UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

"CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE DE CUATRO ECOTIPOS DE PIÑÓN (*Jatropha curcas L.*) CON POTENCIAL PARA BIODIESEL DE LA PROVINCIA DE UTCUBAMBA - REGIÓN AMAZONAS"

TESIS
Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES: **Br. SEGUNDO JORGE PURIZACA JIMÉNEZ**
Br. VICTOR GUEVARA SÁNCHEZ

ASESOR: **Ms.C. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

CHACHAPOYAS - AMAZONAS - PERÚ

2009

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE DE CUATRO ECOTIPOS DE PIÑÓN (*Jatropha curcas L.*) CON POTENCIAL PARA BIODIESEL DE LA PROVINCIA DE UTCUBAMBA - REGIÓN AMAZONAS

TESIS

Para Obtener el Título Profesional de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES : Br. SEGUNDO JORGE PURIZACA JIMÉNEZ
Br. VICTOR GUEVARA SÁNCHEZ

ASESOR : Ms.C. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS - AMAZONAS - PERÚ

2009

DEDICATORIA

A mis padres Lidia Esperanza Jiménez Chavez y Jorge Luís Purizaca Imán, por el apoyo incondicional que me brindaron en estos años y especialmente en el desarrollo de la presente tesis.
A Patty y Xiomara por ser el motivo para seguir adelante.

Jorge

A mi padre y hermanos por el apoyo brindado a lo largo de mi formación profesional y el desarrollo de la presente tesis.

Victor.

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento a nuestro asesor, el Ms.C Ing. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por su valiosa colaboración y sugerencias que nos brindó para la realización del presente trabajo.

Al jefe de la Estación Experimental Agraria El Porvenir del INIA-TARAPOTO, Ing. Oscar E. Gutiérrez Vega, por permitir el acceso a la Estación Experimental y las facilidades otorgadas dentro de la misma.

Al coordinador técnico del proyecto piñón-Tarapoto Ing. Ronald G. Echeverría Trujillo por el apoyo brindado en las gestiones para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Un especial agradecimiento al responsable del laboratorio de poscosecha y agroindustria de la Estación Experimental Agraria El Porvenir del INIA-TARAPOTO Br. Richer Garay Montes, por la confianza depositada en nosotros y por las facilidades otorgadas para el desarrollo del presente trabajo.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

DR. HECTOR EMILIO GARAY MONTAÑÉS

Presidente de la Comisión de Gobierno

Ms.C. LORENZO MELQUIADES ALVITES VELEZ MORO

Vicepresidente Académico de la Comisión de Gobierno

ING. FEDERICO RAÚL SÁNCHEZ MERINO

Vicepresidente Administrativo de la Comisión de Gobierno

Ms.C. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Coordinador de la Facultad Ingeniería

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El Docente de la UNAT-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada **"CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE DE CUATRO ECOTIPOS DE PIÑON (*Jatropha curcas L.*) CON POTENCIAL PARA BIODIESEL DE LA PROVINCIA DE UTCUBAMBA - REGIÓN AMAZONAS"** de los egresados de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAT-A.

Br. Segundo Jorge Purizaca Jiménez

Br. Victor Guevara Sánchez

El Docente de la UNAT-A que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la tesis mencionada, dándole pase para que sea sometido a la revisión del Jurado Evaluador, para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 31 de agosto del 2009.

Ms.C. Miguel Angel Barrena Gurbillón
Profesor D.E. UNAT-A

JURADO EVALUADOR

ING. GUILLERMO IDROGO VÁSQUEZ

PRESIDENTE

Ms.C. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ

SECRETARIO

Blgo. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

VOCAL

Chachapoyas - 2009

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
JURADO EVALUADOR	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

I. INTRODUCCIÓN..... 1

1.1 Materia Prima..... 3

1.1.1. Descripción botánica del piñón..... 3

1.1.2. Taxonomía del piñón blanco..... 4

1.1.3. Productos derivados de la *Jatropha curcas L.*..... 5

1.2. Extracción del aceite..... 6

1.3. Características que se evalúan en el aceite..... 8

1.3.1. Impurezas..... 8

1.3.2. Humedad..... 9

1.3.3. Densidad..... 9

1.3.4. Viscosidad..... 9

1.3.5. Acidez..... 10

1.3.6. Índice de yodo..... 10

II. MATERIAL Y MÉTODOS..... 15

2.1. Materia prima..... 15

2.2. Métodos..... 15

2.2.1. Procedimiento para extracción de aceite en el equipo Soxhlet..... 15

2.2.2. Proceso de extracción del aceite de las semillas de piñón mediante prensado hidráulico 16

2.2.3. Caracterización fisicoquímica del aceite..... 18
2.2.3.1. Determinación de la densidad del aceite 18
2.2.3.2. Determinación de la viscosidad..... 20
2.3.3.3. Determinación de impurezas..... 20
2.2.3.4. Humedad y materiales volátiles..... 20
2.2.3.5. Determinación del punto de humo..... 21
2.2.3.6. Determinación del punto de combustión..... 21
2.2.3.7. Determinación del índice de acidez..... 21
2.2.3.8. Determinación del índice de yodo..... 21
2.2.3.9. Determinación del índice de peróxido..... 23

III. RESULTADOS..... 25

3.1 Características de la materia prima..... 25

3.1.1 Procedencia..... 25

3.1.2 Características biométricas y físicas del fruto..... 26

3.2 Contenido de aceite de las semillas..... 29

3.3 Parámetros de extracción de aceite mediante prensado hidráulico..... 30

3.3.1 Rendimiento neto de extracción de aceite por prensado hidráulico..... 40

3.3.2 Balance de materia..... 42

3.4 Caracterización del aceite de piñón..... 43

3.5 Análisis de varianza y comparación de medias..... 45

IV. DISCUSIÓN..... 49

V. CONCLUSIONES..... 51

VI. RECOMENDACIONES..... 53

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 54

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Diferencias botánicas entre las tres especies de *Jatropha*..... 5

Tabla 2: Evaluación de oleaginosas..... 8

Tabla 3: Especificaciones del aceite y del biodiesel de especies de piñón..... 11

Tabla 4: Características físico-químicas del aceite de piñón e higuerilla..... 12

Tabla 5: Comparación entre aceite de piñón y el diesel normal..... 12

Tabla 6: Propiedades, materia prima y productos de la producción de biodiesel... 13

Tabla 7: Origen, composición y contenido de semillas de piñón..... 13

Tabla 8: Norma Técnica Peruana para el diesel N° 2..... 14

Tabla 9: Densidad absoluta del agua en función de la temperatura, tomando como unidad la masa en gramos de 1 mL de agua a 4°C..... 19

Tabla 10: Cantidad de muestra según el índice de iodo previsto..... 22

Tabla 11: Cantidad de muestra según el índice de peróxido previsto..... 23

Tabla 12: Georeferenciación de ecotipos en la Provincia de Utcubamba..... 25

Tabla 13: Características Botánicas de *Jatropha curcas* 26

Tabla 14: Contenido de humedad de semillas de piñón..... 26

Tabla 15: Características biométricas de frutos de piñón fresco..... 27

Tabla 16: Características biométricas de frutos de piñón seco al ambiente..... 28

Tabla 17: Composición y contenido de fruto y semillas de *Jatropha curcas L*..... 29

Tabla 18: Contenido de aceite en base a la semilla y endospermo..... 30

Tabla 19: Rendimiento de la extracción de aceite con doble prensado hidráulico en función de la humedad..... 30

Tabla 20: Rendimiento de la extracción de aceite mediante prensado hidráulico en función de la humedad..... 31

Tabla 21: Rendimiento de la extracción de aceite en función de la temperatura.... 32

Tabla 22: Rendimiento de la extracción de aceite en función de la presión..... 33

Tabla 23: Rendimiento de la extracción de aceite del endospermo en función de la humedad..... 34

Tabla 24: Rendimiento de la extracción de aceite de semilla molida en función de la humedad..... 35

Tabla 25: Rendimiento de la extracción de aceite en función del tamaño de partícula del endospermo..... 36

Tabla 26: Análisis de varianza para los parámetros de prensado..... 37

Tabla 27: Prueba de Tukey de los parámetros de prensado hidráulico..... 38

Tabla 28: Rendimiento neto en la extracción por prensado hidráulico de semillas de piñón (*Jatropha curcas L.*)..... 40

Tabla 29: Balance de materia en el proceso de extracción de aceite de piñón(*Jatropha curcas L.*) mediante prensado hidráulico..... 43

Tabla 30: Valores de medias por mínimos cuadrados de los resultados de caracterización de aceite de piñón con 95,0 % de nivel de confianza..... 44

Tabla 31: Análisis de varianza para los resultados de la caracterización fisicoquímica del aceite de piñón..... 46

Tabla 32: Prueba de Tukey para la caracterización del aceite de los 4 ecotipos de piñón (*Jatropha curcas L.*)..... 47

Tabla 33: Georeferenciación de los puntos de ubicación de plantas patrón por ecotipo de *Jatropha curcas L.* 61

Tabla 34: Coordenadas latitudinales en la georeferenciación de ecotipos de *Jatropha curcas L.* 62

Tabla 35: Variables respuestas (Yi) de la caracterización del aceite utilizados en la prueba de Tukey 63

Tabla 36: Variación de la humedad de semillas de piñón secado en estufa..... 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1: Flujograma general para la extracción de aceite por prensado hidráulico..... 17

Figura 2: Rendimiento de extracción de aceite en función de la humedad con dobleprensado..... 31

Figura 3: Rendimiento de extracción de aceite en función de la humedad..... 32

Figura 4: Rendimiento de extracción de aceite en función de la temperatura..... 33

Figura 5: Rendimiento de extracción de aceite en función de la presión..... 34

Figura 6: Rendimiento de extracción de aceite del endospermo en función de la humedad..... 35

Figura 7: Rendimiento de extracción de aceite de la semilla molida en función de la humedad..... 36

Figura 8: Diagrama de flujo cuantitativo del proceso de extracción del aceite de piñón (*Jatropha curcas L.*) mediante prensado hidráulico..... 42

Figura 9: Variación de humedad en el secado de semillas de piñón..... 64

ÍNDICE DE ANEXOS

Pag.

Anexo 1: ubicación de plantas patrón por ecotipo de *Jatropha curcas L.*. 61

Anexo 2: Georeferenciación de ecotipos de *Jatropha curcas L.*..... 62

Anexo 3: Variables respuestas (Yi) de la caracterización del aceite utilizados en la prueba de Tukey..... 63

Anexo 4: Variación de la humedad de semillas de piñón secado en estufa..... 64

Anexo 5: Contraste múltiple de rango de medias para el contenido de aceite..... 65

Anexo 6: Contraste múltiple de rango de medias para la densidad del aceite..... 66

Anexo 7: Contraste múltiple de rango de medias para la viscosidad del aceite..... 67

Anexo 8: Contraste múltiple de rango de medias para la acidez del aceite..... 68

Anexo 9: Contraste múltiple de rango de medias para el índice de peróxido del aceite..... 69

Anexo 10: Contraste múltiple de rango de medias para el punto de humo del aceite..... 70

Anexo 11: Contraste múltiple de rango de medias para el punto de combustión del aceite..... 71

Anexo 12: Fotografía 1..... 72

Anexo 13: Fotografías 2 y 3..... 73

Anexo 14: Fotografías 4 y 5..... 74

Anexo 15: fotografía 6..... 75

Anexo 16: fotografía 7 y 8..... 76

Anexo 17: fotografía 9 y 10..... 77

Anexo 18: fotografía 11 y 12..... 78

Anexo 19: fotografía 13..... 79

Anexo 20: fotografía 14 y 15..... 80

Anexo 21: fotografía 16..... 81

Anexo 22: fotografía 17 y 18..... 82

Anexo 23: fotografía 19 y 20..... 83

Anexo 24: fotografía 21..... 84

Anexo 25: fotografía 22..... 85

Anexo 26: fotografía 23 y 24..... 86

Anexo 27: fotografía 25..... 87

Anexo 28: fotografía 26 y 27..... 88

Anexo 29: fotografía 28 y 29..... 89

Anexo 30: Matriz de actividades..... 90

RESUMEN

La presente investigación busca conocer las características fisicoquímicas más resaltantes de la fracción de aceite de las semillas de piñón para valorar las plantas de importancia oleica existentes en nuestra Región, y a la vez despertar el interés para la preservación de ecotipos con potencial para biodiesel, y además promover la generación de alternativas adecuadas para la extracción de aceite.

Se identificó el piñón blanco teniendo en cuenta las características botánicas más resaltantes de las flores y frutos para no confundir con otras especies, en cuatro distritos ubicados entre los 300 y 600 msnm en la Provincia de Uctubamba. Se colectó semillas en estado de madurez fisiológica, secando al aire libre hasta reducir a 8.5 % de humedad de la semilla, realizando métodos de control biométrico. Para la determinación del contenido de aceite por el método soxhlet se utilizó el endospermo secado en estufa por 24 horas, encontrándose contenidos entre 53,2 y 67,8 % de aceite del endospermo seco; por lo que expresado en base a semillas con humedades de 7,6 a 9,5 %, contienen 31 a 39 % de aceite. Para la caracterización fisicoquímica se utilizó muestras de aceite extra virgen obtenido por el método de prensado hidráulico, de acuerdo al siguiente flujo: limpieza, selección, acondicionamiento, molienda, prensado y almacenado 3 días en obscuridad en un sistema cerrado. Sin embargo los resultados obtenidos, tales como el número ácido muestran valores comprendidos entre 0,58 y 1,12 mg KOH/100 mL. lo que significa buenas condiciones de materia prima como fuente para la producción de biodiesel. Los parámetros de prensado se realizaron teniendo en cuenta el control de un solo factor variable y manteniendo constante otros factores en cada ensayo, siendo la temperatura mayor a 30 °C, presión mayor de 3460 Psia. y humedad menor de 3.8 % para el endospermo entero o molido. Para las semillas enteras de piñón los parámetros más adecuados en el prensado hidráulico son: tamaño de partícula de 3 mm, humedad menor de 4,2 %, temperatura mayor de 30 °C y presión mayor a 3460 Psia. La máxima extracción de aceite en bruto por prensado hidráulico fue 25,8 %, cuya eficiencia de extracción es de hasta 67,3 % teniendo en cuenta el contenido promedio de 38,32% de aceite extraído en soxhlet. Sin embargo realizando doble prensado se obtuvo 27,38 % de aceite de la semilla con 3.2 % de humedad.

Palabras clave: *Jatropha curcas L.*, Biodiesel, Extracción, Aceite.

ABSTRACT

This research seeks to understand the most outstanding physical and chemical characteristics of the oil fraction of pinon *Jatropha curcas L.* seeds to assess the existing oleic important plants in our Region, and simultaneously stimulate interest in the preservation of ecotypes with potential for biodiesel, and also promote the generation of adequate alternatives to oil extraction.

We identified the white pinion bearing in mind the most outstanding botanical features of flowers and fruits not to confuse with other species, in four districts located between 300 and 600 m in the Province Uctubamba. Seeds were collected in a state of physiological maturity, drying outdoors to reduce to 8,5% seed moisture, making biometric methods. For the determination of oil content by Soxhlet method was used endosperm kiln drying for 24 hours, being contained between 53,2 and 67,8% oil dry endosperm; as expressed in seeds based on humidity from 7,6 to 9,5%, contain 31 to 39% of oil. For the physicochemical characterization was used extra virgin olive oil samples obtained by the method of hydraulic pressing, according to the following flow: cleaning, sorting, packing, milling, pressing and stored 3 days in darkness in a closed system; however, the results obtained, such as acid number show values ranging between 0,63 and 1,18 mg mL KOH/100 which means good conditions as a source of raw material for biodiesel production. Pressing parameters were made taking into account the control of a single variable factor and other factors held constant during each test, the temperature being greater than 30 degrees C, pressure greater than 3460 psia. and humidity less than 3,8% for the whole or ground endosperm. For whole seeds of the parameters most suitable gear in the hydraulic pressing are: particle size of 3 mm, less than 4,2% moisture, temperature over 30 ° C and pressure greater than 3460 psia. The maximum extraction of crude oil by hydraulic pressing was 25,8%, whose extraction efficiency is up to 67,3% taking into account the average content of 38,32% of oil extracted in soxhlet. However, to realize a pressed double we obtained 27, 38% in seed with 3.2 % damp.

Key word: *Jatropha curcas L.* Biodiesel, Extraction, Oil

I. INTRODUCCIÓN

La energía en el ser vivo proviene de tres principales elementos nutritivos: proteínas, lípidos y carbohidratos. De estos tres, los lípidos son los que tienen mayor valor energético, sin embargo estos no sólo se utilizan para el consumo humano, cabe resaltar la diversidad de usos para obtener otras formas de energía a partir de la combustión en motores y en alumbrado público para suplir las necesidades energéticas que estén acorde con la conservación del medio ambiente. El aceite de *Jatropha curcas L.* fue utilizado hace mucho tiempo como fuente de energía es por ello que se presta para uso directo como biocombustible en motores especialmente convertidos o procesados para producir biodiesel y mezclado con el diesel existente sin necesidad de convertir el motor. El biodiesel fue el primer combustible en ser usado cuando Rudolf Diesel presentó su motor en Augsburgo, Alemania el 10 de Agosto de 1893. Por esta razón, se ha declarado este día como el "Día Internacional del Biodiesel".

Una pregunta recurrente suele ser, ¿en qué cultivo se puede sustentar el desarrollo del biodiesel en el Perú? No hay, sin embargo, hay una respuesta única a ello, ya que el cultivo a recomendar dependerá de la zona, clima y disponibilidad de insumos, tierra y agua (Castro y otros, 2007); en tal sentido se prevee que en el territorio nacional y fundamentalmente en la región Amazonas existen condiciones edafoclimáticas favorables para el desarrollo de cultivos oleaginosos perennes de carácter energético, teniendo en cuenta que dicho cultivo se realice en terrenos sin plantaciones donde no atente contra la seguridad alimentaria de la región y el país.

Actualmente se proyecta el uso racional de aceites, principalmente de *Jatropha curcas L.* como fuente para biodiesel en diferentes países, especialmente en el Perú según el Decreto Supremo N°. 021-2007-EM que regula el Reglamento de Comercialización de Biocombustibles (mezcla B2 desde el 2009 y mezcla B5 desde el 2011). Tendrá como principal efecto una gran demanda por aceite, y como consecuencia de cultivos oleaginosos, que podría impulsar un crecimiento importante en el sector agrícola.

La región Amazonas, cuenta con especies vegetales poco conocidas, cuyos frutos contienen grandes cantidades de materia grasa; las mismas que no han sido

suficientemente estudiadas y a pesar que el Perú es un país deficitario en producción de grasas y aceites.

El piñón (*Jatropha curcas L.)*, conocido mundialmente como piñón blanco o según el país en que fue reconocido recibiendo diferentes nombres, tales como pinhao manso (Brasil), tempate (México), piñón de leche o piñón de botija (Cuba), es un arbusto de la clase Euphorbia con gran resistencia a la sequía. Es nativo de Centroamérica y México, pero hoy en día se encuentra en toda la zona tropical y subtropical. Se cultiva también en Sudamérica, Sureste de Asia, India y África. En el Perú se encuentra en distintas áreas propagándose de forma espontánea, como maleza de otros cultivos y comúnmente formando cercos vivos cultivados por agricultores. Se adapta a una amplia variedad de suelos, desarrollándose normalmente en suelos áridos y semiáridos. Responde muy bien a suelos ácidos o alcalinos. Crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras cascajosas, arenosas y salinas. El piñón blanco resiste muy bien el calor aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera. Se le encuentra mayormente en elevaciones por debajo de los 1200 msnm.

La finalidad del presente trabajo de investigación fue lograr los siguientes objetivos:

a) Recolectar ecotipos de piñón de la provincia de Utcubamba-Región Amazonas con potencial para biodiesel.
b) Determinar el contenido de aceite de cada ecotipo de piñón.
c) Identificar el ecotipo de piñón de mayor potencial como fuente de materia prima para biodiesel.
d) Determinar los parámetros para lograr la mayor extracción de aceite de piñón por prensado hidráulico.

1.1 Materia Prima

1.1.1. Descripción botánica del piñón

Porte: Arbusto, caducifolio, de hasta 8m de alto, usualmente menos, y diámetro de hasta 20 cm, con fuste ramificado a poca altura. Los tallos crecen con discontinuidad morfológica en cada incremento.

Copa: ancha e irregular.

Raíz: Normalmente se forman 5 raíces, una central y 4 periféricas

Corteza: verde amarillenta, pálida y casi lisa, delgada como papel, con desprendimientos en tiras horizontales. Corteza interna blanca con rayas rojas, exuda una savia amarillenta y sabor astringente.

Hojas: alternas, caducas, normalmente con 3 a 7 lóbulos acuminados de borde liso, poco profundos y con peciolos de 5 a 15 cm de largo, lámina acorazonada, de 7 a 32 cm de diámetro, el haz es verde, el envés verde claro y con pelillos finos.

Flores: Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Ambas flores, masculinas y femeninas, son pequeñas (6-8 mm), verde color verde-amarillento en el diámetro y pubescente. Cada inflorescencia rinde un manojo de aproximadamente 10 frutos ovoides o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla

Frutos: El fruto es el ovario maduro y fecundado. Cápsula drupácea y ovoide de 2,5 a 4 cm de largo, casi 3 cm de ancho, un poco carnosa y se abre en tres partes, conteniendo 1 a 3 semillas negras. Las frutas son cápsulas inicialmente verdes pero volviéndose amarillo cuando las semillas están maduras, luego pasan a color café oscuro o negro, son semidehiscentes en estado seco.

Semillas: 1 a 3 por fruto, oblongo elipsoides, de aproximadamente 2 cm de largo y 1 cm de ancho, pálidas, con líneas negras conspicuas. Las semillas enteras contienen un 26% de aceite y las semillas descascaradas y frescas alrededor de 37%. El aceite es incoloro, con un ligero olor a nuez y muy fluido. La semilla es el óvulo maduro y fecundado, compuesto por la corteza o epispermo y el endospermo. Las semillas son longevas y

debe reducirse su humedad hasta alcanzar entre 5 y 7% antes de almacenarse. A la temperatura ambiente las semillas pueden retener una alta viabilidad por lo menos durante un año. Esa característica de longevidad le da ventajas en relación con otras oleaginosas. Sin embargo, con el tiempo el aceite varia su pH, lo que afecta después el proceso de transesterificación para producir biodiesel (lo hace más ácido), lo que encarece el proceso industrial al requerir un consumo mayor de materia prima (Torres, 2006).

La corteza, el fruto, las hojas, las raíces y la madera contienen cianuro. Las semillas contienen el alcaloide curcina, el cual las hace fatalmente tóxicas (Torres, 2006).

Una hectárea logra producir, hasta 750 kg de aceite puro de *Jatropha curcas L.* (30% del peso de la semilla), con un valor calórico de 9 335,0 kcal/kg, y puede alcanzar menos de 4 % de ácidos grasos libres cuando está fresco.

La torta o cake es una mezcla de carbohidratos, fibra, proteína y aceite que no se extrae, la cual contiene algunos componentes tóxicos; aún así es muy útil como biofertilizante por su alto contenido en nitrógeno. Después de eliminados los elementos tóxicos se podría transformar en un excelente alimento balanceado para el ganado, con un contenido proteínico superior a 50%.

Desde el punto de vista ambiental cada árbol puede contribuir a fijar 6 kg de CO_2 (disminución de las emisiones de gases contaminantes) y 9 kg de O_2, además de contribuir a la reforestación de zonas semiáridas y secas, y ayudar a incrementar la biodiversidad, evitar la erosión, restablecer el ciclo hídrico y formar suelos.

1.1.2. Taxonomía del piñón blanco

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Euphorbiales
Familia: Euphorbiaceae
Género: *Jatropha*
Especie: *curcas L.*

A continuación se muestra las diferencias botánicas de tres especies de *Jatropha*

Tabla 1. Diferencias botánicas entre las tres especies de *Jatropha*

Características botánicas	*J. macrocarpa L.*	*J. hieronymi L.*	*J. curcas L.*
Altura (m)	3	5	5-8
N° estambres	10	7 - 10	10
Fruto (cm)	2	2,50	3-5
Semillas (cm)	1,50	2	2,5-3,0
Color	Castaño claro	Castaño	Claro negra
Diseño	Marmoladas	Marmoladas	Lisas
Forma semilla	Subesférica	Subesférica	Oblonga
Carúncula	Grande	Grande	Pequeña
Color flores	Amarillas y rojas	Amarillas y rojas	Amarillo-Verdosas
Glándulas disco femenino	Libres	En anillo	Libres

Fuente: Casotti y Font, 2006

1.1.3. Productos derivados de la *Jatropha curcas L.*

Aceite vegetal: El aceite obtenido del prensado de las semillas es de uso directo para más de 400 productos en la Industria Química. El mayor impacto es su destino para biodiesel. El aceite de *Jatropha curcas L.* y el diesel comparten características similares que hacen del primero una opción viable para sustituir al combustible fósil.

Los lípidos son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, se dividen en aceites y grasas vegetales o animales. Están compuestos principalmente por moléculas denominadas triglicéridos (o triacilgliceroles), que son ésteres de tres ácidos grasos unidos a un glicerol. Se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos no polares. Los aceites son líquidos a temperatura ambiente y contienen ácidos grasos insaturados las grasas se encuentran en los animales y los aceites están presentes en los vegetales (Clair, 2000).

Torta de la molienda: Es utilizada para fertilizante. No obstante si se desintoxica la misma (por técnicas biotecnológicas) se puede emplear para alimento de animal bovino, porcino y aves de corral; ya que es rica en minerales y proteínas.

1.2. Extracción del aceite

Tres son los principales métodos usados para la extracción de grasas y aceites comestibles de los tejidos vegetales y animales: a) Fusión, b) Prensado y c) Extracción por disolventes (Kirschembauer, 1954).

En la extracción por fusión, la grasa se recupera por calentamiento del tejido que la contiene.

La extracción por prensado comprende dos métodos: Extracción por prensado hidráulico (prensado discontinuo), consiste en la separación de los líquidos contenidos en productos sólidos mediante la aplicación de fuerzas de compresión, de modo que las gotas de aceite desgarran y rompen las paredes de las células y salen al exterior. Extracción mediante expellers (prensado continuo), el aceite se separa sometiendo las semillas a presiones muy altas con el sinfín. Las prensas continuas requieren mucha energía y es más eficiente que los sistemas hidráulicos, pero menos eficiente que la extracción por solventes y en consecuencia los costos de puesta en marcha y parada son elevados, factor que afecta los costos de producción de los aceites vegetales.

Tomando como información referencial, las investigaciones sobre oleaginosas en la Región San Martín, los parámetros más adecuados para obtener mayor rendimiento en la extracción de aceite de sacha inchi con el método de prensado hidráulico son: tamaño de partícula 2,19 mm, 6% de humedad, y secado a 60°C en estufa durante una hora; el rendimiento de extracción de aceite de sacha inchi, es de 22%; el máximo rendimiento de extracción de aceite neto es de 37% y la eficiencia neta de extracción es de 75%. El calentamiento rompe las células de las semillas que contienen el aceite, permitiendo que fluya fácilmente (Vela, 1995).

En la extracción por disolvente conocida como sólido-líquido, el soluto contenido en fase sólida se separa por contacto con el disolvente liquido (Brennan, 1970).

Los disolventes más comunes son el éter de petróleo, sulfuro de carbono (este último presenta el peligro de inflamabilidad), hidrocarburos clorinados: por ejemplo tetracloruro de carbono (Bernardini, 1981). La recuperación del disolvente puede hacerse por evaporación o por destilación, según sea su volatilidad y la del soluto contenido (Vian y Ocon, 1972).

Los aceites se refinan mediante dos métodos: físicos y químicos para obtener aceite comestible. El método físico comprende la separación de impurezas del aceite mediante desgomado, blanqueo y deodorización. El aceite se deja en reposo y el agua y los cuerpos sólidos se depositan en el fondo. Con grasas sólidas y aceites poco fluyentes se trabaja con calentamiento. Para activar la precipitación se emplean a veces sustancias tales como sal común, sal glauber y cloruro cálcico, que al mismo tiempo obran adsorbiendo el agua ó clarificantes como silicatos o carbón animal. La clarificación por reposo requiere mucho tiempo y espacio, por esto se emplea poco aunque sería conveniente, cuando se exige un producto final de gran pureza, pues también ciertas sustancias en solución real o aparente, como las materias mucilaginosas o albuminoideas, se sedimentan total o parcialmente por largo almacenamiento. Así se simplifican las nuevas operaciones de refinación, como el blanqueo, la neutralización, etc. Por coagulación se eliminan la gomas de los aceites con una pequeña cantidad (0,05%) de ácido fosfórico concentrado (CORPODIB, 2003).

El método químico se inicia con la neutralización, lavado, blanqueo y deodorización. Sin embargo para obtener materia prima para biodiesel se excluye el blanqueo y la deodorización (Steinbach, 2008).

Biodiesel: Combustible renovable compuesto por ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos que se obtienen a partir de aceites vegetales y/o grasas animales. Lo más habitual es que los ésteres que componen el biodiesel sean metílicos (CEMITEC, 2005).

En la Tabla 2, se presenta la evaluación de algunas oleaginosas empleadas como materia prima para biodiesel, siendo el aceite de castaña cuyo índice de acidez es 0,5 mg de KOH / g aceite alcanzo un rendimiento de 92,9 % de biodiesel y con el aceite de palma 2 cuyo índice de acidez fue 14,4 mg de KOH / g aceite se obtuvo 55,5 % de biodiesel; en tal sentido a menor valor del índice de acidez, se obtiene mayor rendimiento de biodiesel durante el proceso de transesterificación.

Tabla 2: Evaluación de oleaginosas

Insumo	Parte oleaginosa	Rendimiento de extracción de aceite (por métodos mecánicos simples) (% del fruto)	Eficiencia de la extracción (rendimiento/ Contenido teórico)	Contenido teórico	Acidez del aceite (mg KOH/g aceite)	Rdto biodiesel vs. Aceite (% en masa)
Aguaje	Pulpa	0,84	28,07	2,99	10	69,8
Umarí	Pulpa	1,35	25,21	5,36	2	85,6
Piñón	Semilla	2,35	44,85	5,24	8	68,9
Ricino	Semilla	4,01	46,86	8,56	nd.	nd.
Castaña	Semilla	nd.	nd.		0,5	92,9
Sacha inchi	Semilla	nd.	nd.		0,6	86,2
Palmiste	Semilla	nd.	nd.		6,5	83,0
Palma 1	Pulpa	nd.	nd.		5,9	78,2
Palma 2	Pulpa	nd.	nd.		14,4	55,5

Fuente: UNALM - ITDG. Proyecto biodiesel, Evaluación de oleaginosas - Selva Peruana.

nd: no determinado

1.3. Características que se evalúan en el aceite para biodiesel

1.3.1. Impurezas en el aceite

Comprenden todo el conjunto de sustancias insolubles en un disolvente volátil en las condiciones descritas, y que no hayan sido determinadas como "agua y materias volátiles". Del peso total obtenido de impurezas habrá que deducir, eventualmente, el peso de algunas de ellas, que, según el convenio entre las partes o según la costumbre, no deban ser consideradas como tales. El éter de petróleo deja insolubles: impurezas

mecánicas (tierra, arena y residuos diversos); parte de ácidos oxidados libres y sus productos de polimerización, lactonas, jabones de cal, carbohidratos, materias nitrogenadas, determinadas resinas, materias minerales, y no disuelve más que parcialmente los jabones alcalinos (Osorio, 1977).

1.3.2. Humedad

El contenido de agua en un aceite es importante porque produce la hidrólisis de los triglicéridos, que se acelera por las altas temperaturas y presiones y una excesiva cantidad de agua. Durante la transesterificación, la presencia de agua puede causar la saponificación de los ésteres y consumir el catalizador, reduciendo su eficiencia. La presencia de agua tiene un efecto aún más negativo que la de ácidos grasos libres, debe mantenerse por debajo de un 0,06% (Osorio, 1977).

1.3.3. Densidad

La densidad determina la masa de la unidad de volumen, expresada en gramos por centímetro cúbico, a una temperatura dada. La temperatura se debe controlar exactamente ya que la densidad de las materias grasas varía aproximadamente 0,00068 por grado. La temperatura de la determinación no diferirá de la referencia en más de 5 grados Celsius (Osorio, 1977).

1.3.4. Viscosidad

La viscosidad es una medida de la fricción interna entre moléculas, o de la resistencia afluir 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 (Lawson, 1994). La viscosidad influye en el combustible obtenido. La alta viscosidad influye en la pulverización del combustible inadecuadamente, por los sistemas de inyección que poseen los motores diesel de inyección directa modernos. Las mezclas B60 y B30, aunque cumplen con la especificación del índice de cetano poseen una viscosidad fuera del rango recomendado en las normas. Con las mezclas B15 y B5, las cuales cumplen especificaciones, es de esperar un funcionamiento adecuado en los motores que las utilicen (Osorio, 1977).

1.3.5. Acidez

La acidez se determina mediante la titulación o valoración del aceite disuelto en alcohol expresando como índice de acidez 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, 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 (Arango, 2002). Puede expresarse también como porcentaje del ácido graso que predomine en la grasa en cuestión. En caso del aceite de piñón debe expresarse como porcentaje de ácido oleico, por ser el más abundante (Castro y otros, 2007). Este índice es particularmente importante para el proceso de producción de biodiésel (transesterificación), ya que los ácidos grasos libres reaccionan con el catalizador (KOH) formando jabones (saponificación), lo cual lleva a un menor rendimiento en la producción de biodiésel. La saponificación no sólo consume el catalizador, sino que además los jabones producidos promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiésel (Zhang y otros, 2003).

1.3.6. Índice de yodo

Índice de yodo es una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa. Un aceite totalmente saturado poseerá un IY = 0, mientras que a mayor cantidad de insaturaciones se fijará en ellos una cantidad proporcional de yodo, incrementándose este índice, Utilizándose por ello para comprobar la pureza y la identidad de las grasas (el índice de yodo del ácido oleico es 90, del ácido linoléico es 181 y del ácido linolénico 274) (Castro y otros, 2007). Se expresa convencionalmente por el peso de iodo absorbido por cien partes en peso de la materia grasa. Un alto índice de yodo puede indicar menor punto de fusión y mejores propiedades de flujo en frío. Bajo índice de yodo indica mejor estabilidad a la oxidación y polimerización (menor riesgo de formación de sólidos), y mayor número de cetano (mejor calidad de combustión) (Castro y otros, 2007).

1.3.7. 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. Se forman en los puntos de insaturación de las cadenas de carbonos de los ácidos grasos. El índice de peróxido indica la cantidad de miliequivalentes de oxigeno activo, presente en cada gramo de aceite.

La Tabla 3 indica las especificaciones del biodiesel de dos especies de piñón.

Tabla 3: Especificaciones del aceite y del biodiesel de especies de piñón.

Especificaciones del aceite	**Especies de *Jatropha***	
	J. hieronymi L.* y *macrocarpa L.	***J. curcas L.***
Densidad a 20 °C (g/cm^3)	0,905 - 0,915	0,920
Azufre ppm	25 – 35	10-14
Humedad (% masa)	4 – 6	7
Aceites (% masa)	32 – 35	48,5
Índice de Iodo (g yodo/100 mL)	108 – 114	97,5
Endospermo (% en la semilla)	55	56,5
Especificaciones del Biodiesel		
Densidad metiléster	0,865 - 0,870	0,879
Densidad etiléster	0,875 - 0,880	0,886

Fuente: Casotti y Font, 2006; Heller, 1996. Elaboración propia

La tabla 4 muestra algunas características fisicoquímicas del aceite de piñón, aceite de higuerilla y biodiesel de piñón

Tabla 4: Características físico-químicas del aceite de piñón e higuerilla.

Características	Aceite de Piñón de botija	Aceite de Higuerilla	Biodiesel de Piñón de botija
Índice de acidez, (mgKOH/g aceite)	0,96	0,247	0,71
Densidad a 20 °C, (kg/m^3)	914,9	960	878,8
Viscosidad a 37,8 °C, cp	31,5	285	4,327
Índice de saponificación	189,0	143	-
Índice de iodo, g de iodo/100 g aceite	97,0	92	89,4
Índice de peróxido, meq de oxigeno/kg aceite	10,0	0,1	-
Punto de solidificación, °C	< –10,0	< –10,0	-
Cenizas, % masa	< 0,1	-	0,0058
Poder calórico superior, kcal/kg	9,855	-	-

Fuente: Centro de investigaciones del biodiesel, Chenard y otros, 2004.

La tabla 5 muestra la comparación entre las características del aceite de piñón y el diesel normal

Tabla 5: Comparación entre aceite de piñón y el diesel normal.

Características	Unidades	Aceite de piñón	Diesel normal
Gravedad especifica a 20°C	g/cm^3	0,9186	0,82
Punto de llamarada	°C	240	50
Viscosidad a 25 °C	cp	50,73	2,7 a 3,6
Punto de solidificación	°C	2	0,14

Fuente: Torres, 2006.

La tabla 6 muestra las propiedades de la materia prima y de los productos de la producción de biodiesel.

Tabla 6: Propiedades de la materia prima y de los productos de la producción de biodiesel

Componente	Peso molecular (kg/kmol)	Densidad (g/cm^3)	Viscosidad (cp)
Aceite crudo	838,52	0,915	31
Etanol	46,0	0,789	1,4
KOH	56,1	2,04	
Glicerina	92,0	1,26	100 (60° C)
Biodiesel	297,8	0,87	2,58

Fuente: CORPODIB, 2003; Producción de biodiesel en Colombia.

A continuación la tabla 7 indica la composición y contenido de las semillas de piñón.

Tabla 7: Origen, composición y contenido de semillas de piñón

Origen	Composición semilla (% masa)		Contenido (% masa)					
			Pulpa					Semilla
	Cáscara	Pulpa	humedad	ceniza	proteína cruda	grasa cruda	fibra cruda	grasa cruda
Fogo	35,5	64,54	4,68	4,48	20,3	52,83	0,94	34,1
Santiago	44,9	56,08	3,78	3,83	23,5	59,78	1,9	32,9
Sao Tomé	47,7	49,98	7,79	6,37	28,4	46,72	4,23	23,7
Mean	42,7	56,53	5,42	4,89	24,1	53,11	2,36	30,2

Fuente: Composición de semillas de piñón en Cabo Verde, Heller, 1996.

La tabla 8 indica las especificaciones de las características mas resaltantes de la Norma Técnica Peruana para el diesel N° 2

Tabla 8: Norma Técnica Peruana para el diesel N° 2

Características	Especificaciones		Métodos de ensayo		
	Min	Max	ASTM	ISO	NTP
Apariencia	Clara, brillante y libre de partículas visibles		D 4176:19971		
Color ASTM		3	D 1500:1998	2049:1996	
Densidad a 15 °C (kg/m^3)		876	D 287:1995, D 1298:1999	3675:1998	
Punto inflamación (°C)	52		D 93:1999b2	2719:1998	PNTP 321.024:1999
Viscosidad a 40 °C (mm^2/s)	1,7	4,3	D 445:1997	3104:1994	PNTP 321.031:2000
Punto fluidez (°C)		-7	D 97:1996a	3016:1994	
N° acidez (mg KOH/ 100 mL)		0,3	D 974:1997	6618:1997	
Azufre (% masa)		1	D 129:1995	8754:1992	
Cenizas (% masa)		0,005	D 482:19995	6245:1993	
N° Cetano	42		D613:19955	5165:1998	
Índice de Cetano	43		D 976:1995		

Fuente: NTP 321.135 2002 – Biblioteca Virtual del INDECOPI

II. MATERIAL Y MÉTODO

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Postcosecha y Agroindustria de la Estación Experimental Agraria – El Porvenir del Instituto Nacional de Innovación Agraria de Tarapoto. Los análisis fisicoquímicos, se realizaron en el Laboratorio de Química y en el Laboratorio de Tecnología de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

2.1. Materia prima

Semillas de piñón (*Jatropha curcas L.*) recolectados de cuatro ecotipos de la provincia de Uctubamba, en su estado de madurez fisiológica, de plantas cultivadas como cercos vivos por agricultores:

1. Distrito Cajaruro, Caserío de Naranjos Bajo – Sector Los Cocos,
2. Distrito Bagua Grande, Sector Wanchío
3. Distrito El Milagro, Caserío Huarangopampa
4. Distrito Cumba, Sector Trapichillo.

2.2. Métodos

2.2.1. Procedimiento para extracción de aceite en el equipo Soxhlet:

1. Se pesó 5 g de muestra seca y molida sin cáscara (P1).
2. Se empaquetó la muestra en papel de filtro y se amarró con pabilo.
3. Se colocó el paquete en el extractor del aparato Soxhlet.
4. Se añadió 150 mL de disolvente en el balón del equipo Soxhlet.
5. Se ensambló el equipo Soxhlet y se conectó la manguera del tubo refrigerante al caño de agua, la manguera de salida fue al desague.
6. Se conectó la fuente de calor.
7. Se procesó por aproximadamente 3 horas.
8. Se recuperó toda la mezcla aceite-disolvente y se trasvasó al balón del equipo de destilación simple, previamente pesado (P2).

9. Se ensambló el equipo de destilación simple y se procedió a la recuperación del disolvente, verificando que la temperatura de ebullición no supere la del disolvente.
10. Al terminar la destilación, se retiró el balón y se colocó en la estufa para evaporar el sobrante de disolvente, teniendo cuidado ante combustión violenta del disolvente.
11. Se enfrió el balón en una campana de desecación.
12. Se pesó el balón con su contenido de aceite (P3).
13. Se expresó el porcentaje de aceite en gramos de aceite por cada 100 gramos de endospermo.

$$\% \text{ Aceite } \frac{P3 - P2}{P1} \text{ X } 100$$

2.2.2. Proceso de extracción del aceite de las semillas de piñón mediante prensado hidráulico

1. Se realizó el acondicionamiento del equipo a modo de trabajo.
2. Se pesó 250 g de cada muestra de semilla de piñón.
3. Se accionó la gata hidráulica para desplazar verticalmente el cilindro permitiendo el ingreso del pistón hasta presionar las semillas y extraer el aceite.
4. Se retiró el cilindro y escurrió el aceite en el depósito colector de aceite.
5. Se decantó y filtro el aceite.
6. Se envasó y almacenó el aceite.

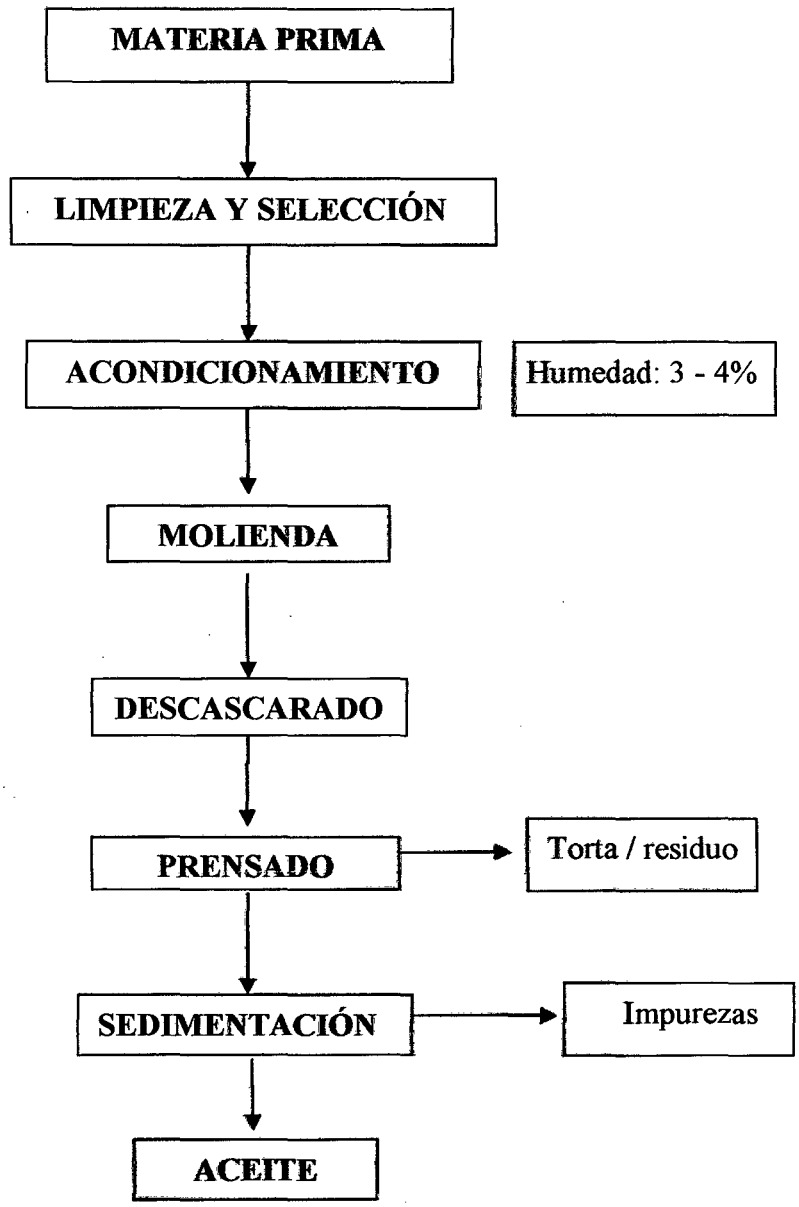


Figura 1: Flujograma general para la extracción de aceite por prensado.

Los procedimientos del diagrama de flujo se describen a continuación:

Materia prima.- semillas de piñón semisecas peladas manualmente (8,5 % de humedad aprox.), limpias recolectadas de los cercos vivos (cultivados por agricultores) de la provincia de Uctubamba-Amazonas.

Limpieza y selección.- libres de materiales extraños y semillas deterioradas (en mal estado).

Acondicionamiento.- calentados según el objetivo para favorecer la extracción de su aceite. En caso de parámetros de extracción se calentó a diferentes temperaturas y para la caracterización se prensó en frío (menor a 37 °C).

Descascarado.- opcional. Se eliminó el epispermo de la semilla, manualmente para evaluar la humedad más adecuada en la extracción del aceite.

Molienda.- se trituró la semilla con un molino de mano para favorecer la liberación de la mayor cantidad de aceite.

Secado.- se reguló la humedad menor a 8% aproximadamente, dependiendo del objetivo de la investigación.

Prensado.- se procedió al prensado de las semillas utilizando una prensa hidráulica construida por los investigadores, para la obtención del aceite.

Aceite.- se recolectó el aceite para ser decantado, filtrado y almacenado para el análisis respectivo.

2.2.3. Caracterización fisicoquímica del aceite

Los análisis fisicoquímicos se determinaran utilizando los métodos oficiales de determinación de análisis de aceites y grasas previamente citadas en las referencias bibliográficas del presente proyecto de tesis, detallándose a continuación:

2.2.3.1. Determinación de la densidad del aceite

La densidad estuvo basada en la relación de su masa y su volumen, afectada por la temperatura, para lo cual se determinó el peso del aceite utilizando un picnómetro lleno y tapado, primero con agua luego con aceite y referenciados con la densidad del agua a la temperatura de la determinación, para expresar en términos de la densidad absoluta, corregida del efecto del empuje del aire recomendado por la A.O.C.S. para ello nos guiamos de una tabla referencial del agua a 4 °C, como se muestra a continuación

Tabla 9: Densidad absoluta del agua en función de la temperatura, tomando como unidad la masa en gramos de 1 mL de agua a 4°C.

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)
2°	0,999968	13°	0,999404	23°	0,997565
3°	0,999992	14°	0,999271	24°	0,997323
4°	1,000000	15°	0,999126	25°	0,997071
5°	0,999992	16°	0,998970	26°	0,996810
6°	0,999968	17°	0,998801	27°	0,996539
7°	0,999929	18°	0,998622	28°	0,996259
8°	0,999876	19°	0,998432	29°	0,995971
9°	0,999808	20°	0,998230	30°	0,995673
10°	0,999728				

Fuente: Métodos oficiales de la A.O.C.S

1. Cálculo de la densidad expresada en g/cm^3 y referida a una temperatura que generalmente será de 20°C para los aceites y grasas líquidas.

   Densidad = d = ((P"-P) / (P'-P)) D; g/cm^3

   Donde:

   P = peso en g del picnómetro vacío.

   P' = peso en g del picnómetro lleno con agua a la temperatura de referencia.

   P" = peso en g del picnómetro lleno con aceite a la temperatura de referencia.

   D = densidad del agua a la temperatura de la determinación (ver Tabla anterior).

   Correcciones

   El valor de la densidad calculado anteriormente puede corregirse del efecto del empuje del aire con la fórmula:

   Densidad corregida = **d + 0,0012 (1 - d)**

   d = densidad sin corregir.

2.2.3.2. Determinación de la viscosidad

La viscosidad del aceite se determinó utilizando un viscosímetro rotatorio, utilizando 8 mL de aceite y colocando el spin N° 21, apropiado para aceites, con el fin de mantener el porcentaje de torque en el rango de medición confiable (10 – 100%), siendo 12,5 % y 100 rpm los parámetros constantes, cuyos valores de viscosidad se presentan en cp.

2.2.3.3. Determinación de impurezas

Las impurezas del aceite se determinaron utilizando 20 g de aceite en un Erlenmeyer, agregándose luego 200 mL de éter de petróleo, tapando, agitando y dejando en reposo a 30°C durante 30 minutos. Luego se filtró en papel filtro sin cenizas, previamente secado y pesado, lavándose finalmente el filtro con pequeñas porciones de disolvente para que las impurezas retenidas por el filtro estén exentas de materia grasa. Se retiró el filtro del embudo, dejando evaporar el disolvente al aire libre y se terminó la evaporación en estufa a 105°C (± 2°C).

Cálculos:

Impurezas % = (100 (P3 – P2)) / P1

P1 = peso en g de la muestra

P2 = peso en g del filtro seco

P3 = peso en g del filtro más impurezas

2.2.3.4. Humedad y materiales volátiles

Se utilizó una estufa a 105 °C y muestra de 50 mL de aceite en bruto, prensado en frío colocando la cápsula con aceite en la estufa, previamente regulada a 105°C, manteniéndola allí durante 30 minutos. Se utilizó un desecador para enfriar; pesando y culminando cuando el secado llegó a mantener peso constante del aceite.

2.2.3.5. Determinación del punto de humo

Se sometió a sobrecalentamiento 15 mL de aceite en el horno mufla. En el momento que el aceite comenzó a desprender un gas azul, se midió inmediatamente la temperatura alcanzada, con un termómetro de 250 °C.

2.2.3.6. Determinación del punto de combustión

Se sometió a sobrecalentamiento 15 mL de aceite en el horno mufla. En el momento que el aceite comienza a desprender una llama intermitente, se midió inmediatamente la temperatura alcanzada con un termómetro de 350 °C.

2.2.3.7. Determinación del índice de acidez

Se utilizó el método de la A.O.C.S, y la técnica de titulación utilizando 5 a 20 g de muestra disueltos con 50 mL de etanol previamente neutralizado con KOH 0,1 N y titulado con la misma solución básica en presencia de fenolftaleína, hasta viraje del indicador a grosella.

$$IA = \frac{V * N * 56.11}{p}$$

ó

$$AGL = \frac{V * N * 282}{10 * p} = IA * \frac{282}{1000} * \frac{100}{p}$$

Donde:

V = Volumen de KOH empleada (mL)

N = Normalidad de la soda

p = Peso del aceite (g)

2.2.3.8. Determinación del índice de yodo

Se utilizó el método Wijs. Recomendado por los métodos oficiales de análisis de aceites. El índice de yodo de un cuerpo graso en función de su grado de instauración se determinó añadiendo a la muestra un exceso de reactivo halogenado, valorando el reactivo que no reacciona. Se expresó convencionalmente por el peso de iodo absorbido por cien partes en peso de la materia grasa.

Según el índice de iodo previsto, la toma de muestra variará de la forma indicada en la tabla 10.

Tabla 10: Cantidad de muestra según el índice de iodo previsto.

Índice de yodo previsto	Toma de muestra (g)
< 5	3,00
5 a 20	1,00
21 a 50	0,60
51 a 100	0,30
101 a 150	0,20
151 a 200	0,15

Fuente: Métodos oficiales de la A.O.C.S.

Se pesó 0,3 g de aceite en un Erlenmeyer con tapón de jebe de aproximadamente 300 mL y se agregó 15 mL de tetracloruro de carbono agitándolo. Luego se agregó exactamente 25 mL del reactivo de Wijs (anexo 20), se tapó el matraz y se agitó ligeramente, protegiéndolo de la luz con papel carbón.

Se dejó 1 hora a oscuras y luego se agregó 20 mL de la solución de ioduro potásico al 10% y 150 mL de agua, valorando con agitación intensa con solución de tiosulfato sódico 0,1 N, en presencia de engrudo de almidón al 1% como indicador, hasta desaparición del color azul.

Paralelamente se hizo un ensayo en blanco, sin materia grasa, en las mismas condiciones.

$$\text{Índice de yodo} = (Vo - V) * \frac{2{,}69*N}{P} \text{, donde}$$

V_o= volumen en mL de solución de tiosulfato sódico 0,1 N utilizados para el ensayo con la materia grasa

V= volumen en mL de solución de tiosulfato sódico 0,1 N, utilizados para el ensayo en blanco

P = peso en g de la muestra de aceite

N = normalidad de la solución de tiosulfato sódico utilizada.

2.2.3.9. Determinación del índice de peróxido

Se pesó con precisión de 0,0001 g en un matraz, una cantidad de muestra en función del índice de peróxidos que se presuponga de acuerdo a la Tabla 11.

Tabla 11: Cantidad de muestra según el índice de peróxido previsto.

Índice de peróxidos que se supone (meq de O_2/kg)	Peso de la muestra problema (g)
de 0 a 12	de 5,0 a 2,0
de 12 a 20	de 2,0 a 1,2
de 20 a 30	de 1,2 a 0,8
de 30 a 50	de 0,8 a 0,5

Se pesó 1,2 g de resultados de otras investigaciones.
Se añadió 10 mL de cloroformo disolviendo aceite, basado en los rápidamente la muestra problema mediante agitación, añadiendo 15 mL de ácido acético y, a continuación 1 mL de solución de yoduro potásico saturado, cerrando rápidamente el matraz, agitándose durante 1 minuto y llevado a la oscuridad durante 5 minutos exactamente (tapándose con una caja cuyo interior estaba forrado con papel carbón para impedir el ingreso de la luz), a una temperatura de 20 °C. Transcurrido el tiempo se añadió 75 mL aproximadamente de agua destilada. Valorando (agitando al mismo tiempo vigorosamente) el iodo liberado, con la solución de tiosulfato sódico 0,01 N, utilizando la solución de almidón como indicador.

Se realizó simultáneamente un ensayo en blanco. (Si el resultado del ensayo en blanco sobrepasa 0,05 mL de la solución de tiosulfato sódico 0,01 N, sustituir los reactivos).

Expresión de los resultados

El índice de peróxidos (IP), expresado en miliequivalentes de oxígeno activo por kg de grasa se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de peroxido} = (Vo - V) * \frac{N*1000}{P}$$

Vo: es el volumen de $Na_2S_2O_3$ 0,01 N utilizado para titular en blanco.

V: es el volumen de tiosulfato de sodio utilizado para titular con la muestra.

P: es el peso de la muestra de aceite.

III. RESULTADOS

3.1. Características de la materia prima

3.1.1. Procedencia

Las semillas procedieron de 4 distritos de la provincia de Uctubamba- Región Amazonas, detallados en la Tabla 12. Se recolectaron en 3 meses diferentes (enero, marzo, mayo). Para la determinación del contenido de aceite con el equipo soxhlet se utilizó las semillas de la planta patrón (la más antigua de cada ecotipo).

La Tabla 12 muestra la georeferenciacion de los cuatro ecotipos evaluados.
Para el reconocimiento de piñón blanco se tuvo en cuenta algunas características botánicas resaltantes de la *Jatropha curcas L.* indicadas en la Tabla 1 y verificadas en la Tabla 13. En el distrito de Cumba se encontraron plantas madres que bordean los 55 años, según afirmación del propietario de la parcela. La planta mide más de 6 metros y posee un tronco grueso de 38 cm de diámetro aproximadamente.

Tabla 12: Georeferenciación de ecotipos en la provincia de Utcubamba-Región Amazonas.

Ecotipo	Distrito	Caserío y/o anexo	Altitud (msnm)	Coordenadas latitudinales	
				18M	UTM
A	Cajaruro	Naranjos Bajo	576	790485	9365287
B	Bagua Grande	Wanchío	432	782428	9364597
C	El Milagro	Huarangopampa	398	773166	9375216
D	Cumba	Trapichillo	482	759648	9341265

Tabla 13: Características botánicas de *Jatropha curcas L.*

Origen Ecotipos	Edad Aprox (años)	Altura planta (m)	Diámetro de tronco (cm)	Color semillas	Forma de semillas	Color flores
Cajaruro	30	4,2	20	Claro negra	Oblonga	Amarillo-verdosa
Bagua Grande	35	3,8	20	Claro negra	Oblonga	Amarillo-verdosa
El Milagro	35	3,0	20	Claro negra	Oblonga	Amarillo-verdosa
Cumba	55	6,1	38	Claro negra	Oblonga	Amarillo-verdosa

3.1.2. Características biométricas y físicas del fruto

En la tabla 14 se presenta el contenido de humedad de las semillas de piñón.

Tabla 14: Contenido de humedad de semillas de piñón.

Estado del fruto	Origen	Humedad (% peso)
Fresco de color amarillo	Cajaruro	42,82
	Bagua Grande	43,53
	El Milagro	44,06
	Cumba	43,73
Secado al aire libre por un día	Cajaruro	8,5
	Bagua Grande	8,2
	El Milagro	9,6
	Cumba	7,6

La humedad de las semillas influye mucho en la calidad de las semillas almacenadas, ya que a humedades mayores de 8 % (semillas frescas) se pudo observar la aparición de polvos blanquecinos sobre la cáscara, indicando la proliferación de hongos y como consecuencia mal olor del aceite, para ello se controló a humedades de 5-6 % en almacenamiento logrando mantenerse en buen estado para la investigación respectiva.

La tabla 15 muestra las características biométricas de los frutos de piñón en estado fresco y la tabla 16 en estado seco al ambiente, con sus respectivos intervalos de confianza.

Tabla 15: Características biométricas de frutos de piñón fresco

Componentes y características (humedad semillas 8,5 %)		Origen			
		El Milagro	Cumba	Cajaruro	Bagua Grande
Fruto (secado al aire libre)	Peso unitario (g)	13,7 +/- 0,6	13,8 +/- 0,5	13,3 +/- 0,8	15,8 +/- 0,8
	Diámetro (mm)	33,2 +/- 0,9	34,2 +/- 0,8	33,0 +/- 0,7	37,7 +/- 0,9
	Espesor (mm)	29,4 +/- 0,6	31,6 +/- 0,8	29,5 +/- 0,7	31,6+/- 0,7
	Peso semillas (g)	3,8 +/- 0,3	3,7 +/-0,2	3,5 +/- 0,2	4,1 +/- 0,2
	N° semillas	2,9 +/- 0,1	2,9 +/- 0,1	2,8 +/- 0,2	2,9 +/- 0,1
	% semillas (p/p)	27,3 +/- 3	26,7 +/- 2	26,4 +/- 2	26,0 +/- 2
Semilla	Humedad (%)	44,1 +/- 0,5	43,7 +/- 0,3	42,8 +/- 0,2	43,5 +/- 0,2
	Peso (g)	1,5 +/- 0,04	1.5 +/- 0.07	1,4 +/- 0,06	1.5 +/- 0,09
	Largo (mm)	20,9 +/- 0,5	21,4 +/- 0.4	20,1 +/- 0,3	21,0 +/- 0,3
	Peso endospermo	0,86	0,83	0,81	0,87
	% de endospermo (p/p)	57 +/- 0,2	56,5 +/- 0,1	56,3 +/- 0.1	57,2 +/- 0,1

Tabla 16: Características biométricas de frutos de piñón seco al ambiente

Componentes y características (humedad semillas 8,5 +/- 0,5 %)		Origen			
		El Milagro	Cumba	Cajaruro	Bagua Grande
Fruto	Peso unitario (g)	2,9 +/- 0,2	3,3 +/- 0,2	3,0 +/- 0,2	3,1 +/- 0,2
	Diámetro (mm)	27,5 +/- 0,8	27,8 +/- 0,8	27,3 +/- 0,6	27,2 +/- 0,4
	Espesor (mm)	20,8 +/- 0,6	21,5 +/- 0,8	21,3 +/- 0,7	21,1 +/- 0,8
	Peso semillas (g)	2,1 +/- 0,2	2,3 +/- 0,2	2,0 +/- 0,2	2,2 +/- 0,2
	N° semillas	2,9 +/- 0,1	2,8 +/- 0,2	2,8 +/- 0,2	2,9 +/- 0,1
	semillas / fruto (% peso)	74,0 +/- 5	70,0 +/- 4	67,0 +/- 4	72,0 +/- 1,4
Semilla	Humedad (%)	9,5 +/- 0,5	7,6 +/- 0,3	8,5 +/- 0,2	8,2 +/- 0,2
	Peso (g)	0,8 +/- 0,04	0,8 +/- 0,03	0,7 +/- 0,03	0,8 +/- 0,03
	Largo (mm)	19,3 +/- 0,5	19,4 +/- 0,4	18,7 +/- 0,3	19,3 +/- 0,3
	Espesor (mm)	8,9 +/- 0,2	9,1 +/- 0,1	8,6 +/- 0,1	9,1 +/- 0,1
Endosperm o	Peso (g)	0,5 +/- 0,1	0,5 +/- 0,1	0,4 +/- 0,1	0,5 +/- 0,1
	Largo (mm)	15,9 +/- 0,3	15,7 +/- 0,2	15,0 +/- 0,3	15,8 +/- 0,3
	Espesor (mm)	7,2 +/- 0,3	8,1 +/- 0,9	6,6 +/- 0,2	7,7 +/- 0,3
	% endospermo/ semilla (% peso)	64 +/- 2	63 +/- 1	60 +/- 2	63 +/- 2

3.2. Contenido de aceite de las semillas

La Tabla 17 muestra la composición de las semillas y el contenido de aceite de piñón recién colectado y secado al ambiente en donde el promedio de aceite es de 35,46 % a la humedad promedio de 8,45 % de las semillas, cuyo contenido fue determinado por el método Soxhlet.

Tabla 17: Composición y contenido de fruto y semillas de *Jatropha Curcas L.*
El contenido de aceite se determinó por el método Soxhlet.

Origen	Fruto (% peso)			Semilla (% peso)				Aceite (%)	
	Composición		Aceite	Composición		Contenido		Pulpa	Epis permo
	Cáscara	Semilla		Epis permo	Endos permo	Humedad	Aceite		
Cajaruro	31,60	68,40	26,42	41,77	58,23	8,47	31,38	53,89	1,34
Bagua Gde.	27,90	72,10	25,10	31,61	68,39	822	38,97	56,98	nd.
El Milagro	27,20	72,80	21,15	47,74	63,73	9,53	35,72	56,05	
Cumba	29,60	70,40	28,11	42,71	63,20	7,59	35,76	56,58	
Promed.	29,08	70,93	25,20	40,96	63,39	8,45	35,46	55,88	

nd: No determinado

Los resultados mostrados en la Tabla 17 se indica además, el contenido de aceite en el epispermo, que es 1,34 % , demostrando así que en un sistema de extracción por solventes se puede extraer la mayor cantidad sin necesidad de retirar el epispermo de la semilla; en cambio en el prensado hidráulico se obtiene mayor rendimiento al eliminar el epispermo por lo que en éste se adhiere pequeñas cantidades del aceite.

Tabla 18: Contenido de aceite en base a la semilla y endospermo (método Soxhlet).

Ecotipo	% aceite del endospermo seco	% aceite de la semilla seca
El Milagro	61,95	39,03
Cumba	61,23	38,57
Cajaruro	58,88	37,09
Bagua Grande	62,09	39,10
Promedio Total	61,04	38,32

3.3. Parámetros de extracción de aceite mediante prensado hidráulico

Tabla 19: Rendimiento de la extracción de aceite con doble prensado hidráulico en función de la humedad (% aceite de la semilla)

Nº de Observaciones	Humedad (%)						Factores constantes
	10,1	6,5	5,5	4,2	3,2	2,6	Semilla entera prensada dos veces, 30 °C, hasta 5767 Psia.
1	1,67	17,99	23,55	24,52	28,61	21,98	
2	0,00	21,19	25,01	24,29	27,95	23,91	
3	0,00	21,70	20,14	24,24	25,60	24,01	
Promedio	0,56	20,29	22,90	24,35	27,38	23,30	

En la Tabla 19 y figura 2 indican que volviendo a prensar la muestra por segunda vez se puede maximizar hasta 27,38 % el rendimiento promedio de aceite en la extracción, pero esto demandaría doble trabajo y consecuentemente doble costo, por lo que es recomendable el prensado y luego culminar con la extracción por solventes (Magrane, 1994)

Los resultados mostrados en la Tabla 19 y 20 indican que la humedad es un factor importante para la extracción de aceite por prensado.

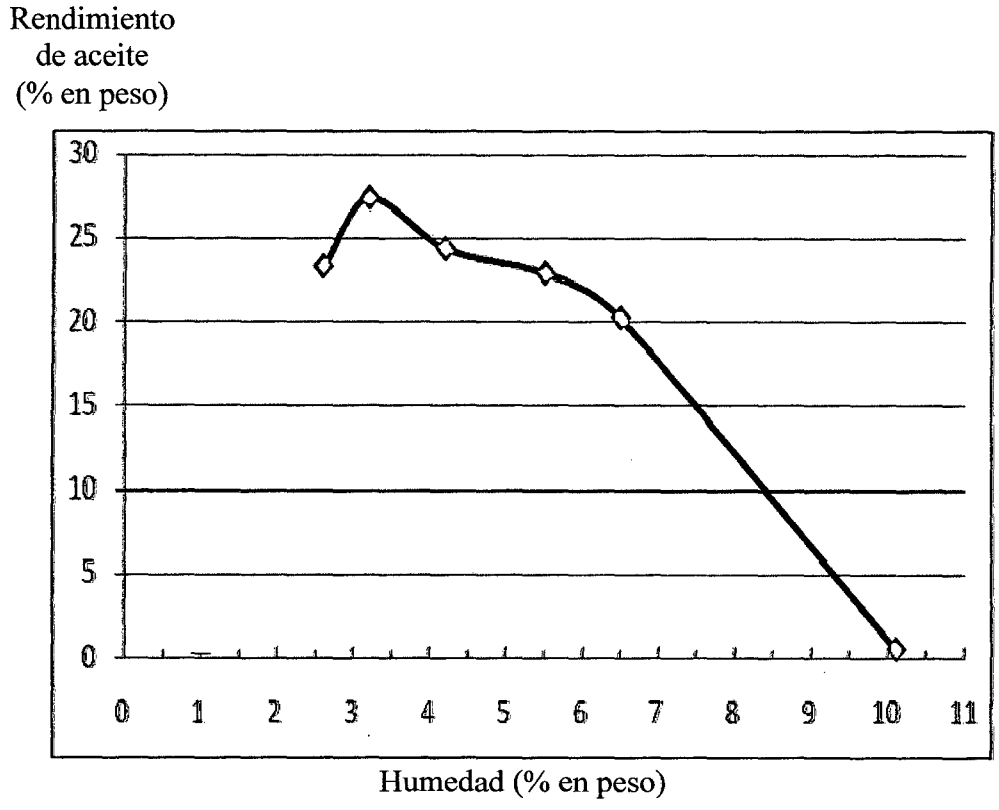


Figura 2: Rendimiento promedio de la extracción de aceite en función de la humedad con doble prensado (datos de la tabla 19).

La tabla 20 y figura 3 indican la variación del rendimiento de extracción de aceite en función de la humedad, manteniendo constante la temperatura y presión de 30°C y hasta 5767 psia respectivamente.

Tabla 20: Rendimiento de la extracción de aceite mediante prensado hidráulico en función de la humedad (% de aceite de la semilla)

N° de Observaciones	Humedad (% en peso)				
	8,0	6,2	5,7	3,8	2,5
1	11,35	18,9	18,45	23,38	21,07
2	11,42	16,9	18,90	23,36	19,28
3	11,51	19,6	19,16	23,05	23,62
Promedio	11,43	18,48	18,84	23,26	21,32

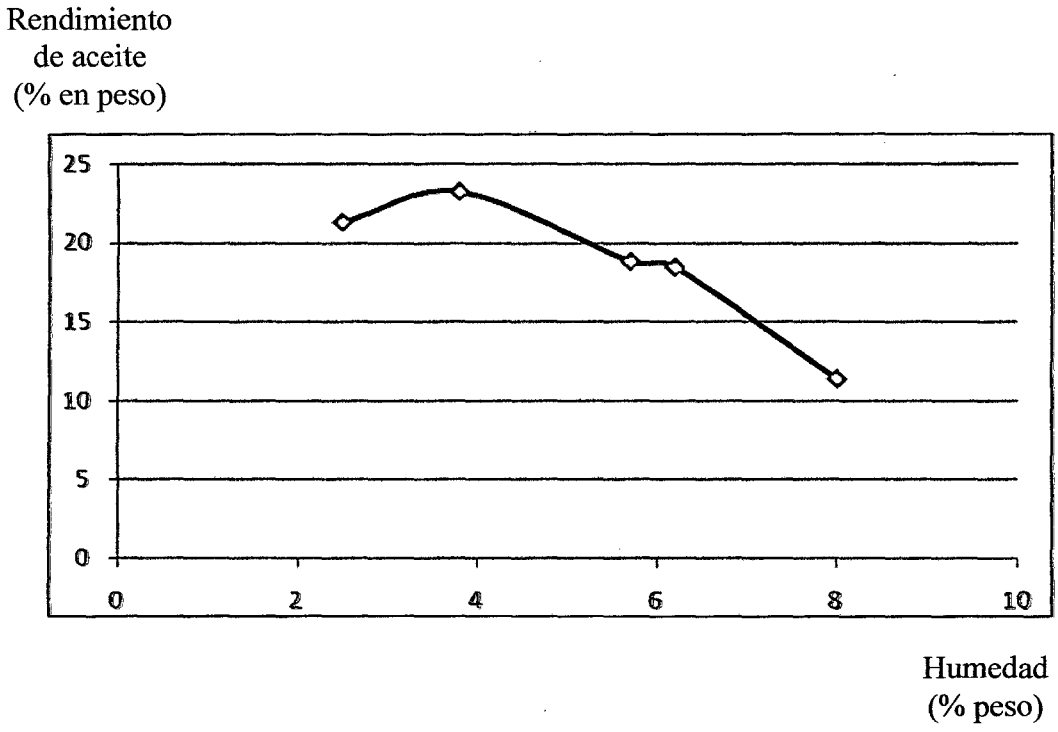


Figura 3: Rendimiento de extracción de aceite en función de la humedad (datos de la tabla 20).

La tabla 21 y figura 4 nos indica la variación del rendimiento de extracción de aceite en función de la temperatura cuyos factores constantes permanecieron a una humedad de 5% y presión de hasta 5767 psia.

Tabla 21: Rendimiento de la extracción de aceite en función de la temperatura (% aceite de la semilla).

Nº de Observaciones	Temperatura (ºC)				
	18	30	40	50	60
1	15,78	21,34	21,16	20,44	20,87
2	14,80	20,71	19,43	19,82	20,26
3	16,65	18,45	20,77	21,18	19,95
Promedio	15,74	20,17	20,45	20,48	20,36

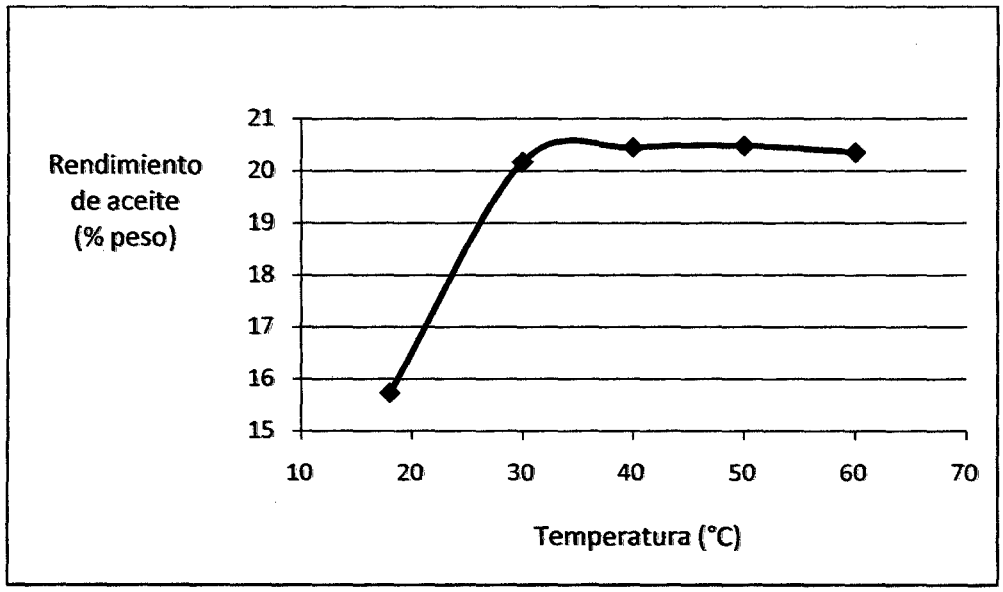


Figura 4: Rendimiento de la extracción de aceite en función de la temperatura (datos de la tabla 21)

En la tabla 22 y figura 5 se observa los rendimientos de extracción de aceite cuando se incrementa la presión manteniendo constante la humedad de 5,2% y temperatura de 20°C.

Tabla 22: Rendimiento de la extracción de aceite en función de la presión (% aceite de la semilla).

N° de Observaciones	Presión (Psia)				
	577	1153	2306	3460	5767
1	0,00	0,02	5,74	18,10	20,53
2	0,00	0,019	7,14	16,60	18,04
3	0,00	0,023	4,30	16,88	19,80
Promedio	0,00	0,02	5,73	17,19	19,46

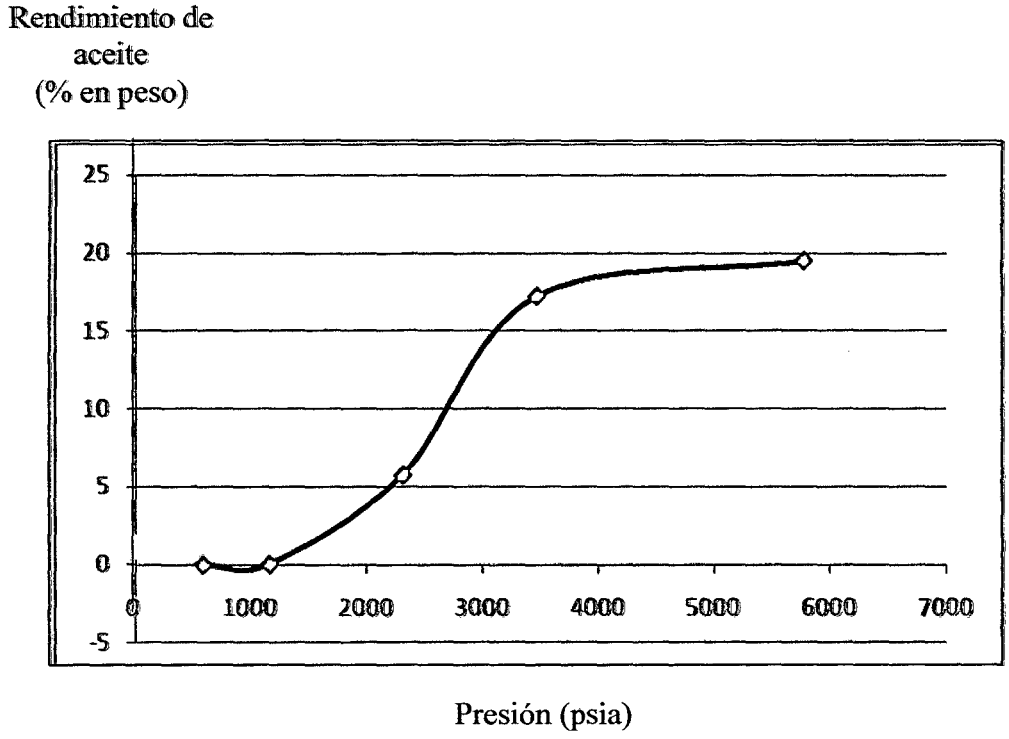


Figura 5: Gráfica del rendimiento promedio de extracción de aceite en función de la presión (datos de la tabla 22).

La tabla 23 y figura 6 indica la variación del rendimiento de extracción de aceite del endospermo entero en función de la humedad, manteniendo constante la presión de hasta 5767 psia.

Tabla 23: Rendimiento de la extracción de aceite del endospermo en función de la humedad (% aceite de la semilla).

N° de Observaciones	Humedad (% en peso)		
	7,9	6,1	2,8
1	0,1197	5,9472	25,3
2	0,0756	7,6419	26,9
3	0,0756	6,3378	25,2
Promedio	0,0903	6,6423	25,8

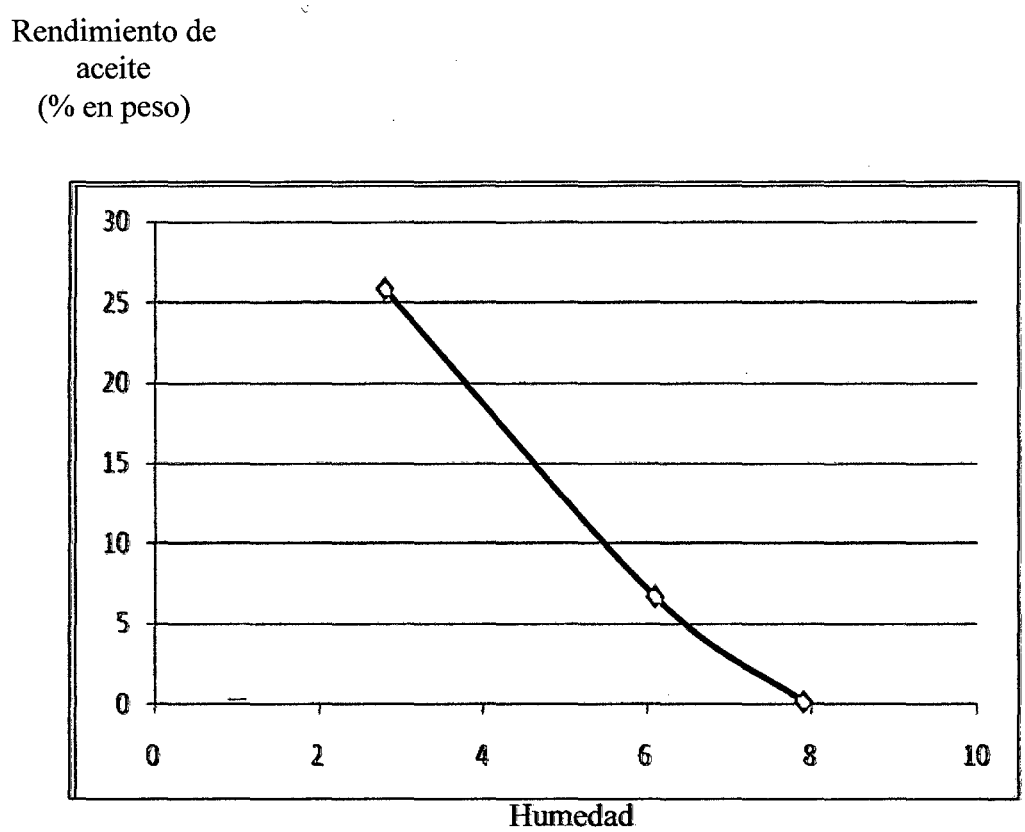


Figura 6: Rendimiento promedio de extracción de aceite del endospermo en función de humedad (datos de la tabla 23)

En la tabla 24 y figura 7 indica la variación del rendimiento de la extracción de aceite en función de la humedad de la semilla molida con diámetro de partícula 3 mm, temperatura de 30°C y presión de hasta 5767 psia.

Tabla 24: Rendimiento de la extracción de aceite de semilla molida en función de la humedad (% aceite de la semilla).

Nº de Observaciones	Humedad (% en peso)		
	5,9	3,8	3,2
1	23,32	23,29	23,96
2	23,61	24,06	25,68
3	22,97	23,1	26,51
Promedio	23,30	23,48	25,38

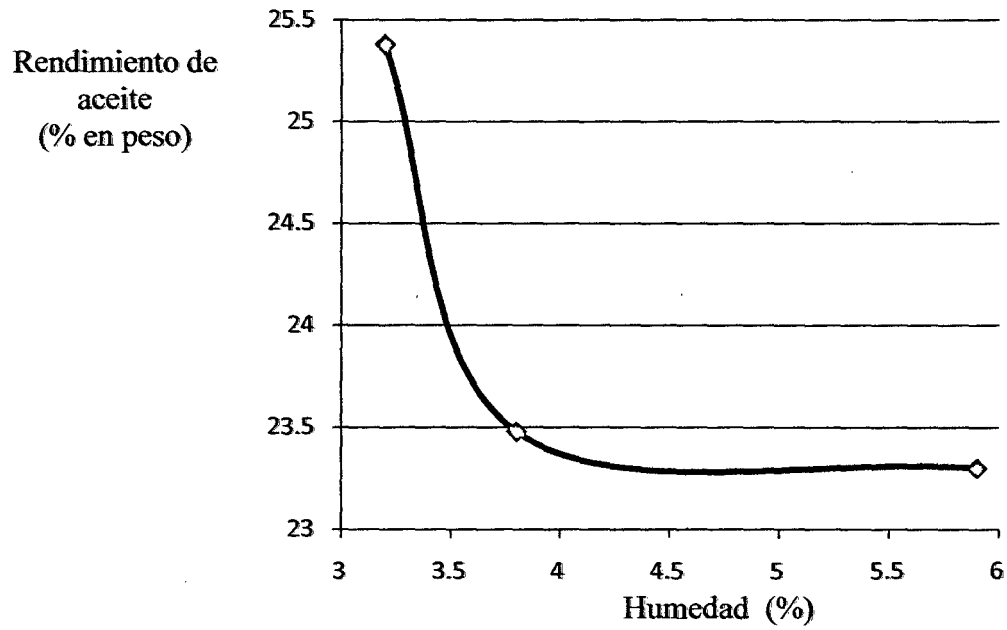


Figura 7: Rendimiento de extracción de aceite de la semilla molida en función de la humedad (datos de la tabla 24).

Observando las figuras 2, 3 y 7 se puede ver que para extraer aceite de la semilla de piñón se debe reducir la humedad a menos del 10 % y si se opta por eliminar el epispermo, la humedad no debe exceder al 8 % (figura 6); caso contrario se obtendrá porciones de pulpa y aceite mezclado en forma de pasta, durante el prensado

La tabla 25 indica el rendimiento de extracción de aceite en función del tamaño de partícula del endospermo de la semilla de piñón.

Tabla 25: Rendimiento de la extracción de aceite en función del tamaño de partícula del endospermo (% aceite de la semilla).

N° de Observaciones	Tamaño de partícula		Factores constantes
	Endospermo entero	Endospermo molido (3 mm)	3% de humedad , 30 °C y hasta 5767 Psia
1	24,04	25,71	
2	24,42	25,82	
3	21,21	24,31	
Promedio	23,22	25,28	

A continuación se demuestra la significancia estadística de los niveles de cada parámetro de prensado, mediante el análisis de varianza.

Tabla 26: Análisis de varianza para los parámetros de prensado.

Parámetro	Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente F	P-Valor	Sig.
A	Tratamiento	1412,01	5	282	112,55	0,0000	s
	Error	30,1088	12	2,5			
B	Tratamiento	242,021	4	61	43,91	0,0000	s
	Error	13,7801	10	1,4			
C	Tratamiento	51,4447	4	13	13,76	0,0004	s
	Error	9,3444	10	0,9			
D	Tratamiento	1042,38	4	261	303,65	0	s
	Error	8,58221	10	0,9			
E	Tratamiento	1072,31	2	536	947,68	0	s
	Error	3,3945	6	0,6			
F	Tratamiento	7,98389	2	4	5,83	0,0392	s
	Error	4,10553	6	0,7			
G	Tratamiento	6,34482	1	6,3	3,35	0.1411	N.S.
	Error	7,56987	4	1,9			

A: humedad de semillas enteras con doble prensado (muestra prensada dos veces bajo las mismas condiciones, tabla 19)

B: humedad de semillas enteras para prensado único (tabla 20)

C: temperatura (°C) de las semillas sometidas a prensado único (tabla 21)

D: presión (Psia) variable en el prensado de semillas enteras (tabla 22)

E: humedad del endospermo con prensado único (tabla 23)

F: humedad de la semilla molida con único prensado (tabla 24)

G: tamaño de partícula del endospermo con prensado único (tabla 25)

s: al menos uno de los niveles del parámetro de prensado presenta diferencias estadísticamente significativas.

Si P-valor es inferior a 0,05, ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en el parámetro de prensado para extraer aceite de piñón, para un nivel de confianza del 95,0%.

La tabla 27 nos indica cual de los niveles de cada parámetro son más adecuados para obtener mayores rendimientos de extracción de aceite.

Tabla 27: Prueba de Tukey de los parámetros de prensado hidráulico.

Factores	Niveles	Recuento	Promedios ordenados	Grupos homogéneos		
A	1 (10,1%)	3	0,56	x		
	2 (6,5 %)	3	20,29		x	
	3 (5,5 %)	3	22,9		x	
	6 (2,6 %)	3	23,3		x	x
	4 (4,2 %)	3	24,35		x	x
	5 (3,2 %)	3	27,39			x
B	1 (8,0 %)	3	11,43	x		
	2 (6,2 %)	3	18,47		x	
	3 (5,7 %)	3	18,84		x	
	5 (2,5 %)	3	21,32		x	x
	4 (3,8 %)	3	23,26			x
C	1 (18 °C)	3	15,74	x		
	2 (30 °C)	3	28,17		x	
	5 (60 °C)	3	20,36		x	
	4 (50 °C)	3	20,45		x	
	3 (40 °C)	3	20,48		x	
D	1 (577 psia)	3	0	x		
	2 (1153 psia)	3	0,02	x		
	3 (2306 psia)	3	5,73		x	
	4 (3460 psia)	3	17,19			x
	5 (5767 psia)	3	19,46			x
E	1 (7,9 %)	3	0,09	x		
	2 (6,1 %)	3	6,64		x	
	3 (2,8 %)	3	25,82			x
F	1 (5,9 %)	3	23,3	x		
	2 (3,8 %)	3	23,48	x	x	
	3 (3,2 %)	3	25,38		x	
G	1 (entero)	3	23,22	x		
	2 (molido 3mm)	3	25,28	x		

A: humedad de semillas enteras con doble prensado (muestra prensada dos veces bajo las mismas condiciones, tabla 19)

B: humedad de semillas enteras para prensado único (tabla 20)

C: temperatura (°C) de las semillas sometidas a prensado único (tabla 21)

D: presión (Psia) variable en el prensado de semillas enteras (tabla 22)

E: humedad del endospermo con prensado único (tabla 23)

F: humedad de la semilla molida con único prensado (tabla 24)

G: tamaño de partícula del endospermo con prensado único (tabla 25)

x: todos los que se ubican en la misma columna para cada parámetro, indica rendimientos semejantes de extracción de aceite por prensado hidráulico; caso contrario presentan diferencias significativas.

En la tabla 27 de la prueba de tukey, para el parámetro humedad (A) con doble prensado de la muestra, podemos ver la formación de 3 grupos homogéneos, donde el tercer grupo indica mayor rendimiento de extracción de aceite y por más que se reduzca la humedad a menos del 4,2 % obtendremos rendimientos mayores pero similares, lo cual conviene la humedad de 4,2 % para ahorrar energía.

En cuanto a la humedad (B) para una muestra con prensado único se observa la formación de 3 grupos homogéneos siendo las semillas con humedad entre 2,5 y 3,8 %, más adecuadas para obtener máximos rendimientos similares y por ahorro de costos en secado se opta por la humedad 3,8 %.

En el caso de la variación de la temperatura (C) de la muestra de semilla con 5% de humedad sometida a máxima presión de hasta 5767 psia, se observa en la tabla 27 la formación de dos grupos homogéneos, siendo el segundo grupo y la temperatura de 30 °C la mas recomendada, puesto que por más que se incremente la temperatura se obtendrá rendimientos homogéneos.

En cuanto a la variación de la presión (D) se observa tres grupos homogéneos y que incrementando la presión a partir de 3460 Psia se logró obtener mayores rendimientos de aceite (más de 17,19 %), manteniendo constante la humedad con 5,2 % y 20 °C.

La prueba tukey para la variación de la humedad (E) del endospermo demuestra la formación de tres grupos homogéneos, recomendando el tercer grupo; es decir se debe reducir la humedad hasta 2.8 % para obtener mayor rendimiento durante la extracción de aceite.

En cuanto a la humedad (F) de la semilla molida nos indica la formación de dos grupos homogéneos, siendo las humedades de 3,2 y 3,8 % los que sobresalen con rendimientos altos entre 23,5 y 25,4 % de aceite en el prensado hidráulico a máximas presiones, eligiendo 3,2 % para evitar costos durante secado excesivo.

El tamaño de partícula (G) del endospermo forma un solo grupo homogéneo, lo que indica que no hay necesidad de moler o triturar las semillas, si sometemos a máximas presiones de prensado hidráulico

3.3.1. Rendimiento neto de extracción de aceite por prensado hidráulico

Tabla 28: Rendimiento neto en la extracción por prensado hidráulico de semillas de piñón (*Jatropha curcas L.*).

N° de Replicas	Materia prima (semillas de piñón)	Aceite en bruto	Aceite en bruto	Rendimientos en peso y volumen		Eficiencia de extracción
	g	g	mL	% peso	% (Vol./ Peso)	% (rendimiento/ contenido en Soxhlet)
1	250,30	61,24	66,89	24,48	26,72	65,8
2	250,12	65,51	71,56	24,48	28,61	65,8
3	250,45	61,28	66,94	26,16	26,73	70,3
Promedio	250,29	62,68	68,46	25,04	27,35	67,3

Los resultados de la Tabla 28 indican que el porcentaje promedio neto de extracción de aceite fue de 25,04 % (peso aceite/peso semillas) y 27,35% (volumen de aceite/peso semillas). Es decir, de cada 100 gramos de semilla molida que ingresa al prensado se obtiene 25,04 gramos de aceite en bruto que en volumen significa 27,35 mL. Con esto se puede concluir que para lograr el máximo porcentaje de extracción de aceite de semillas de piñón (sin retirar el epispermo) se utilizó una muestra molida (3 mm de diámetro), humedad 3,2 % y presión máxima de 5760 Psia).

La eficiencia de extracción nos indica que se puede extraer hasta 67,3 % del contenido medio de aceite de la semilla de *Jatropha curcas L.* (3,2 % humedad).

3.3.2. Balance de Materia

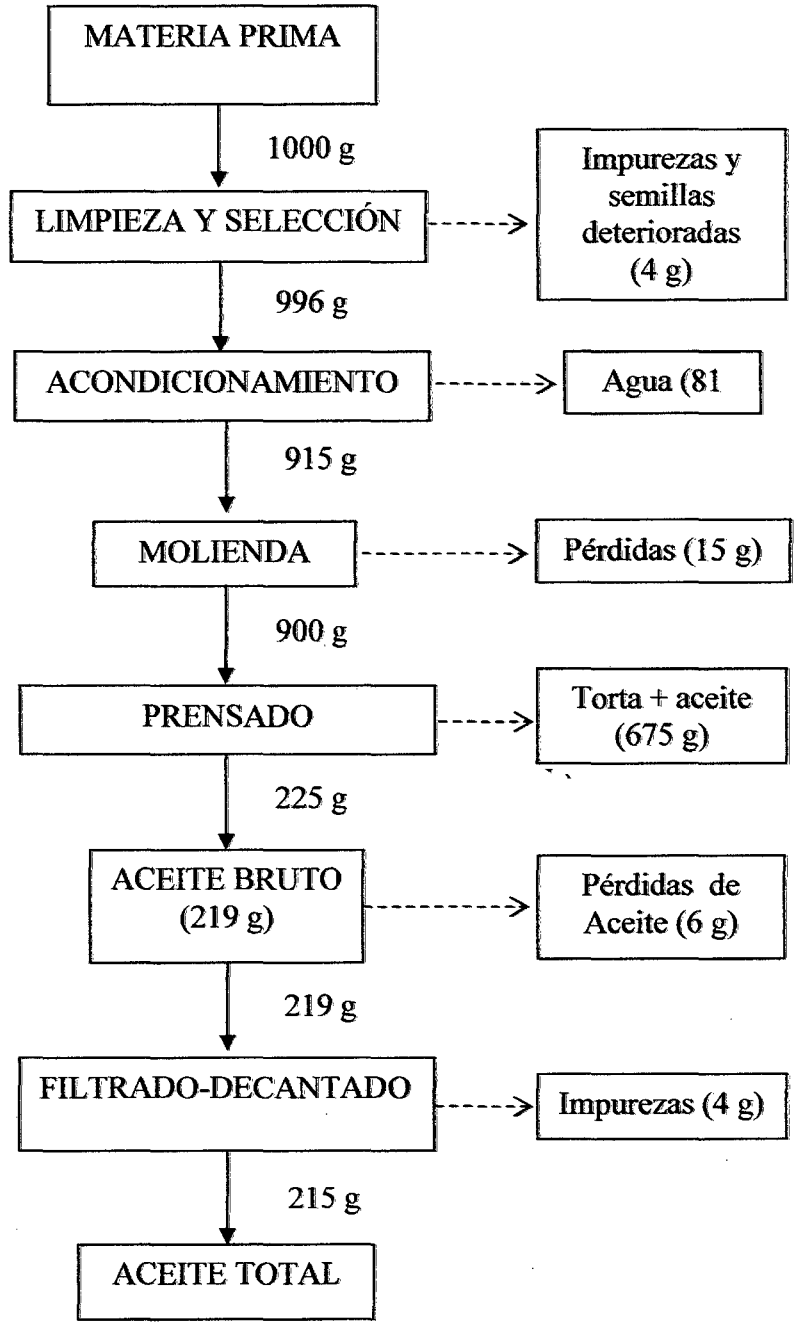


Figura 8: Diagrama de flujo cuantitativo de la extracción del aceite de piñón (*Jatropha curcas l.*) mediante prensado hidráulico.

Tabla 29: Balance de materia de la extracción de aceite de piñón (*Jatropha curcas L.*) mediante prensado hidráulico.

Operaciones	Masa (g) en el proceso que:			Rendimiento de la semilla al 8,5 % humedad
	Entra	Sale	Sigue	
Semilla (8,5 % humedad)	1000	0	1000	100,00
Limpieza y selección	1000	4	996	99,6
Acondicionamiento (3,5 % humedad)	996	81	915	91,5
Molienda	915	15	900	90,0
Prensado	900	675	225	22,5
Aceite en bruto	225	6	219	21,9
Filtrado	219	4,0	215	21,5
Aceite total	215	0	215	21,5

3.4. Caracterización del aceite de piñón

Las muestras de aceite utilizado se obtuvieron por prensado a 20 °C y decantado por 3 días. Las muestras para determinación de humedad y materia volátil, impurezas, punto de humo, punto de combustión, fueron almacenados por 10 días aproximadamente. La muestra para el índice de yodo fue clarificada por dos meses en ambiente oscuro, en sistema cerrado.

A continuación los resultados de la caracterización (Tabla 30) demuestra que el piñón existente en la provincia de Utcubamba mantiene características fisicoquímicas muy parecidas a resultados obtenidos en otras investigaciones que se muestran como se muestran en las Tablas 3-7, siendo la viscosidad de 63 cp para el aceite decantado por 3 dias.

Tabla 30: Valores de medias por mínimos cuadrados de los resultados de caracterización de aceite de piñón con 95,0 % de nivel de confianza

Característica	Ecotipo	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Densidad del aceite a 20,2 °C (g/cm^3)	Cajaruro	0,914693	0,00059	0,91324	0,9162
	Bagua Grande	0,915493	0,00059	0,91404	0,917
	El Milagro	0,914683	0,00059	0,91323	0,9162
	Cumba	0,915617	0,00059	0,91417	0,9171
Viscosidad del aceite a 20,3 °C (cp)	Cajaruro	62,67	0,37	61,76	63,58
	Bagua Grande	62,33	0,37	61,42	63,25
	El Milagro	62,67	0,37	61,76	63,58
	Cumba	62,67	0,37	61,76	63,58
Índice de acidez del aceite (mg KOH/g aceite)	Cajaruro	0,69	0,024	0,63	0,75
	Bagua Grande	1,15	0,024	1,09	1,21
	El Milagro	0,58	0,024	0,52	0,64
	Cumba	1,12	0,024	1,07	1,18
Índice de peróxido (miliequivalente de O_2 activo/kg aceite)	Cajaruro	2,4	0,04	2,31	2,57
	Bagua Grande	2,7	0,04	2,55	2,81
	El Milagro	2,3	0,04	2,12	2,38
	Cumba	2,5	0,04	2,32	2,58
Punto de humo (°C)	Cajaruro	186	1,65	182	190
	Bagua Grande	187,3	1,65	183	191
	El Milagro	186	1,65	182	190
	Cumba	188,7	1,65	185	193
Punto de combustión (°C)	Cajaruro	292,3	3,67	283	301
	Bagua Grande	294,7	3,67	286	304
	El Milagro	293,3	3,67	284	302
	Cumba	291,3	3,67	282	300
Índice de yodo	Cumba	89,2	0,63	88,5	89,9
Humedad (%)	Bagua Grande	0,07	0,011	0,047	0,093
Impurezas (% masa)	Bagua Grande	1,70	0,74	0,97	2,43

3.5. Análisis de varianza y comparación de medias de la caracterización fisicoquímica del aceite

Los resultados se analizaron estadísticamente para ver significancias entre los promedios de ecotipos y la implicancia del tiempo de colecta.

Resumen del procedimiento

Variable dependiente: Características del aceite
Número de casos completos: 12

Factor principal: Ecotipos (Cajaruro, Bagua Gde., El Milagro y Cumba)
Factor perturbador: Tiempo de colecta (bloques)

Tabla 31: Análisis de varianza para los resultados de la caracterización fisicoquímica del aceite de piñón.

Característica	Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente F	P-Valor	Sig.
Densidad del aceite	Tratam.	$2,2763 \times 10^{-6}$	3	$7,58767 \times 10^{-7}$	0,72	0,5762	N.S.
	Bloques	$1,1663 \times 10^{-6}$	2	$5,83158 \times 10^{-7}$	0,55	0,6023	N.S
	Error	$6,33535 \times 10^{-6}$	6	$1,05589 \times 10^{-6}$			
Viscosidad del aceite	Tratam.	0,25	3	$8,33333 \times 10^{-2}$	0,20	0,8927	N.S
	Bloques	0,166667	2	$8,33333 \times 10^{-2}$	0,20	0,8240	N.S
	Error	2,5	6	$4,16667 \times 10^{-1}$			
Índice de acidez	Tratam.	0,774225	3	0,258075	152,56	0,0000	S
	Bloques	0,0305167	2	0,0152583	9,02	0,0155	S
	Error	0,01015	6	0,00169167			
Índice de Peróxido	Tratam.	0,1858	3	0,0619333	18,22	0,0198	S
	Bloques	0,0018	1	0,0018	0,53	0,5195	N.S.
	Error	0,0102	3	0,0034			
Punto de humo	Tratam.	14,6667	3	4,88889	0,60	0,6379	N.S.
	Bloques	10,5	2	5,25	0,65	0,5575	N.S.
	Error	48,8333	6	8,13889			
Punto de combustión	Tratam.	18,25	3	6,08333	0,9254	0,15	N.S.
	Bloques	52,6667	2	26,3333	0,5539	0,65	N.S.
	Error	242,0	6	40,3333			

S: significancia entre niveles de cada variable respuesta

Si P-valor es inferior a 0,05, ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en el contenido de aceite de piñón, después de separar el efecto del tiempo de colecta de las semillas, para un nivel de confianza del 95,0%.

Los P-valores de la Tabla 31 comprueban la importancia estadística de cada uno de los factores (ecotipos y tiempo de colecta de las semillas de piñón). Se comprueba que en los ecotipos hay variación en las medias y tiempo de colecta del índice de acidez y en las medias del índice de peróxido.

Tabla 32: Prueba de Tuckey para la caracterización del aceite de los 4 ecotipos de piñón (*Jatropha curcas L.*)

Características	Ecotipo	Recuento	Promedios ordenados	Grupos homogéneos	
Densidad	El Milagro	3	0,9147	x	
	Cajaruro	3	0,9147	x	
	Bagua Grande	3	0,9155	x	
	Cumba	3	0,9156	x	
Viscosidad	Bagua Grande	3	62,33	x	
	Cajaruro	3	62,67	x	
	El Milagro	3	62,67	x	
	Cumba	3	62,67	x	
Índice de acidez	El Milagro	3	0,58	x	
	Cajaruro	3	0,69	x	
	Cumba	3	1,12		x
	Bagua Grande	3	1,15		x
Índice de peróxido	El Milagro	2	2,25	x	
	Cajaruro	2	2,44	x	x
	Cumba	2	2,45	x	x
	Bagua Grande	2	2,68		x
Punto de humo	Cajaruro	3	186,0	x	
	El Milagro	3	186,0	x	
	Bagua Grande	3	187,3	x	
	Cumba	3	188,7	x	
Punto de combustión	Cumba	3	291,3	x	
	Cajaruro	3	292,3	x	
	El Milagro	3	293,3	x	
	Bagua Grande	3	294,7	x	

x: todos los que se ubican en la misma columna, indica valores semejantes para cada característica del aceite (variable respuesta); caso contrario presentan diferencias significativas.

Según la prueba de tukey (tabla 32) todos las características excepto el índice de acidez e índice de peróxido presentan semejanza entre ecotipos y tiempo de colecta.

En cuanto al índice de acidez se observa la formación de dos grupos homogéneos en la comparación de medias, siendo el primer grupo el que menor índice de acidez presenta siendo favorable para la fuente de materia prima para producción de biodiesel; en este sentido según la tabla 2 se observa que a menor índice de acidez, mayor rendimiento de biodiesel se obtiene.

IV. DISCUSIÓN

Realizada la extracción de aceite del endospermo secado en estufa por 24 horas a 105 °C a través del método Soxhlet se obtuvo 61,04 % de aceite, lo que corresponde a 38,32 % de la semilla en las mismas condiciones de secado, demostrando alto contenido de aceite; estos resultados concuerdan con los obtenidos por Heller (1996) del endospermo de la semilla de piñón cuya humedad fue 3,78 % contenía 59,78% de aceite correspondiente a 32,9 % de la semilla con la misma humedad.

Chenard (2004) manifiesta que la densidad del aceite de piñón a 20 °C es 0,9149 g/cm^3; dato similar al obtenido en la presente investigación, donde la densidad promedio a 20,2 °C fue de 0,9151 g/cm^3.

La viscosidad del aceite de piñón a 20,3 °C fue 62,6 cp. en tanto que Chenard (2004) indica que a 37,8 °C es de 31,5 cp, y que la viscosidad del aceite de higuerilla es 285 cp por lo que a mayor temperatura, la viscosidad disminuye. El aceite de piñón presenta una viscosidad menor a la del aceite de higuerilla.

En cuanto al índice de acidez, este varía con el tiempo, excepto en el caso de la acidez del aceite crudo de algodón que su valor no aumentó durante cinco meses de almacenamiento (Bailey, 1961). Las semillas de piñón de la presente investigación, fueron almacenadas entre 5 a 6 % de humedad, donde lo más común es que la acidez se incremente o se mantenga durante el almacenamiento. El índice de acidez obtenido en la presente investigación comprende entre 0,58 y 1,15 (Tabla 30) para una muestra de aceite filtrado, decantado, almacenado por 3 días en oscuridad y cerrado herméticamente, demostrando variación significativa entre cada ecotipo y tiempo de colecta (tabla 31). Estos valores para el índice de acides son mucho menores a 8 según la ITDG-UNALM.

El índice de peróxido obtenido en la presente investigación está entre 2,3 y 2,7 mequivalente O_2 activo/kg de aceite existiendo diferencias significativas entre ecotipos mas no entre el tiempo de colecta (tabla 31) puesto que el aceite se

expuso al ambiente y la luz a partir del tercer día de la extracción hasta el sexto día en la que se efectuó la investigación. Nuestros resultados son menores a los de otras investigaciones con aceite de piñón como menciona Chenard (2004) que el índice de peróxido para el aceite de piñón e higuerilla es 10 y 0,1 miliequivalente de oxigeno activo/kg de aceite respectivamente. Lawson (1994) manifiesta respecto al grado de oxidación primaria en marcha que a sufrido el aceite, por lo que la velocidad de oxidación crece con un incremento en la temperatura, con la exposición al oxígeno del aire, presencia de luz y contacto con materiales pro-oxidantes.

El punto de inflamación debe ser mayor a 60°C para garantizar la seguridad durante el manipuleo y almacenamiento (NTP). El punto de combustión para el aceite de piñón es 240 °C (Torres, 2006); al respecto en la presente investigación, el punto de combustión promedio del aceite de piñón fue 293 °C.

En la determinación de impurezas de la presente investigación, los porcentajes de 0,74, 0,97 y 2.43 obtenidos corresponden a muestras de semillas prensadas: sin epispermo, enteras y molidas respectivamente; durante la extracción de aceite, por lo que en el prensado de semillas sin epispermo, se obtiene menor contenido de impurezas y en la molienda de las semillas se ocasiona mayor contenido de impurezas en el aceite.

El grado de impureza aumenta con el desprendimiento de parte de los componentes de la torta (gomas, fosfolípidos, carbohidratos, proteínas solubles, etc.) (Bernardini, 1981).

En la presente investigación para una muestra de aceite de piñón clarificada en reposo por dos meses, el índice de yodo promedio fue de 89,2 g de yodo /100 g de aceite. Chenard (2004) manifiesta que el índice de yodo del aceite de piñón es 97 y Lawson (1994) manifiesta un valor de 85 g de yodo/100 g aceite.

V. CONCLUSIONES

1. La humedad de las semillas de piñón debe ser 5 a 6% para almacenarlas sin que se deterioren, este contenido de humedad también favorece el acondicionamiento para la extracción de aceite.

2. Los ecotipos de la provincia de Utcubamba presentan igual contenido de aceite demostrado en la comparación de medias a través de la prueba de Tukey, siendo muy similar a los resultados de otras investigaciones.

3. Las características fisicoquímicas del aceite no presentan diferencias significativas entre ecotipos y tiempo de colecta, excepto el índice de acidez e índice de peróxido, existiendo condiciones favorables para proyectar a la *Jatropha curcas L.* como fuente de materia prima para la producción de biodiesel en la Región Amazonas, teniendo en cuenta los valores de viscosidad a 20,3 °C de 62,6 cp ligeramente superiores a los resultados en otras investigaciones.

4. Los ecotipos de El Milagro y Cajaruro presentan mayor potencial para biodiesel debido a que estos corresponden al grupo homogéneo de menor índice de acidez e índice de peróxido mayor demostrado en la prueba de Tukey (Tabla 32) siendo 0,58 y 0,69 respectivamente.

5. El índice de acidez comprende entre 0,58 y 1,15 mg KOH/g de aceite de los 4 ecotipos de piñón de Utcubamba, existiendo diferencias significativas entre los promedios de cada ecotipo y tiempo de colecta.

6. Para extraer aceite de la semilla de piñón se debe reducir la humedad a menos del 10 %. y si eliminamos el epispermo, la humedad no debe exceder al 8 %; caso contrario saldrán porciones de pulpa y aceite en forma de pasta.

7. Los parámetros más adecuados para extraer aceite por prensado hidráulico a partir de semillas de *Jatropha curcas L.* son: Semilla sin epispermo (entera o molida), temperatura mayor a 30 °C, presión mayor de 3460 Psia y humedad menor de 3,8 %.

8. Para el prensado de semilla entera, los parámetros para lograr máximos rendimientos de extracción de aceite de semillas son: muestra molida (3 mm de diámetro), humedad menor de 4,2 %, temperatura mayor de 30 °C y presión mayor a 3460 Psia.

9. La máxima extracción de aceite en bruto por prensado hidráulico fue de 25,8 % al utilizar semillas sin epispermo, cuya eficiencia de extracción es 67,3 %. Sin embargo, al hacer doble prensado se alcanzó hasta 27,38 % de aceite en bruto.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar estudios agronómicos conducentes a buscar métodos adecuados de siembra, mantenimiento, control fitosanitario, estado varietal y prácticas de postcosecha de la semilla de los ecotipos de piñón de la Provincia de Utcubamba - Región Amazonas.

Realizar un diseño experimental (en las mismas condiciones georeferenciales y edafoclimáticas) de los cuatro ecotipos investigados, tomando como información referencial los resultados de la presente investigación.

Acondicionar un equipo para una rápida refinación física de aceites en los Laboratorios utilizados en la presente investigación.

Elaborar un proyecto técnico económico para el cultivo de piñón y la instalación de una planta procesadora de esta oleaginosa en la Región Amazonas.

Utilizar los parámetros más resaltantes de la presente investigación, tales como: presión, temperatura, humedad, tamaño de partícula y realizar un diseño factorial para optimizar rendimientos de extracción, teniendo en cuenta los puntos (niveles) donde indica mayor rendimiento de aceite.

Realizar un estudio de la composición de la torta de prensado para diversificar su uso, ya sea como alimento balanceado para animales o para la producción de abono orgánico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1. Libros

1. A.O.C.S., 1989. Oficial and tentative Methods of The American Chemist Society. Estados Unidos, 466 pp.
2. ARANGO, G.H. 2002. Metabolitos primarios de interés farmacognósico. Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia.
3. BAILEY, A.E. 1961. Aceites y grasas Industriales. 2da Edición. Reverté S.A. Zaragoza - España.4-13, 18-32, 59-82, 425-448 p.
4. BERNARDINI, E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. 1ra. Edición. Editorial Alambra S.A. Madrid – España. 460-489, 498 p.
5. CASTRO; P; COELLO, J; CASTILLO. L; 2007. Opciones para la Producción y uso del biodiesel en el Perú. Soluciones prácticas – ITDG. Primera Edición. Lima 18. Impreso por Forma e Imagen. Perú.
6. CHEFTEL J.C. y CHEFTEL H. 1976. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Editorial Acriba. Zaragoza – España. Vol I, 333 pp.
7. COLOM, V.R. 1978. Aceites y grasas. Su extracción Industrial por disolventes. Editorial Tip.Cap. Cassals.
8. CLAIR, J. 2000. Química para Ingeniería Ambiental. Cuarta edición. Contextos gráficos. Bogotá, D. C; Colombia.
9. DAVID, H. 2004. Química analítica moderna. Traducido de la primera edición en inglés del año 2000. Editorial Monocomp, S.A. Colombia.
10. DESROSIER, N. 1984. Conservación de alimentos. 1ra. Edición. Editorial Continental S.A. México.
11. FREEDMAN, B; PRYDE, E.H; MOUNTS, T.L. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. Journal of the American Oil Chemists' Society p.1638– 1643.
12. GEANKOPLIS, J. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ra Edición. Editorial Continental, S.A. México.

13. HELLER, J. "Phisic Nut – Jatropha Curcas" International Plant Genetic Resources Institute. Revista de la *Jatropha curcas L.*Roma, 1996. 13(4).
14. ITINTEC, 2003. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. NTP N° 321.135. INDECOPI. Lima-Perú
15. KLINGERBERGER, R. P. 1984, El pre tratamiento de la Refinación Física del Aceite de Palma, Tesis de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Molina-Perú, pp. 41-43.
16. KIRCHEMBAUER, M. 1994. Grasas y aceites. Química y tecnología. Editorial continental S.A. México. 309 pp.
17. LAWSON H. (1994). Aceites y grasas alimentarios - Tecnología, utilización y nutrición. Zaragoza: Editorial Acribia. 333 pp.
18. LUNA, D. L. 1991. Extracción y Refinación de Aceite de Palma. Informe de prácticas Preprofesionales. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, 28,29 pp.
19. MAC – BRIDE, J. F. 1951. *Euphorbiaceae.* In Flora of Perú. Botical series vol. 13, part. III. Field Museum of natural Histery, 115 .118 p.
20. MAGRANE, L. 1994. Progresos en la Química de los Aceites, Grasas y Derivados Industriales, Ed. Escalpe, España, 173 pp.
21. MARTIN, D. W; RODWELL, V. W; MAYES, P. A. 1984, Bioquímica de Harper, Pa. Edic.,Edit. Manual Moderno S.A., México, 213 pp.
22. MEHLENBACHER, V. C. 1970. Análisis de Grasas y Aceites. Enciclopedia de la química industrial. Ediciones Urmo. Vol 6. España. 637 pp.
23. MONTGOMERY, D. 2002. Diseños y Análisis de Experimentos. Editorial Iberoamericana. Segunda Edición. México.
24. MORENO, S. G. 1988, Estudio Tecnológico Competitivo de Extracción, Refinación y Caracterización de aceites de aguaje (*Mauritia flexuosa L.*) y Ungurahui (*Jessenia batalla L.*) Tesis de Ingeniero de Industrias Alimentarias, Tingo María – Perú, 50pp.
25. MULLER, H. G. 1977, Introducción a la Reología de los Alimentos, Ed. Acribia, España, 34-72 pp.

26. OSTLE, B. 1986, Estadística Aplicada, Ed. Limusa, México, 312-314 pp.
27. PÉREZ, E. 2004. Métodos estadísticos para la investigación. Editorial Agraria. Primera Edición
28. SINGH. R.P. 1998. Introducción a la ingeniería de los alimentos, 2da. Edición. Editorial Acriba S. A. Zaragoza, España. 546 pp.
29. SOUKUP, J. 1970. Vocabulario de los nombres vulgares de Flora Peruana, Imp. Colegio Salesiano, Lima-Perú.
30. VELA, L. 1995. Ensayos para la extracción y caracterización del aceite en San Martín; Informe de Tesis
31. VIAN, A. y Ocon, T. 1972. Elementos de Ingeniería Química 5ta. Edición. Editorial Aguilar. Madrid - España. 812 pp.
32. ZHANG Y; DUBEE M.A; MCLEAN D.D; KATES M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment». Bioresource Technology. P.1–16.

7.2. Direcciones electrónicas

1. BIBLIOTECA VIRTUAL DEL INDECOPI. Norma técnica peruana para Biodiesel.

   Disponible en: http://www.bvindecopi.gob.pe

   Accesado el 20 de junio del 2009

2. CEMITEC, 2005. Análisis y caracterización del biodiesel.

   Disponible en: http://www.cemitec.com/recursos/docs/biodiesel.pdf
   Accesado el 10/10/08

3. CONTRERAS, C. 2007. Artículo: Aceite de la *Jatropha curcas L.*, análisis y su composición.

   Disponible en: tereipn@hotmail.com

   Accesado el 05/10/2008

4. CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). Potencialidades energéticas y medioambientales del *Jatropha curcas L.*

   Disponible en
   http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar18/HTML/articulo04.htm, Accesado el 15 de julio del 2009

5. CORPODIB, 2003. Programa estratégico para la Producción de Biodiesel. Combustible Automotriz a partir de aceites vegetales en Colombia de la Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia.

   Contactado en: E.mail: corpodib@cable.net.co

   . Accesado el 20 enero 2009

6. Chenard, D. G.; Reyes, C. Y; Pérez, R. L; 2004. Influencia del biodiesel sobre la calidad del combustible diesel. Centro de investigaciones del petróleo, La Habana – Cuba

   E-mail: mailto:gisemarina@yahoo.es

7. GCE ebioenergy, Producción de biodiesel. Disponible en:

   http://www.gcebioenergy.es/images/Biodi%C3%A9sel%20GCE.ppt#271, 12, Aceites vegetales: tabla comparativa.

8. ITDG, Parámetros de calidad del aceite biodiesel. Disponible en:

   http://www.itdg.org.pe/td/pdf/Castro%20et%20al/20-%20Produccion%20biodiesel%20selva%20Peru.doc

9. INIA. Informe nacional sobre recursos filogenéticos, Lima, 1995

   Disponible en:http//www.inia.gob.pe/genética/informes/Informe%20Estado%20de%20los%20RF%20Per%C3%BA%201996.pdf

10. LICEO PARTICULAR MIXTO LOS ANDES. Lípidos – determinación de la acidez (Ácidos grasos libres)

    Disponible en:http//www.profeonline.com/laboratorioquimico/mod_16/guias/lípidos_acidez_ac-grasos-libres.doc.
    Accesado el 04/10/08.

11. OSORIO, 1977, métodos oficiales de análisis de grasas y aceites. CDTA. Madrid – España.

    Disponible en:http//www.observatorioalimentario.org/métodos_oficiales/aceites/aceites.pdf.
    . Accesado el 04/10/08.

12. PERÚ 2021. Revista sobre Primera planta de biodiesel en el Perú

Disponible en:
http://www.peru2021.org/index.php

13. STEINBACH, LOYALL Y BORDEANU. Laboratorio y análisis – laboratorio completo de biodiesel. Suiza, Octubre 2008

Disponible
en:http//www.laboratorioyanalisis.com/la/secciones/LA/ES/MAIN/IN/NARRTICULOS/doc_66226_prnIN04,html?idDocumentos=66226

Accesado el 24 de mayo del 2009

14. TORRES, Carlos, 2006. Cultivos energéticos, ficha técnica de la *Jatropha curcas* en México.

Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Jatropha_curcas.
. Accesado el 04/10/08
e-mail: jatrophaenergetica@gmail.com

15. UNAP, Revista amazónica de investigación de aceite de jengibre Iquitos. Disponible en:

http://www.unapiquitos.edu.pe/links/facultades/alimentarias/v1/6.pdf

16. UNAP. Revista amazónica de investigación, 2002. Carrera de ingeniería en industrias alimentarias. Iquitos, Perú.

Disponible
en:http://:www.unapiquitos.edu.pe/links/facultades/alimentarias/v22/1.pdf

17. UNALM – ITDG. Proyecto biodiesel, Primer seminario Internacional

Disponible
en:Http://www.itdg.org.pe/publicaciones/Biodiesel/1/castillo.pdf

Accesado el 15 de julio del 2009

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 33: Ubicación de plantas patrón por ecotipo de *Jatropha curcas L.*

Puntos (Ecotipo)	Distrito	Anexo	Propietario	Altitud (msnm)
A	Cajaruro	Naranjos Bajo - Sector Los Cocos	Gerardo Guevara F.	576
B	Bagua Grande	Sector Guanchío	Manuel Delgado	432
C	El Milagro	Huarangopampa - La Balsa	Felipe Garrampié C.	398
D	Cumba	Trapichillo - Parcela el Guayaquil	Casimiro Muños F.	482

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

Tabla 34: Georeferenciación de ecotipos de *Jatropa curcas L.*

Ecotipo	Distrito	Caserío y/o Anexo	Altitud (msnm)	Coordenadas latitudinales	
				18M	UTM
A	Cajaruro	Naranjos Bajo	576	790485	9365287
B	Bagua Grande	Sector Wanchío	432	782428	9364597
C	El Milagro	Huarangopampa	398	773166	9375216
D	Cumba	Trapichillo	482	759648	9341265

ANEXO 3

Tabla 35: Variables respuestas (Yi) de la caracterización del aceite utilizado en la prueba de Tukey

Y_1	Contenido de aceite (en Soxhlet)
Y_2	Densidad a 20 +/- 0,2 °C (g/cm^3)
Y_3	Viscosidad a 20 +/- 0,2 °C (cp)
Y_4	Acidez (mg KOH/g aceite)
Y_5	Índice de peróxido(milieq. oxígeno activo/g aceite)
Y_6	Índice de yodo (g de yodo/100 g aceite)
Y_7	Punto de humo (°C)
Y_8	Punto de combustión (°C)

ANEXO 4

Tabla 36: Variación de la humedad de semillas de piñón secado en estufa (105 °C)

Tiempo(h)	Humedad (%)
0,00	20,23
0,25	17,33
0,50	15,13
0,75	11,70
1,00	8,90
1,25	8,80
1,50	8,30
1,75	5,40
2,00	5,37
2,25	2,70
2,50	2,60
2,75	2,60
3,00	2,60
3,25	2,43
3,50	2,43
3,75	2,47
4,00	2,43
4,25	2,47
4,50	2,43
4,75	2,40
5,00	2,40
5,25	2,50

Fuente: Elaboración propia con datos recolectados

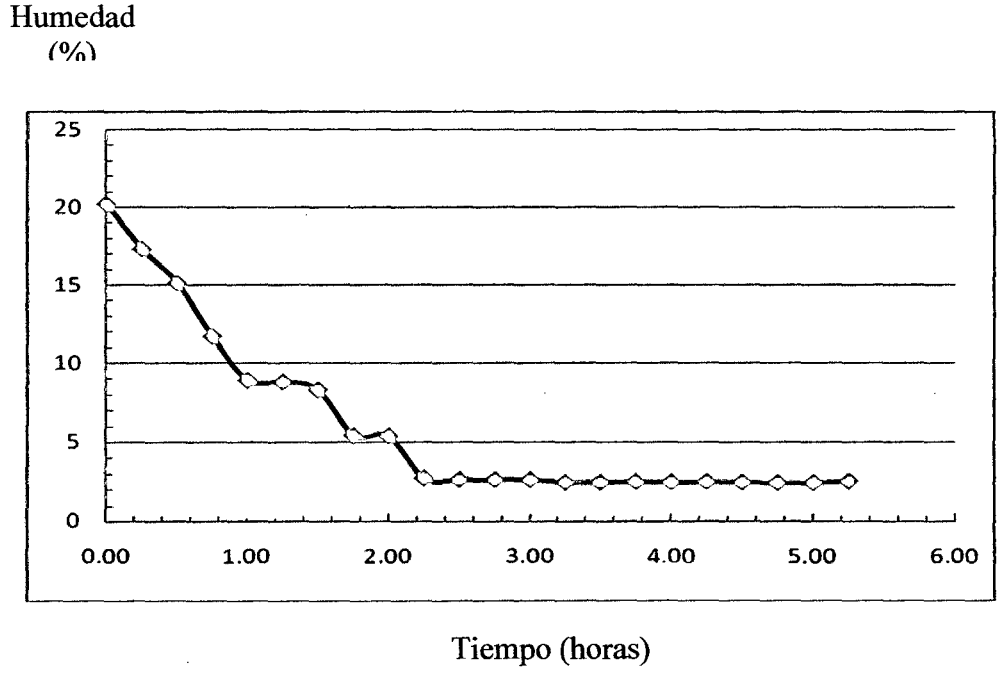


Figura 9: Variación de humedad en el secado de semillas de piñón.

ANEXO 5

Contraste Múltiple de Rangos para Y1 según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	3	58,87	2,32864	X
4	3	61,23	2,32864	X
3	3	61,9533	2,32864	X
2	3	62,0867	2,32864	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-3,21667	11,3624
1 - 3	-3,08333	11,3624
1 - 4	-2,36	11,3624
2 - 3	0,133333	11,3624
2 - 4	0,856667	11,3624
3 - 4	0,723333	11,3624

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 6

Contraste Múltiple de Rangos para Y2 según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	3	0,914683	0,000593265	X
1	3	0,914693	0,000593265	X
2	3	0,915493	0,000593265	X
4	3	0,915617	0,000593265	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-0,0008	0,0028948
1 - 3	0,00001	0,0028948
1 - 4	-0,000923333	0,0028948
2 - 3	0,00081	0,0028948
2 - 4	-0,000123333	0,0028948
3 - 4	-0,000933333	0,0028948

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 7

Contraste Múltiple de Rangos para Y3 según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	3	62,3333	0,372678	X
1	3	62,6667	0,372678	X
3	3	62,6667	0,372678	X
4	3	62,6667	0,372678	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	0,333333	1,81846
1 - 3	0,0	1,81846
1 - 4	0,0	1,81846
2 - 3	-0,333333	1,81846
2 - 4	-0,333333	1,81846
3 - 4	0,0	1,81846

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 8

Contraste Múltiple de Rangos para Y4 según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	3	0,58	0,0237463	X
1	3	0,69	0,0237463	X
4	3	1,12333	0,0237463	X
2	3	1,15	0,0237463	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	*-0,46	0,115869
1 - 3	0,11	0,115869
1 - 4	*-0,433333	0,115869
2 - 3	*0,57	0,115869
2 - 4	0,0266667	0,115869
3 - 4	*-0,543333	0,115869

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 9

Contraste Múltiple de Rangos para Y5 según Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamientos	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	2	2,25	0,0412311	X
1	2	2,44	0,0412311	XX
4	2	2,45	0,0412311	XX
2	2	2,68	0,0412311	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-0,24	0,281321
1 - 3	0,19	0,281321
1 - 4	-0,01	0,281321
2 - 3	*0,43	0,281321
2 - 4	0,23	0,281321
3 - 4	-0,2	0,281321

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 10

Contraste Múltiple de Rangos para Y7 según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	3	186,0	1,64711	X
3	3	186,0	1,64711	X
2	3	187,333	1,64711	X
4	3	188,667	1,64711	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-1,33333	8,03696
1 - 3	0,0	8,03696
1 - 4	-2,66667	8,03696
2 - 3	1,33333	8,03696
2 - 4	-1,33333	8,03696
3 - 4	-2,66667	8,03696

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 11

Contraste Múltiple de Rangos para Y8 según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

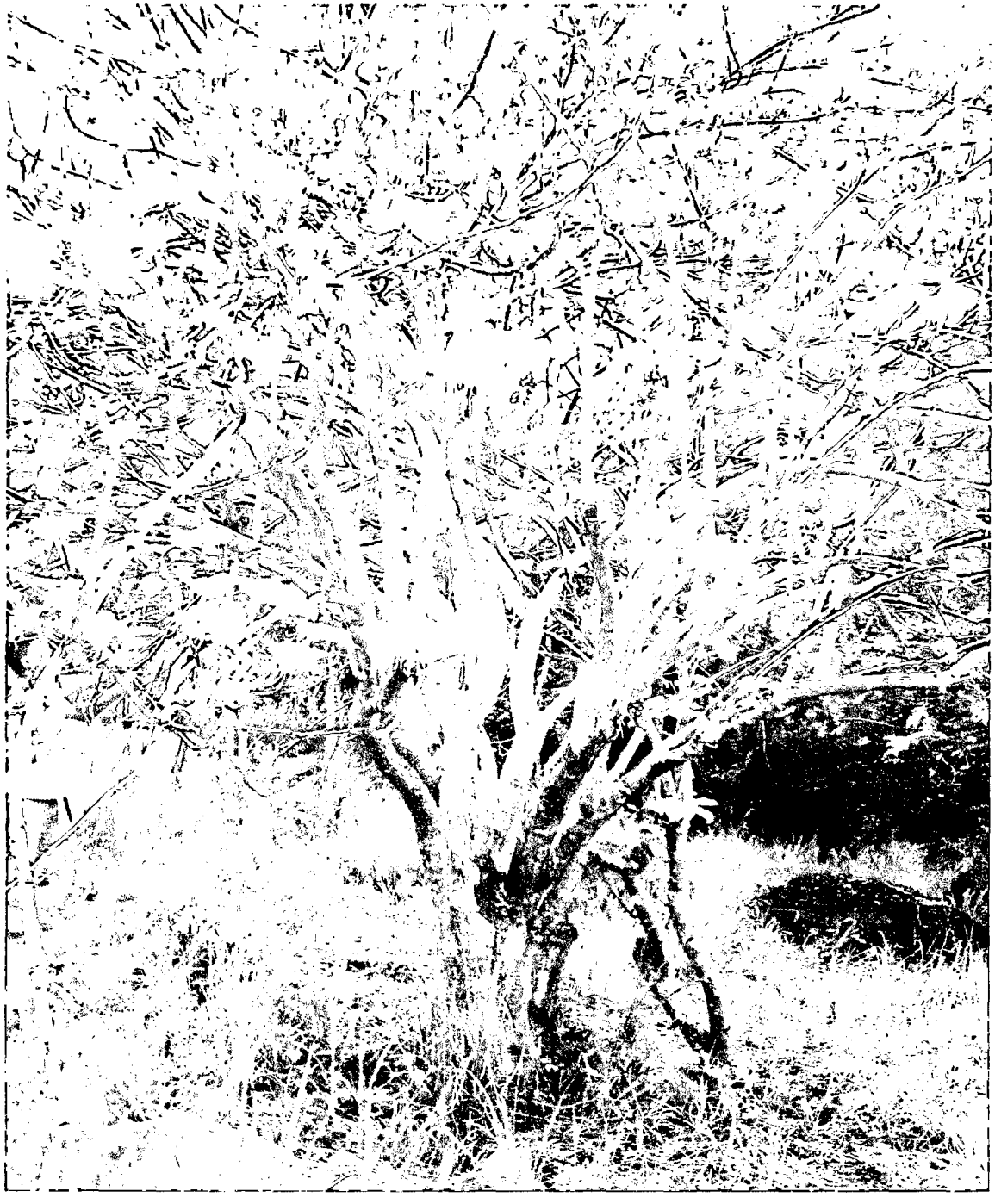
Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	3	291,333	3,66667	X
1	3	292,333	3,66667	X
3	3	293,333	3,66667	X
2	3	294,667	3,66667	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-2,33333	17,8913
1 - 3	-1,0	17,8913
1 - 4	1,0	17,8913
2 - 3	1,33333	17,8913
2 - 4	3,33333	17,8913
3 - 4	2,0	17,8913

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 12

Fotografía 1: Ecotipo de piñón ubicado en el distrito de Cumba – Utcubamba, cuyo diámetro de tronco es 38 cm con una edad aproximada de 50 años.



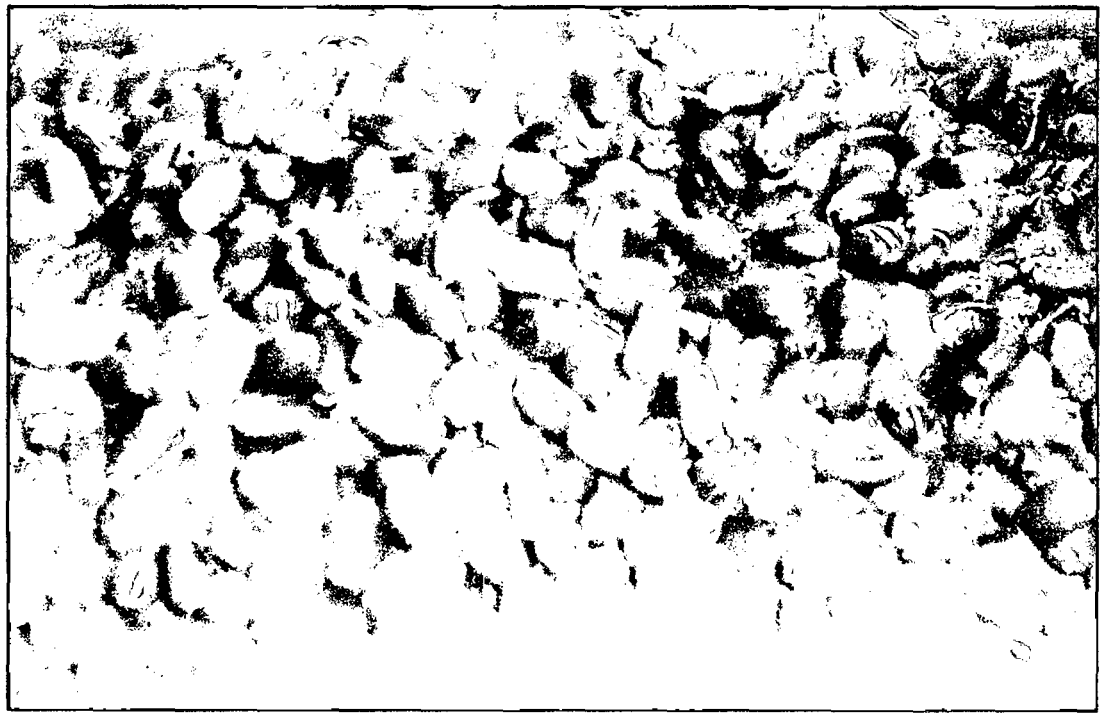
ANEXO 13

Fotografía 2: Ecotipos de piñón del distrito de Bagua Grande – Utcubamba

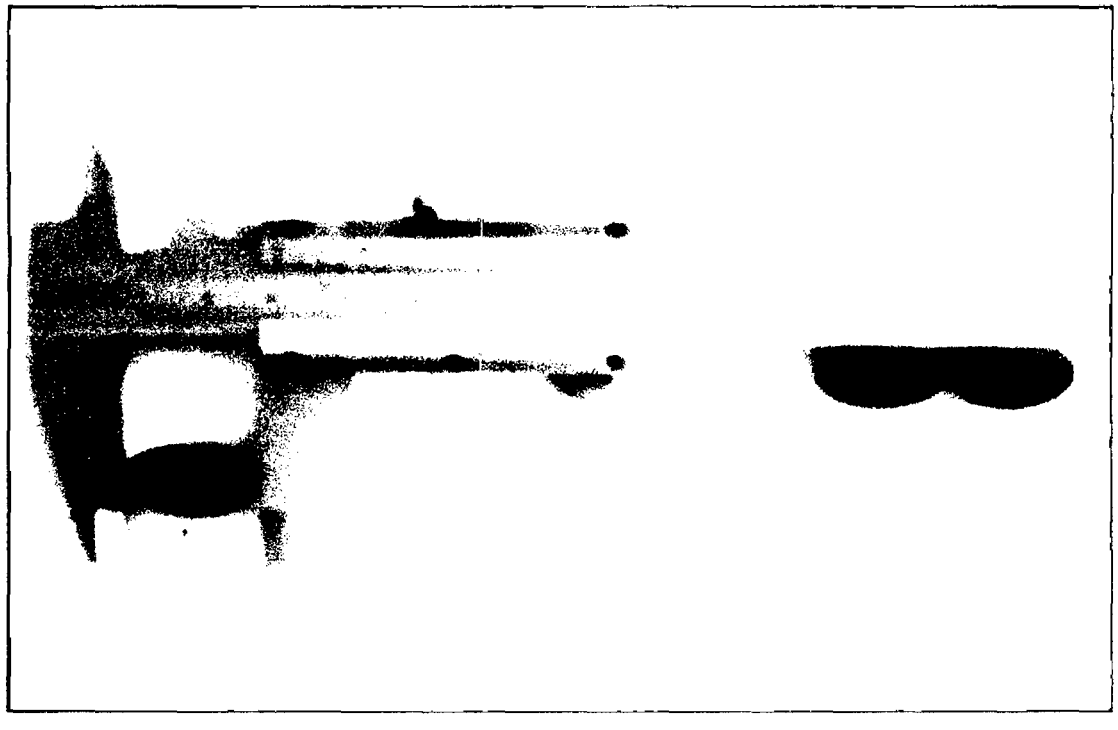
Fotografía 3: Frutos de piñón en diferentes estados de madurez fisiológica

ANEXO 14

Fotografía 4: semillas de *Jatropha curcas L.*

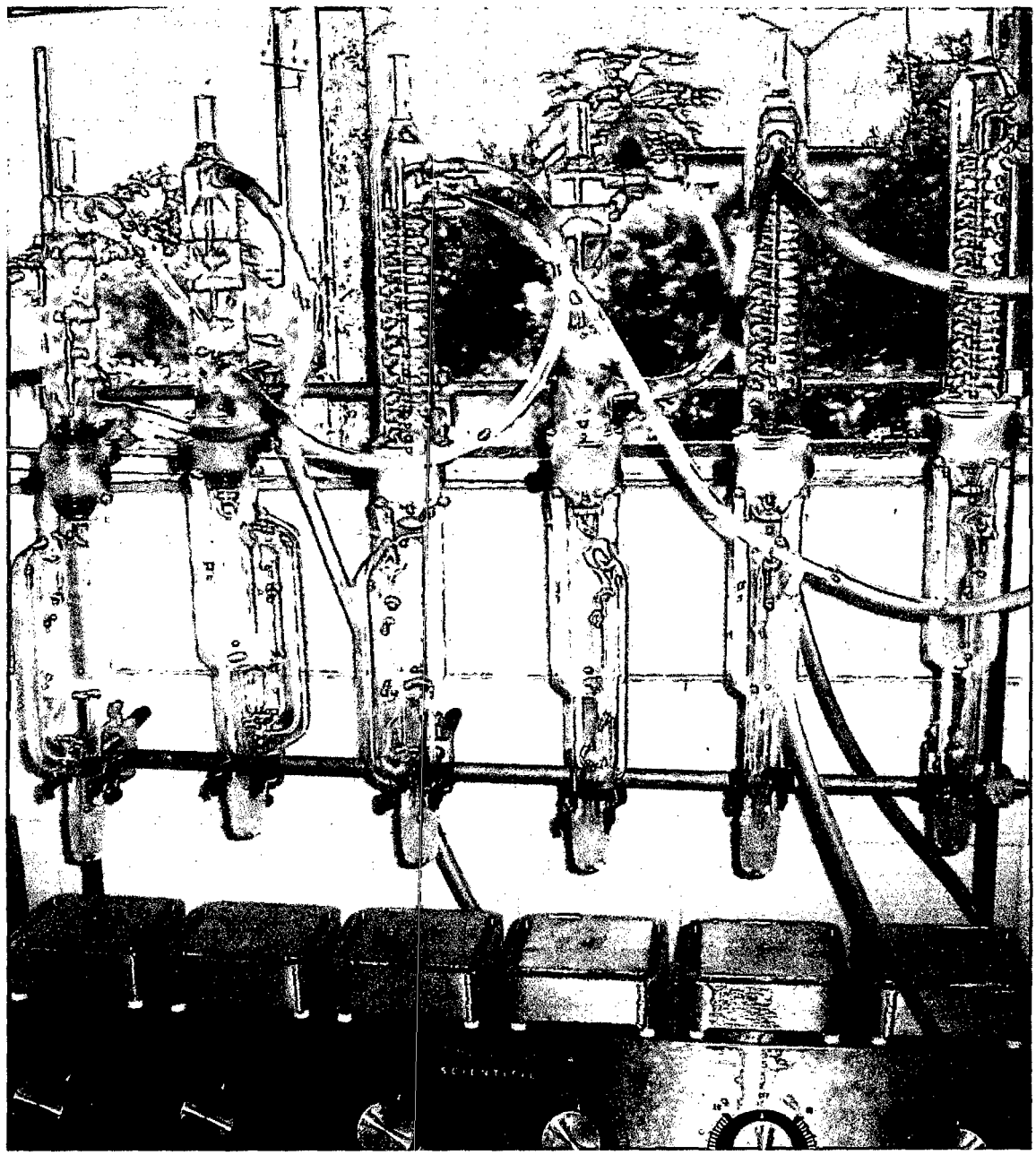


Fotografía 5: Determinación de biometría de semillas de piñón



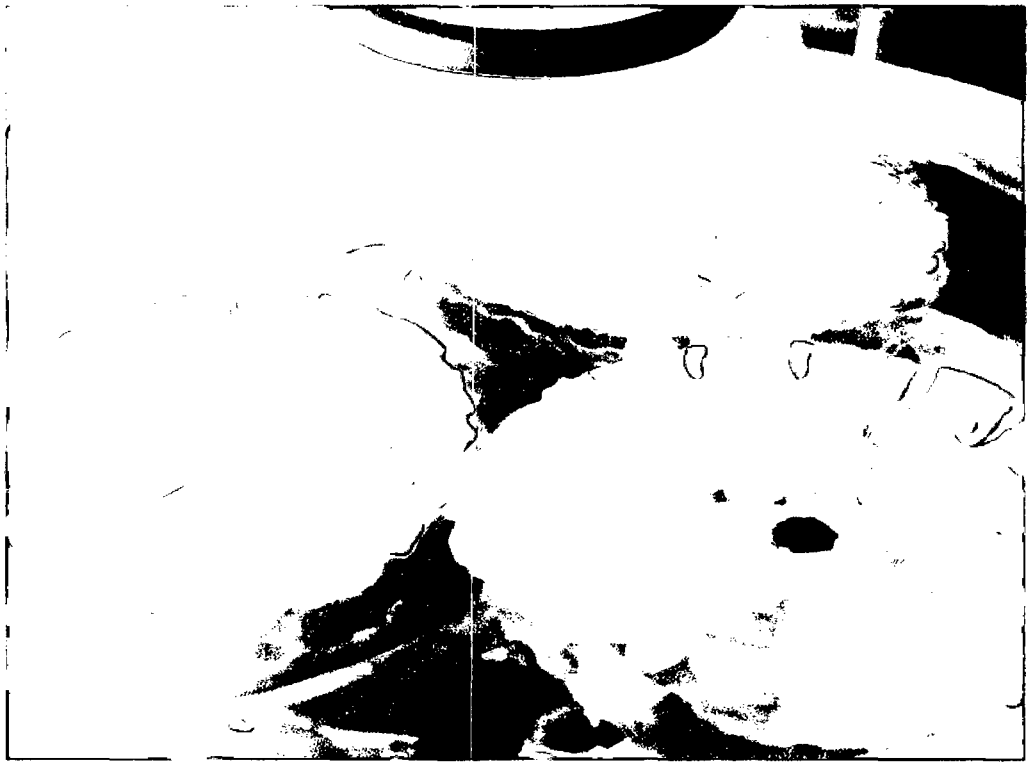
ANEXO 15

Fotografía 6: Equipo soxhlet para extracción de aceite



ANEXO 16

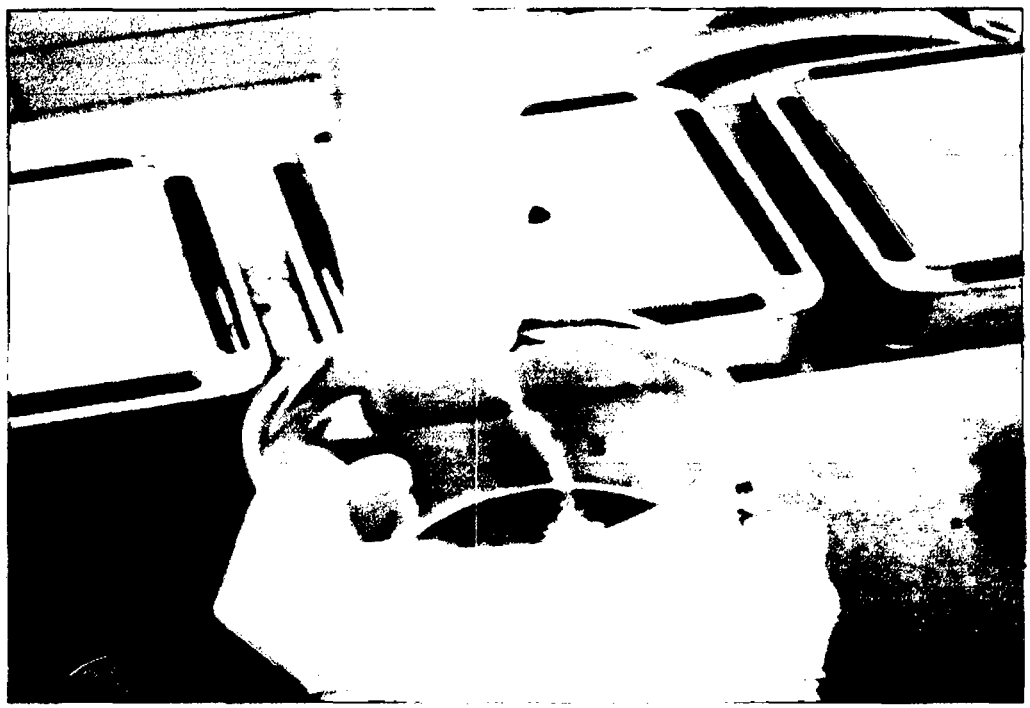
Fotografía 7: semillas sin epispermo (endospermo) enfriadas en campana desecante



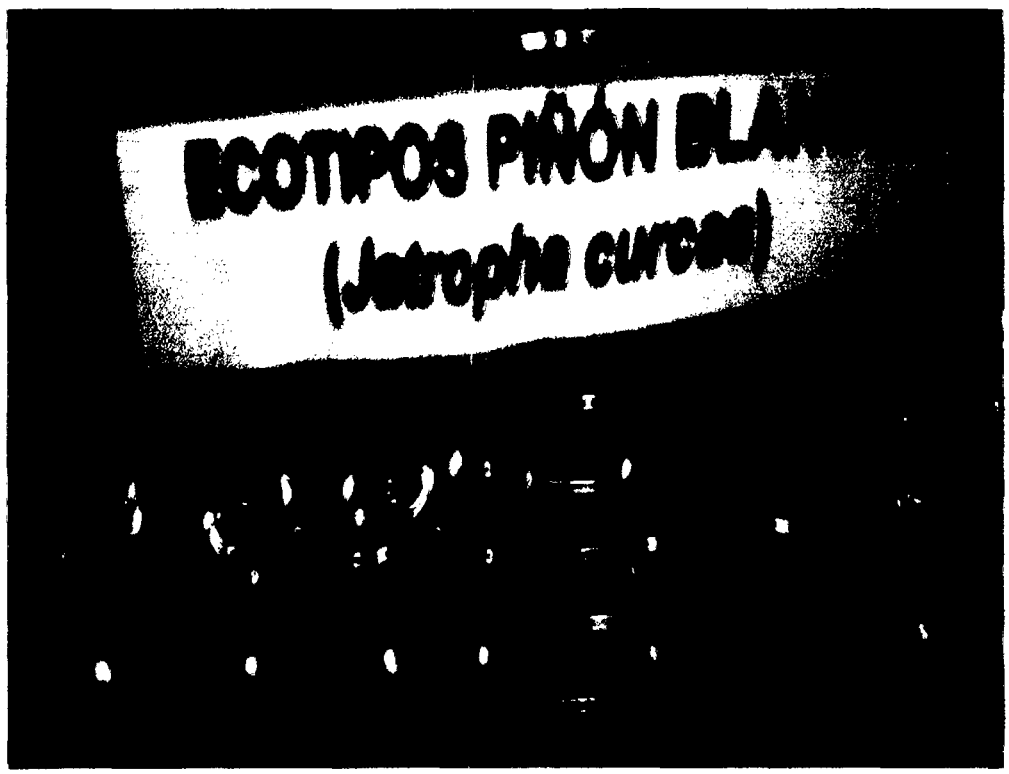
Fotografía 8: Instalación del equipo soxhlet para la extracción de aceite

ANEXO 17

Fotografía 9: Recuperación del disolvente al final de la extracción en soxhlet

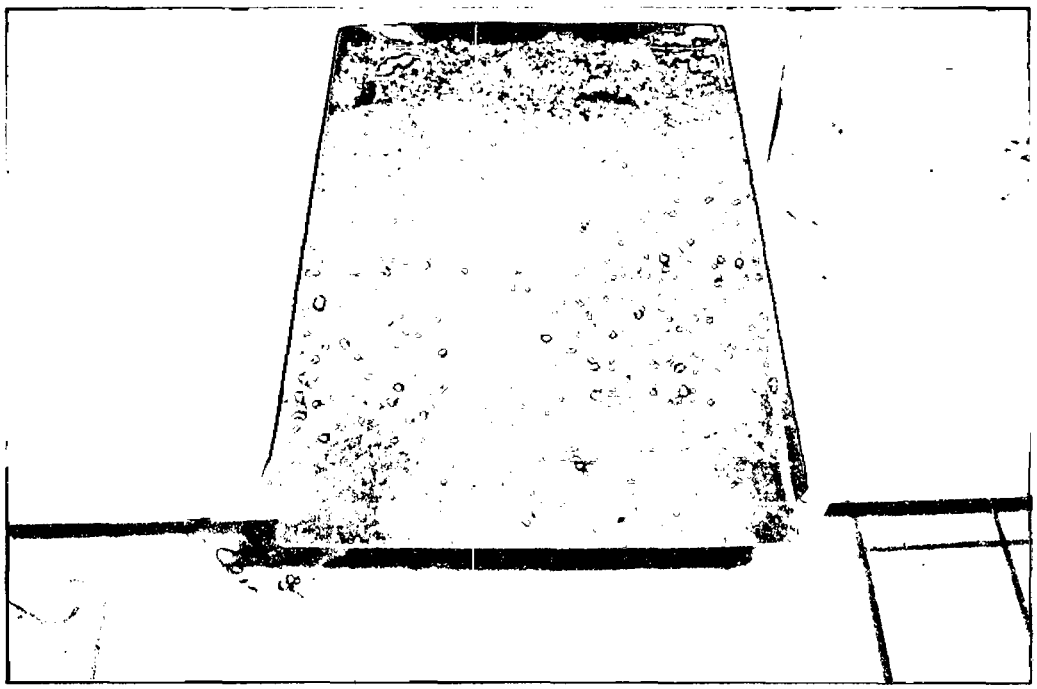


Fotografía 10: Aceite colectado de los ecotipos de *Jatropha curcas L.*



ANEXO 18

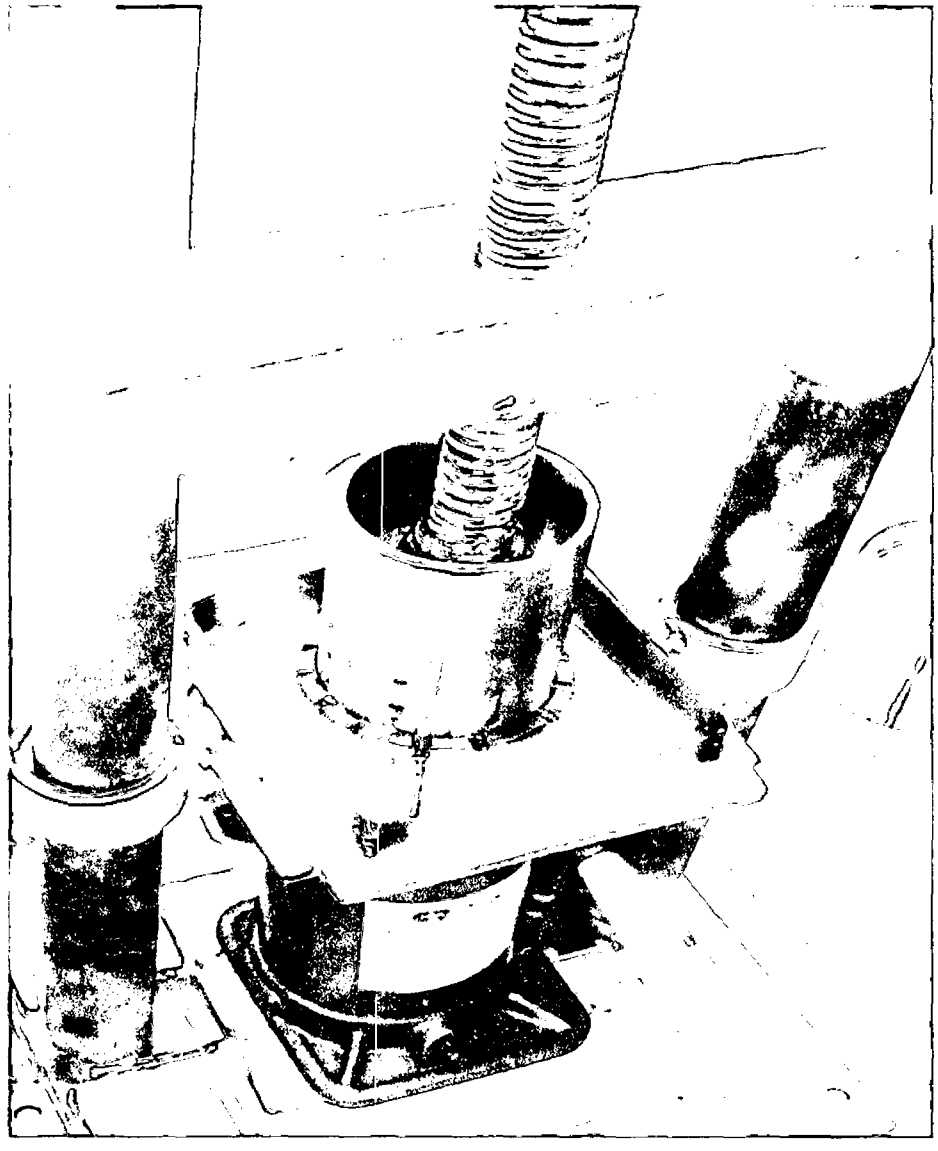
Fotografía 11: Semilla molida de piñón tamaño de partícula 3 mm



Fotografía 12: Vaciado de la muestra en el cilindro

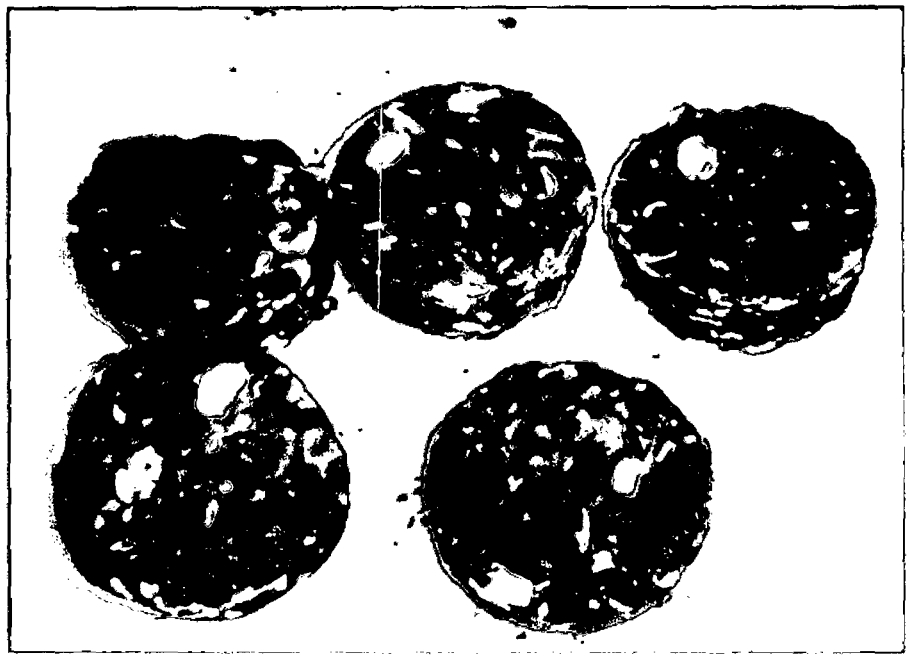
ANEXO 19

Fotografía 13: Extracción de aceite por prensado hidráulico



ANEXO 20

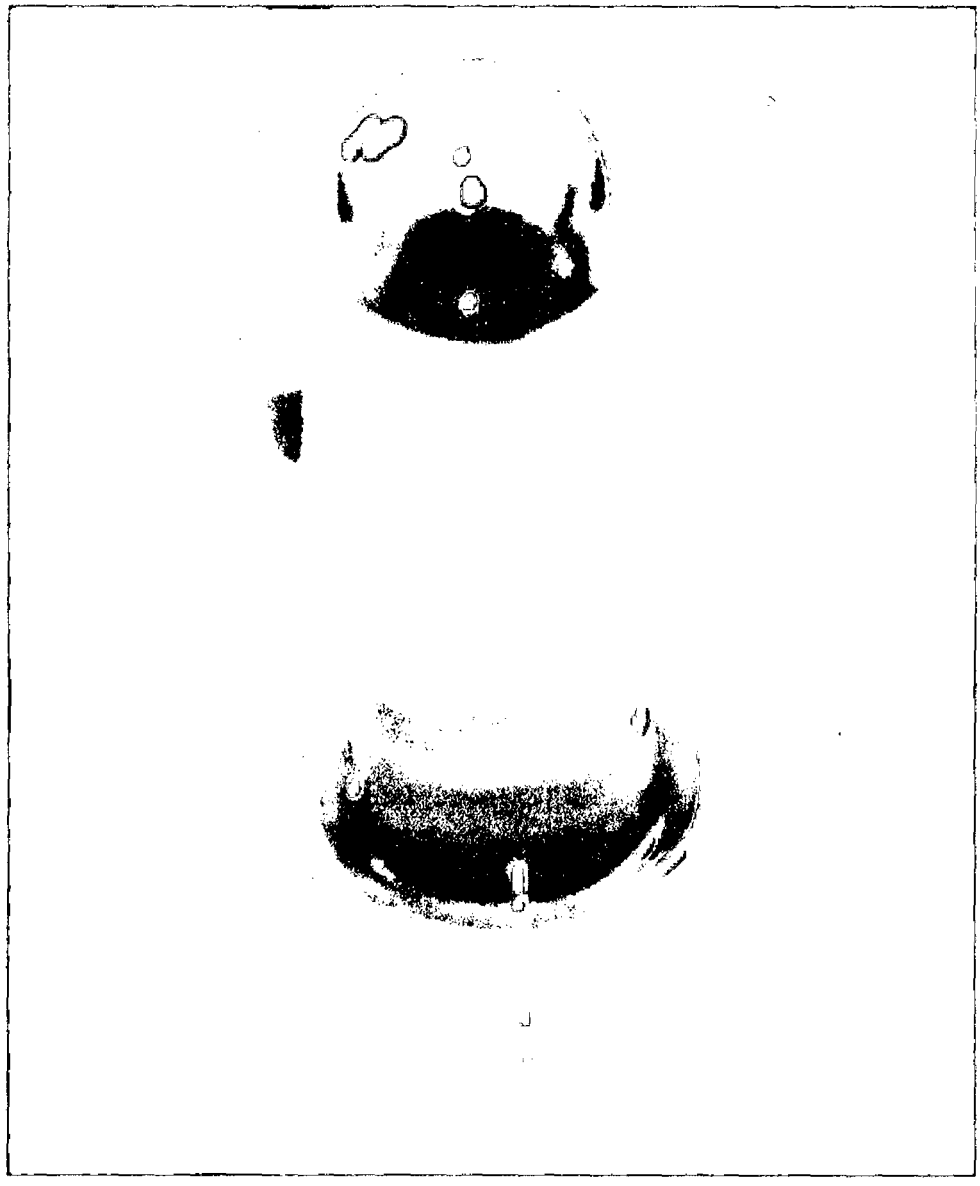
Fotografía 14: Residuo del prensado hidráulico (torta)



Fotografía 15: Filtrado del aceite

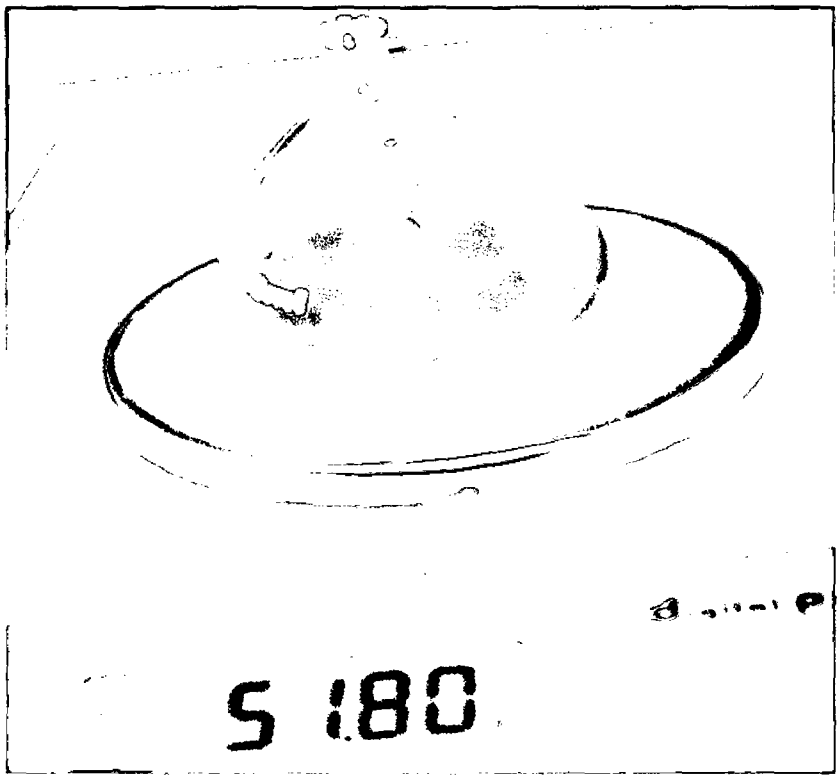
ANEXO 21

Fotografía 16: Encapsulado del aceite para la caracterización fisicoquímica

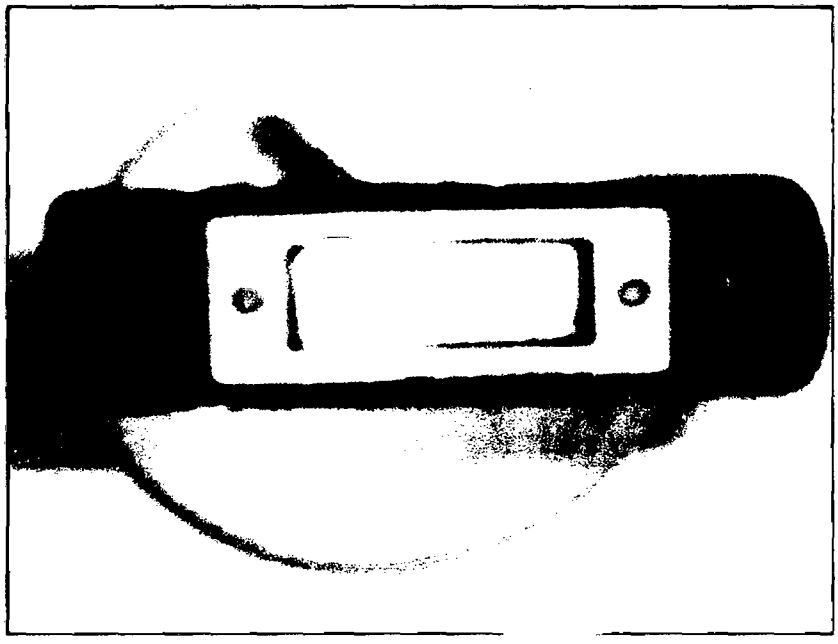


ANEXO 22

Fotografía 17: Pesado del picnómetro para determinar densidad del aceite

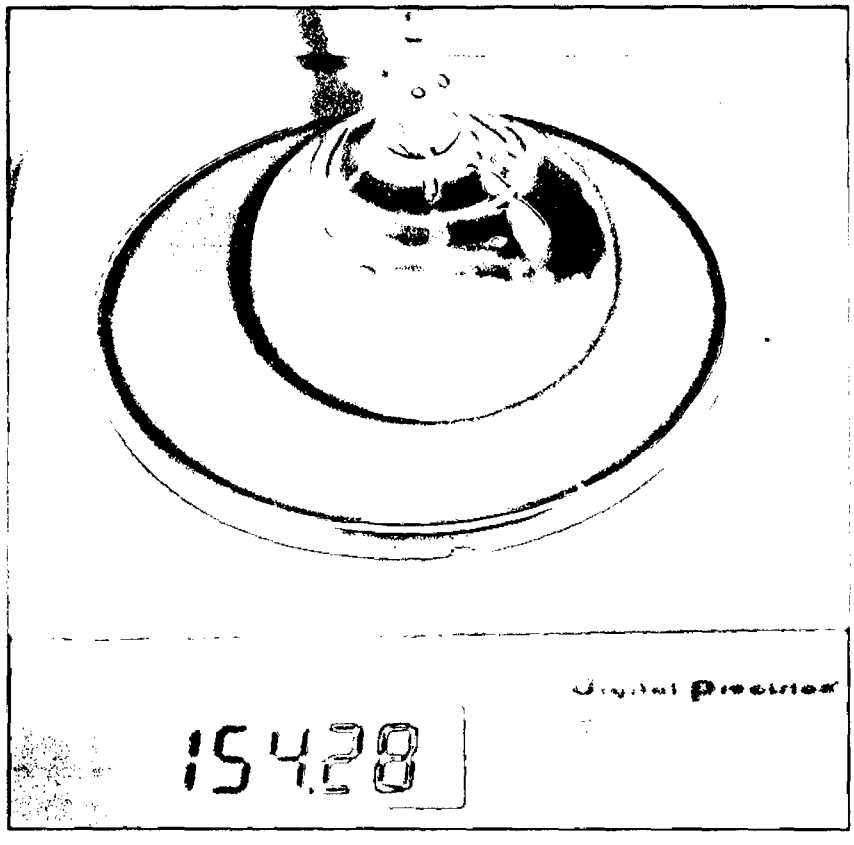


Fotografía18: Medición de la temperatura del aceite



ANEXO 23

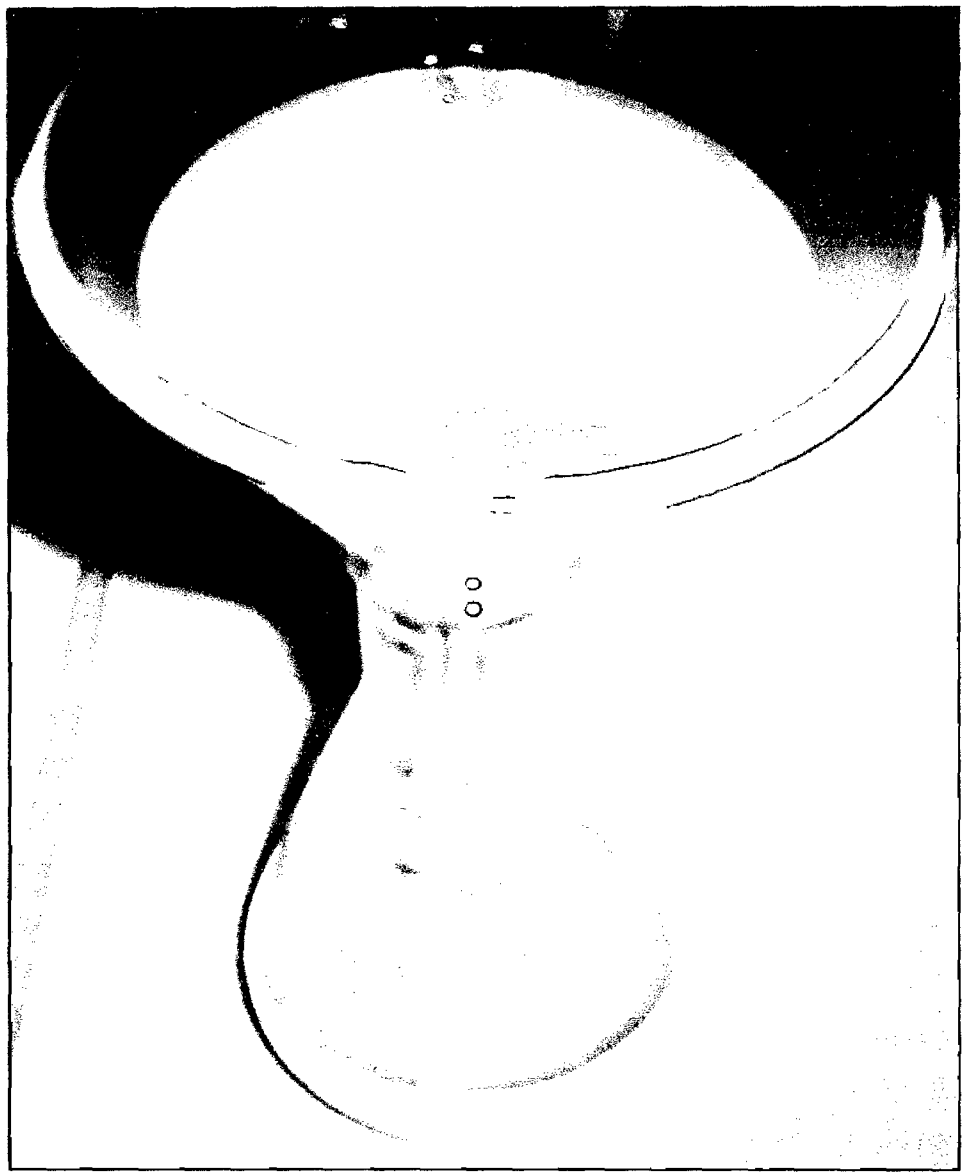
Fotografía 19: Pesado del picnómetro lleno de aceite



Fotografía 20: Mezcla éter de petróleo - aceite para determinar impurezas

ANEXO 24

Fotografía 21: Impurezas impregnadas en el papel filtro al terminar el filtrado de la mezcla éter de petróleo - aceite



ANEXO 25

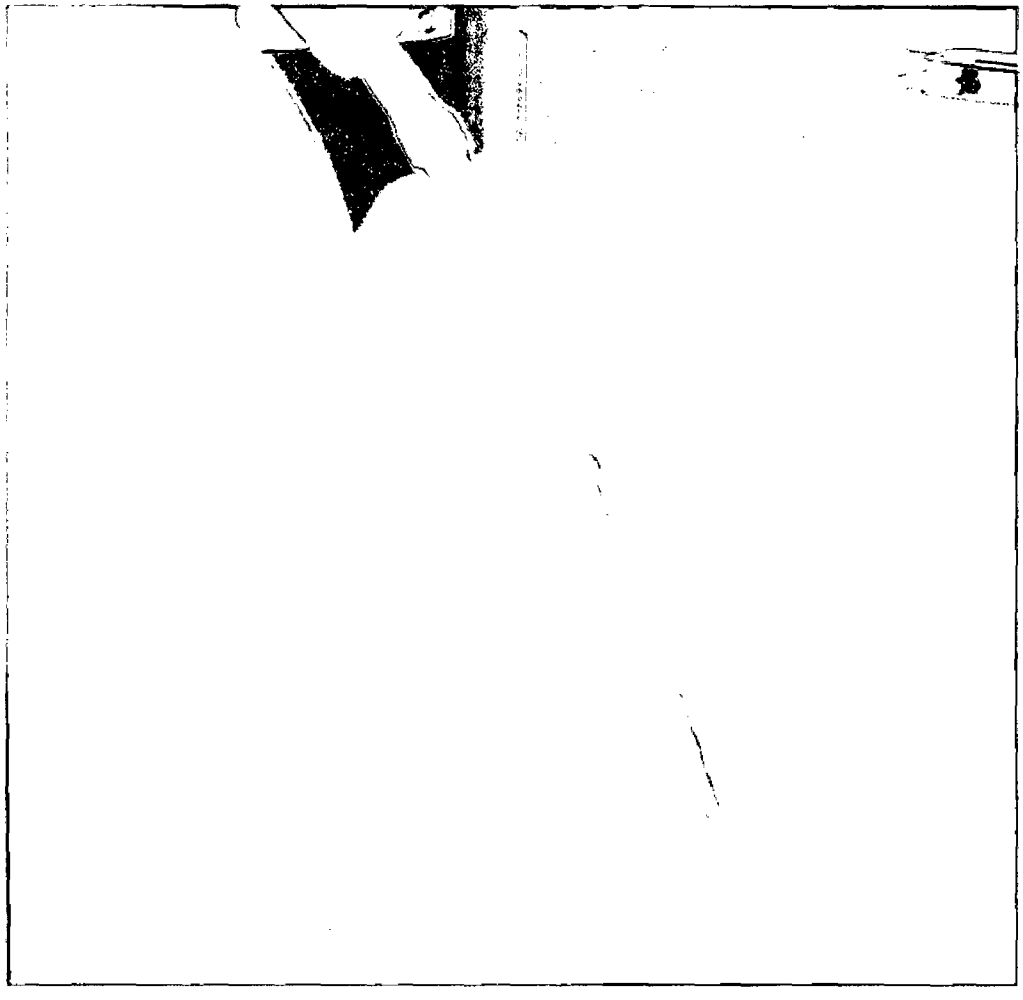
Fotografía 22: Muestras de aceite en capsula de porcelana

ANEXO 26

Fotografías 23 y 24: Determinación del punto de combustión del aceite

ANEXO 27

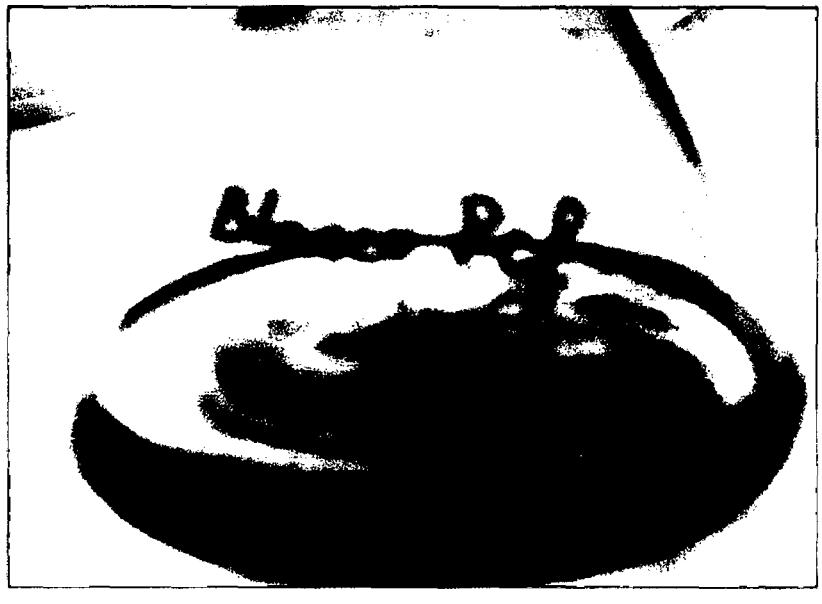
Fotografía 25: Titulación del aceite para determinar el índice de acidez



ANEXO 28

Fotografía 26: Muestra de aceite y disolvente para determinar índice de peróxido

Fotografía 27: Adición de almidón como indicador para la titulación con tiosulfato de sodio



ANEXO 29

Fotografía 28: Coloración azul intenso antes de la titulación con tiosulfato de sodio 0.01 N

Fotografía 29: Titulación con tiosulfato de sodio 0.01 N hasta desaparición del color azul