad del aceite de ricino le confiere la propiedad de ser miscible con cualquier alcohol en cualquier concentración.

El valor obtenido del índice de refracción determinado a 20°C para este parámetro es de 1,4770, el valor hallado se encuentra dentro del rango establecido por especificaciones internacionales para el aceite de ricino como la A.O.C.S., el cual reporta un índice de refracción entre 1,473-1,477 a 20°C (Sánchez I. A. y Huertas K. 2012) obtuvo el mismo valor que esta investigación a una temperatura de 23 °C.

El valor de la acidez total expresada como (g ácido oleico/100 g de aceite), se encontró un valor de 0,37% comparado con el valor de 0,2476% (obtenido por Sánchez I. A. y Huertas K. 2012). El valor especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 2781 para este parámetro es máximo de 4%, lo cual muestra que se realizó un adecuado acondicionamiento de la materia prima y un adecuado almacenamiento del producto obtenido, que no permitió el desarrollo de reacciones hidrolíticas que deteriore el aceite.

El valor del índice de peróxidos expresado como meq O₂/kg aceite es de 2,04. Según la Norma Técnica Colombiana NTC 2781 el aceite de ricino debe cumplir con un índice de peróxidos en miliequivalentes de oxígeno activo/1000 g máximo de 5; comparando estos resultados se puede concluir que el aceite de ricino analizado en esta investigación es de buena calidad en cuanto a este parámetro lo que pone en manifiesto una alta resistencia a la oxidación y un bajo grado de rancidez o deterioro.

El agua es uno de los contaminantes más destructivos en los aceites y puede causar estragos en su sistema si contamina al mismo. En esta investigación el aceite obtenido presentó un valor de humedad de 0,09%, es un valor menor al obtenido por (Sánchez I. A. y Huertas K. 2012) que obtiene el 0,16% de humedad, el cual es favorable evitando la oxidación, hidrólisis y aireación del aceite.

En cuanto al parámetro del contenido de cenizas, no se logró identificar dentro del aceite esta propiedad más que todo es de especial significación en la parte de lubricación, la cual demuestra que es un aceite que no llega a provocar desgastes a piezas en movimiento.

3.7. COSTOS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

A continuación se presenta la tabla III-15 con la información resumida de los costos para la realización del presente estudio.

Tabla III-15: Costo total de la investigación

Descripción	Costo total (Bs)
Detalle de análisis de laboratorio	345
Detalle de servicios directos e indirectos	7050
Detalle de reactivos y materia prima	240
Detalle de materiales directos e indirectos	610
Costos energéticos	65,254
Total	8310,254

Fuente: Elaboración propia, 2015

En el Anexo C se muestran a detalle todos los costos para la realización del presente estudio de investigación.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES

- Según lo establecido en la propuesta de trabajo, se realiza la extracción del aceite de ricino por el método de extracción sólido-líquido usando como solvente éter de petróleo.
- La caracterización de materia prima lo realiza el laboratorio (RIMH), estableciendo los valores de los siguientes parámetros:

Humedad: 2,83%

Materia seca: 97,17%

Materia grasa: 52,84%

Fibra: 2,11%

Por lo que se llega a concluir que esta semilla puede constituir una importante materia prima para la elaboración de productos de mayor valor agregado demostrando un porcentaje alto de contenido de materia grasa.

- El rendimiento del proceso de extracción de aceite de ricino planteado según el diseño factorial se incrementa con el mayor tiempo de extracción (8 h) y con el menor tamaño de partícula (1 mm); al utilizar esta metodología se obtuvo un rendimiento de 58,475%.
- Los resultados del diseño factorial utilizando el programa estadístico de *SPSS* señalan que el tiempo de extracción y tamaño de partícula, influyen significativamente en el rendimiento de extracción; la interacción del tiempo de extracción y tamaño de partícula no influyen significativamente en el rendimiento, con un nivel de significancia de 0,507.
- La extracción de aceite de ricino recién extraído presenta una coloración amarillento/pálido, además de algunas impurezas como: residuos de semillas, que se eliminaron mediante sedimentación y posterior centrifugación.
- Los parámetros fisicoquímicos, mediante los cuales definimos la calidad del aceite de ricino presentan resultados dentro de las especificaciones internacionales dadas

por la AOCS y la NTC en los parámetros analizados. También concordaron con los resultados encontrados en otras investigaciones, confirmando la buena calidad del aceite obtenido en esta investigación, las mismas son:

Densidad: 0,9575 g/ml

Índice de refracción: 1,4770

Acidez: 0,37 %

Índice de peróxidos: 2,04 meq. O₂/Kg

Humedad y materia volátil: 0,09%

Cenizas: N. d.

- A diferencia de la cantidad de aceite, los parámetros fisicoquímicos aquí determinados para definir la calidad del aceite, no presentaron variaciones importantes; las pequeñas diferencias encontradas en algunos resultados obedecen a otros factores como la manipulación y el estado de la semilla, entre otros.

4.1. RECOMENDACIONES

- En esta investigación se encontraron buenos resultados en cantidad y calidad de aceite, sin embargo estos resultados son a escala experimental; por lo tanto es recomendable realizar un estudio de producción de este aceite a escala comercial para su aplicación, recomendando adquirir una planta piloto de bajo volumen para el procesamiento de este aceite y así obtener datos de rendimiento y calidad de aceite que se asemejen más a la producción industrial a gran escala, mediante las condiciones y parámetros establecidos en esta investigación.
- Aplicar los conocimientos de la presente investigación para la introducción del aceite de ricino al mercado nacional, ya que este tiene muchas aplicaciones y usos industriales, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.
- Se recomienda el estudio de nuevos usos del aceite de ricino obtenido y de sus derivados.
- Siempre con el objetivo de buscar recursos que aporten beneficios a la recuperación y sostenibilidad sin sacrificar la productividad, se recomienda estudiar las cascarillas y la torta que queda después de la extracción de las semillas de ricino, para evaluar sus propiedades y potenciales usos.
- Se recomienda incentivar y difundir el no utilizar aceites provenientes de especies vegetales oleaginosas comestibles, dado que puede existir una competencia innecesaria con los alimentos, situación que no es compatible con el concepto de preservación alimentaria, se prefiere el uso de aceite de ricino, que es una especie no alimenticia.
- Se recomienda al **DPIBA** y a la Carrera de Ingeniería Química equipar al Laboratorio de Operaciones Unitarias con equipos que permitan avanzar las investigaciones propuestas.