

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
AMBIENTAL**



**“EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus  
Communis*) CON CUATRO ALCOHOLES DISOLVENTES A  
NIVEL DE LABORATORIO, JAÉN-CAJAMARCA”**

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y AMBIENTAL**

**AUTOR: Bach. JHAM CARLOS VILLEGAS RAMÍREZ**

**ASESOR: Mg. JORGE ANTONIO DELGADO SOTO**

**JAÉN – PERÚ, JULIO, 2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 19 de JULIO, del año 2019; siendo las 18:00 horas, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador:

Presidente: Mg. JOSÉ SALOMÓN ALMESTAR MONTENEGRO  
Secretario: DR. SEGUNDO SÁNCHEZ TELLO  
Vocal: Mg. LINDER RUBIO CUEVA

Para evaluar la Sustentación del Informe Final de:

- ( ) Trabajo de Investigación  
(  ) Tesis  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS) CON CUATRO ALCOHOLES DISOLVENTES A NIVEL DE LABORATORIO, JAÉN - CAJAMARCA  
presentado por Bachiller JHAM CARLOS VILLEGAS RAMÍREZ  
de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado Evaluador acuerda:

- (  ) Aprobar ( ) Desaprobar (  ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	( )
Muy bueno	16, 17	( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bueno	14, 15	( )
Regular	13	( )
Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 18:50 horas del mismo día, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

  
Dr. Segundo Sánchez Tello  
Secretario Jurado Evaluador

  
Mg. José Salomón Almestar Montenegro  
Presidente Jurado Evaluador

  
Mg. Linder Rubio Cueva  
Vocal Jurado Evaluador

**“EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*RICINUS  
COMMUNIS*) CON CUATRO ALCOHOLES DISOLVENTES A NIVEL  
DE LABORATORIO, JAÉN-CAJAMARCA”**



Bach Jham Carlos Villegas Ramirez

**TESISTA**

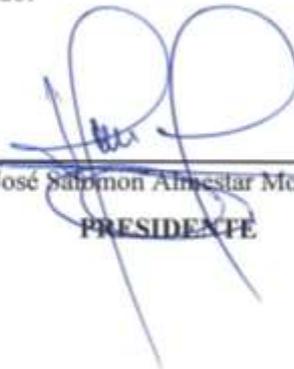


Mg. Jorge Antonio Delgado Soto

**ASESOR**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Aprobado por el siguiente jurado:



Mg. José Salmon Almaraz Montenegro

**PRESIDENTE**



Dr. Segundo Sánchez Tello

**SECRETARIO**



Mg. Linder Rubio Cueva

**VOCAL**

## ÍNDICE

	Pag.
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo Principal.....	12
2.2. Objetivos Específicos .....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1. Ubicación del lugar de investigación .....	13
3.2. Identificación del material biológico.....	13
3.3. Material de laboratorio y reactivos usados.....	14
3.3.1. Material de vidrio .....	14
3.3.2. Reactivos .....	14
3.3.3. Equipos .....	15
3.4. Metodología Experimental.....	15
3.4.1. Fase de campo .....	15
3.4.2. Fase experimental en laboratorio OIKOSLAB .....	18
3.4.3. Análisis e interpretación de la información.....	31
IV. RESULTADOS .....	33
4.1. Identificación y recolección de frutos de higuera .....	33
4.2. Determinación de morfología y propiedades gravimétricas de las semillas de higuera.....	34
4.3. Proceso de secado de semillas (determinación de % humedad) .....	36

4.4. Extracción del aceite de higuera con los cuatro alcoholes propuestos y el convencional.....	37
4.4.1. Rendimientos de las extracciones del proceso sólido-líquido empleando los cuatro alcoholes propuestos y solvente convencional .....	37
4.4.2. Balance de materiales para procesos simples .....	40
4.5. Análisis estadísticos de las extracciones de aceite de higuera.....	42
4.6. Recuperación de alcoholes por destilación simple.....	45
4.6.1. Recuperación de alcoholes mediante destilación simple en el soxhlet.....	46
4.7. Análisis físico-químico del aceite de higuera extraído .....	46
V. DISCUSIÓN.....	49
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
AGRADECIMIENTO .....	66
DEDICATORIA.....	67
ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA) de un DCA .....	31
Tabla 2. Diámetro de las semillas de Higuierilla.....	34
Tabla 3. Peso de las semillas de higuierilla (g) .....	35
Tabla 4. Dimensiones axiales de las semillas de Higuierilla.....	35
Tabla 5. Propiedades gravimétricas de semillas de higuierilla.....	36
Tabla 6. Valores y porcentajes de los rendimientos en las extracciones de aceite.....	38
Tabla 7. Etapas del proceso de extracción.....	40
Tabla 8. Planilla del balance de materia para las extracciones con mayor rendimiento de cada alcohol presentes en los procesos de extracción .....	41
Tabla 9. Contraste de Levene sobre la prueba de homogeneidad de las varianzas. ....	42
Tabla 10. Descripción de medias para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuierilla (%), con un nivel de confianza del 95%, en el modelo de efectos fijos para el diseño de un factor, comparación con DMS tukey.....	42
Tabla 11. Análisis de varianza para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuierilla (%), en el modelo de efectos fijos para el diseño de un factor, asociado a una la prueba F de Fisher.....	43
Tabla 12. Separación de medias en subconjunto homogéneo para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuierilla (%), con un nivel de confianza del 95%, en el módulo de efectos fijos para el diseño de un factor, tratadas bajo el criterio de comparaciones DMS tukey. ....	43
Tabla 13. Comparaciones múltiples de medias para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuierilla (%), con un nivel de confianza del 95%, tratadas bajo el criterio de comparación con DMS tukey.....	44
Tabla 14. Valores y porcentajes de las eficiencias en las recuperaciones de alcoholes ....	45
Tabla 15. Análisis de recuperación de alcoholes mediante destilación simple .....	46
Tabla 16. Cuadro resumen de los análisis físico-químicos estudiados.....	47
Tabla 17. Resultados del índice de peróxido para dos repeticiones .....	47
Tabla 18. Resultados de acidos grasos libres-índice de Acidez para dos repeticiones .....	47
Tabla 19. Resultados del índice de Yodo para dos repeticiones .....	48
Tabla 20. Resultados del índice de Saponificación para dos repeticiones .....	48
Tabla 21. Resultados del índice de Refraccion a 25° C para dos repeticiones .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<i>Figura 1.</i> Identificación de higuera silvestre presente en terrenos Baldíos .....	16
<i>Figura 2.</i> Marca para corte de racimo de higuera .....	17
<i>Figura 3.</i> Secado de semilla a temperatura ambiente.....	17
<i>Figura 4.</i> Dimensiones axiales características de las semilla de <i>R. communis</i> (L: longitud mayor o largo, W: longitud menor o ancho y T: altura o grosor).....	18
<i>Figura 5.</i> Diagrama de flujo del acondicionamiento de la muestra para la extracción de aceite de ricino.....	23
<i>Figura 6.</i> Variedad de higuera encontrada en el centro poblado San Miguel de las Naranjas en el distrito de Jaén, Cajamarca: Tallo rojo sin cera fruto verde .....	33
<i>Figura 7.</i> Puntos experimentales de determinación de pérdida de humedad de las semillas de higuera y curva de ajuste por el modelo Regresión, así como las medidas de error de validación del modelo.....	37
<i>Figura 8.</i> Rendimiento del aceite presente en las semillas de higuera .....	39
<i>Figura 9.</i> Aceite de semillas de higuera silvestre extraído con Isopropanol .....	39
<i>Figura 10.</i> Eficiencia de recuperación de los alcoholes por destilación simple.....	46

## RESUMEN

Con el propósito de dar respuesta al planteamiento del problema, ¿cuánto será el porcentaje de rendimiento en la extracción de aceite de higuera silvestre procedente del centro poblado San Miguel de las Naranjas, Jaén-Cajamarca, empleando etanol, metanol, isopropanol y butanol a nivel de laboratorio?, se formula una respuesta a priori al problema científico, los porcentajes de rendimientos en la extracción de aceite con etanol, metanol, isopropanol y butanol a nivel de laboratorio presentarán significativas cantidades de aceite. Se obtuvo aceite de sus semillas mediante el método de extracción sólido-líquido utilizando el equipo soxhlet, evaluando los cuatro rendimientos en comparación con un solvente convencional (hexano); finalmente, se realizó la caracterización fisicoquímica al aceite obtenido con el mayor rendimiento, fueron realizados por duplicado y de acuerdo a los protocolos de calidad indicados por The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC. En este contexto, el mayor rendimiento en la extracción fue proveniente del alcohol isopropanol con 50.95%; su calidad se determinó a partir de los índices: refracción 1.4745, acidez 0.4899, saponificación 153.545, yodo 83.21 y peróxido 0.475, por tanto se llega a la conclusión que éste es el mejor alcohol para extraer aceite en cantidad y calidad recomendable.

Palabras claves: Extracción, alcoholes, aceite de higuera, rendimiento.

## ABSTRACT

In order to answer the problem statement, How much will be the yield percentage in wild castor oil extraction from “San Miguel de las Naranjas” town, Jaen-Cajamarca, using ethanol, methanol, isopropanol and butanol at laboratory level?, a response is formulated a priori to scientific problem, yields percentages in oil extraction with ethanol, methanol, isopropanol and butanol at laboratory level will present oil significant amounts. Oil was obtained from its seeds by solid-liquid extraction method using soxhlet equipment, evaluating the four yields in comparison with a conventional solvent (hexane); Finally, physicochemical characterization by oil obtained with the highest yield was carried out, they were carried out in duplicate and according to quality protocols indicated by The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC. In context, the highest extraction yield came from isopropanol alcohol with 50.95%; its quality was determined from indices: refraction 1.4745, acidity 0.4899, saponification 153.545, iodine 83.21 and peroxide 0.475, therefore it is concluded this is the best alcohol to extract oil in quantity and recommended quality.

Keywords: Extraction, alcohols, castor oil, yield

## I. INTRODUCCIÓN

El mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad ha provocado el uso indiscriminado de recursos naturales. Por tal motivo, existe en el mundo un creciente interés hacia el desarrollo de nuevas formas de energía alternativas y renovables (García J. M., 2006). Con la necesidad de prevenir cambios y reducir el impacto de los gases invernadero sobre el clima del planeta, y el propósito de solucionar el problema de cuánto será el porcentaje de rendimiento en la extracción de aceite de higuera silvestre procedente del centro poblado San Miguel de las Naranjas, Jaén-Cajamarca, empleando etanol, metanol, isopropanol y butanol a nivel de laboratorio, se debe apostar a estrategias de diversificación de la producción de energía limpia. Por ello, la presente investigación es necesaria para dar a conocer la importancia, beneficios ambientales y técnicos representando una opción de producción de aceite de higuera en zonas empobrecidas, por ser ésta una planta muy adaptable a estos suelos, por otro lado, proponer alcoholes como disolventes ecológicos que sean menos tóxicos o nocivos que los tradicionales que conllevan graves afecciones a la salud del ser humano y al medio ambiente, los peligros que entraña su uso desde el punto de vista de seguridad para la industria y las personas que en ella laboran, así como las que residen o trabajan en áreas aledañas, pues son sustancias extremadamente volátiles y fácilmente inflamables. Lo que ha llevado la sustitución progresiva de disolventes más seguros como los alcoholes (metanol, etanol, isopropanol y butanol), además de aprovechar los suelos degradados que se encuentran abarcados entre erosión y degradación dándoles cambios positivos en los ecosistemas para brindar bienes y servicios sociales, ambientales y económicos por parte de la especie *Ricinus Communis*.

La extracción de aceite de higuera tendrá un alcance a los productores del centro poblado de Las Naranjas, Jaén – Cajamarca; y todos aquellos productores que incidan en las nuevas prácticas forestales ya que la higuera tiene gran tolerancia a sequías y suelos semiáridos donde hay pocas alternativas de usos agrícolas, estas condiciones y más permiten un cultivo económicamente viable (Soares y Gondim de Souza, 2009), produciendo nuevos

ingresos por su venta y posible exportación, además de un alcance a plantas industriales y laboratorios que emplean disolventes orgánicos como hexano, éter de petróleo, acetona, etc, en la extracción química de aceites de origen vegetal.

En el Perú existen pocos trabajos de investigación con la oleaginosa *R. Communis* y con el proceso de extracción química empleando alcoholes, no se ha tomado en cuenta el efecto que produce la variedad en los parámetros de rendimientos y calidad, por lo que el objetivo principal de la investigación fue extraer aceite de higuierilla con cuatro alcoholes disolventes a nivel de laboratorio, mediante la metodología del proceso sólido-líquido con equipo soxhlet en Jaén, Cajamarca y la investigación se llevó a cabo en un primer momento de trabajo en campo y en segundo momento de trabajo en los laboratorios Oikoslab SAC- Jaén.

## II. OBJETIVOS

Los objetivos que se pretendieron con la investigación para dar respuesta al problema son:

### 2.1. Objetivo Principal

- Extraer aceite de higuera con cuatro alcoholes disolventes a nivel de laboratorio, mediante el proceso sólido-líquido (soxhlet) en Jaén, Cajamarca.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Determinar morfología y propiedades gravimétricas de las semillas de higuera encontradas en el centro poblado San Miguel de Las Naranjas provincia de Jaén.
- Determinar cuál es el mejor alcohol propuesto en la extracción de aceite en función a su rendimiento.
- Realizar un balance de materiales de la unidad experimental que presente superior extracción en función a su rendimiento.
- Analizar la recuperación de alcoholes mediante destilación simple en el equipo soxhlet.
- Caracterizar fisicoquímicamente los parámetros índices de refracción, índice de saponificación, índice de acidez, índice de yodo e índice de peróxido, a las muestras experimentales obtenidas del alcohol que muestre superior rendimiento en la extracción de aceite.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del lugar de investigación

El presente proyecto de investigación se desarrolló en dos fases: la primera en el centro poblado San Miguel de las Naranjas, distrito de Jaén, provincia de Jaén, región Cajamarca, a una altura de 1337 m.s.n.m y una temperatura de 26°C promedio donde se llevó a cabo la identificación y recolección de frutos de higuera silvestre, la segunda fase se realizó en el Laboratorio de análisis de aguas y suelos OIKOSLAB S.A.C, con RUC N°: 20487352072 y con domicilio fiscal en Pj. San Pedro N°: 113 Int. 2 Sec. Morro Solar, Jaén-Cajamarca, donde se realizó la extracción del aceite de higuera para su posterior evaluación de rendimientos y caracterización del aceite obtenido.

#### 3.2. Identificación del material biológico

Para la identificación del material biológico constituido por semillas de higuera de un ecotipo de semilla silvestre local, se solicitó identificar con una muestra botánica de higuera al especialista en Dendrología de la Universidad Nacional de Cajamarca el Ing. Leiver Flores Flores, quien clasificó la especie según el sistema de clasificación Cronquist, dando validez y veracidad en la recolección de semillas del género ***R. communis*** a utilizar en la investigación, emitiendo una constancia que se puede apreciar en el anexo 1.

### 3.3. Material de laboratorio y reactivos usados

#### 3.3.1. Material de vidrio

- Matraz de 250 ml
- Vaso precipitado
- Burbujas de ebullición
- Luna de reloj
- Bureta graduada de 25 ml
- Probeta de 50 ml
- Probeta de 25 ml
- Matraz de 250 ml con tapa esterilizada
- Pipeta de 1 ml
- Matraz de 500 ml
- Bureta graduada de 50 ml
- Pipeta de 20 ml
- Pipeta de 25 ml
- Bagueta

#### 3.3.2. Reactivos

- Alcohol etílico absoluto neutralizado.- Neutralizar el alcohol con NaOH utilizando fenolftaleína como indicador (no agotar el gasto utilizado).
- Fenolftaleína 1% - Pesar 1 g de fenolftaleína y disolver con alcohol enrasando en fiola de 100 ml.
- Hidróxido de sodio 0.1 N.- Disolver 4 g de hidróxido de sodio diluir a 1l con agua destilada.
- Ácido acético-cloroformo 3:2. - Disolver 18 ml de ácido acético glacial + 12 ml de cloroformo para cada matraz (30 ml).
- Ioduro de potasio saturado.- Disolver una cantidad de ioduro de potasio hasta que logre saturar al momento de uso y si se pone amarilla descartarla.
- Tiosulfato de sodio 0.01 ml. - Disolver 2.5 g  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  enrasar a 1l.

- Ioduro de potasio al 10% disolver 10 g de ioduro de potasio enrasando en fiola de 100 ml.
- Alcohol Isopropanol, Etanol, Metanol y Butanol 90%.

### 3.3.3. Equipos

- Balanza analítica
- GPS
- Estufa
- Destilador
- Soxhlet
- Vernier
- Mascarilla

## 3.4. Metodología Experimental

En el esquema del anexo 4 se encuentra un diagrama de flujo el cual muestra el procedimiento experimental utilizado en este trabajo de investigación.

### 3.4.1. Fase de campo

#### 3.4.1.1. Identificación y recolección de los frutos de higerilla

La identificación de las plantas de higerilla se realizó de manera dirigida, es decir se dispuso a ir a los lugares en donde se observaban las plantas de higerilla silvestre en cualquier parte del terreno recorrido, esto en lugares dentro del centro poblado de San Miguel de las Naranjas a 8.9 km de la ciudad de Jaén a una altura de 1337 msnm y 28°C de temperatura promedio, entre los meses de noviembre y diciembre del 2018.



*Figura 1.* Identificación de higuerilla silvestre presente en terrenos Baldíos. Fuente: toma propia

Las plantas de higuerilla fueron inventariadas y georreferenciadas, utilizando un GPS (Mca. Garmin, Mod. Rino 110), para la posterior elaboración de un mapa con apoyo del software QGis versión 2, donde se muestran la ubicación de los puntos de muestreo (ver anexo 2).

La recolección del fruto del ecotipo local silvestre encontradas en terrenos baldíos del mismo centro poblado dependió del color del tallo, de las hojas y de los frutos; estos últimos contemplando que estuvieran en la maduración o cosecha.

La obtención de los frutos fue de manera manual con el apoyo de tijeras para cortar lo más cercano al tallo (figura 2), una vez cortados los racimos, se depositaron solamente los frutos en costales previamente etiquetados, de acuerdo a las características de la variedad en cuanto a altura, diámetro, color del tallo, color y tamaño de hojas, el tipo de racimo que contenía los frutos y la presencia ausencia de cera en la planta, esto para posterior almacenamiento temporal y transformación.



*Figura 2.* Marca para corte de racimo de higuera

#### 3.4.1.2. Obtención de las semillas de higuera

Una vez obtenidos los frutos de higuera se requiere hacer una limpieza inicial de la materia prima que generalmente contiene el 2 % en peso de impurezas, después se dejaron secar al sol para posteriormente obtener las semillas a través de un descascarado manual presionando las semillas sobre un objeto plano con el objetivo de eliminar la cáscara que recubre los cotiledones. Algunas de ellas se proyectan por sí solas al ser expuestos los frutos a la radiación solar.



*Figura 3.* Secado de semilla a temperatura ambiente

### 3.4.2. Fase experimental en laboratorio OIKOSLAB

#### 3.4.2.1. Dimensionamiento de las semillas de higuera

Para determinar las dimensiones axiales de las semillas de *R. communis* fue necesario seleccionar veinticinco semillas, a las cuales se les midió en centímetros el L (longitud del grano), W (ancho del grano), T (altura del grano) mediante un vernier, dichas mediciones están basadas en que la forma de las semillas de *R. communis* son similares a un elipsoide escaleno en donde  $L > W > T$ , además se pesó en gramos cada una de las semillas con una balanza con precisión 0.1 mg.



Figura 4. Dimensiones axiales características de las semilla de *R. communis* (L: longitud mayor o largo, W: longitud menor o ancho y T: altura o grosor).

#### 3.4.2.2. Caracterización morfológica de semillas

##### a. Diámetro medio aritmético (Da)

Debido a que el tamaño de semilla se considera un parámetro importante en el procesamiento (Aviara y Haque, 2000), este fue medido en sus tres dimensiones dicho anteriormente, diámetro mayor (L), diámetro medio (W) y diámetro menor (T) (Ordoñez, Gely y Pagano, 2012).

Se determinó el diámetro medio aritmético mediante la ecuación:

$$D_a = \frac{L + W + T}{3}$$

b. Diámetro medio geométrico ( $D_g$ )

El diámetro medio geométrico fue calculado mediante la relación descrita por (Vilche, Gely y Santalla, 2003).

$$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}}$$

Donde, L es la longitud del grano; W es el ancho del grano y T es la altura del grano.

c. Área superficial específica (S)

El área superficial se calculó asumiendo la forma elipsoidal de la semilla, es determinada por la relación dada por (McCabe, Smith y Harriot, 1986):

$$S = \pi D_g^2$$

d. Esfericidad ( $\phi$ )

La esfericidad se calculó a partir de la relación dada por (Vilche, Gely y Santalla, 2003).

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} = \frac{D_g}{L}$$

Donde, L es la longitud; W es el ancho y T es la altura en mm. Altos valores de esfericidad para las semillas, más parecido a una forma de esfera.

e. Relación de aspecto (Ra)

Para completar la información sobre la forma de la semilla de higuera, se calculó la relación aspecto mediante la siguiente Ecuación (Maduako y Faborode, 1990).

$$R_a = \frac{W}{L} \times 100$$

3.4.2.3. Determinación de propiedades gravimétricas

a. Densidad real ( $\delta_{real}$ )

Se determinó por el método de desplazamiento de líquido, utilizando un recipiente aforado de 50 ml (con una precisión de 0,1 ml), el cual se llenó con 25 ml de agua destilada; luego, se sumergieron 10 gramos de semilla por un tiempo corto de 10 segundos, evitando que la semilla absorbiera agua. La densidad real ( $\rho$ ), en g/cm<sup>3</sup>, de las semillas se determinó como la relación entre el peso de semillas (g) y volumen del agua desplazada (1ml = 1cm<sup>3</sup>). El volumen del agua desplazada se registró por lectura directa en la escala del recipiente (Olajide y Ade-Omowaye, 1999); (Amin, Hossain y Roy, 2004).

$$\rho = m/v$$

Donde:  $\rho$  = densidad,  $v$  = Volumen,  $m$  = masa

b. Densidad Aparente ( $\delta_{aparente}$ )

Se determinó empleando el procedimiento Singh y Goswami (1996), utilizando una probeta de 25 ml, en la cual se dejaron caer, a velocidad constante, las semillas de higuera desde una altura de 10 cm tomada desde la abertura. Este proceso se realizó hasta alcanzar la línea que representa los 20 ml. La masa de las semillas de higuera contenidas en el recipiente fue dividida por el volumen del cilindro representado por la probeta, según la siguiente ecuación:

$$\rho_a = \frac{Mr_l - Mr_v}{V_r}$$

Donde:

$Mr_l$  = Masa de recipiente lleno

$Mr_v$  = Masa de recipiente vacío

$V_r$  = Volumen de recipiente

c. Porosidad ( $\varepsilon$ )

La porosidad, definida como el porcentaje del volumen del espacio ocupado por el aire (Alain y Claude, 2004). Su complementario es la compacidad o la fracción de huecos en el lecho de granos, a partir de las densidades real y aparente (Gupta y Das, 1997):

$$\varepsilon = \left( 1 - \frac{\delta_{aparente}}{\delta_{real}} \right) 100$$

Donde: E = masa de una semilla (g) calculada a partir de la muestra utilizada en la determinación de la densidad real.

#### 3.4.2.4. Secado de las semillas de higuerilla

Sánchez y Huertas (2012) para la determinación de humedad, se pesó una capsula de porcelana previamente esterilizada con alcohol (P1). Utilizando las muestras homogenizadas, se colocó una cierta cantidad de semilla en la capsula (P2), y se llevó a la estufa de flujo convectivo (Mca. FELISA, Mod. FE-291AD) a 105°C por 24 horas. Para obtener el peso de la muestra de semilla tomada (P3) se utilizó la siguiente expresión:

$$P_3 = P_2 - P_1$$

Una vez transcurrido el tiempo establecido se sacó la muestra de la estufa y se dejó enfriar en el desecador, por unos minutos hasta obtener una temperatura uniforme.

Se pesó nuevamente la capsula (P4) y para obtener el valor del peso seco de la muestra (P5), se realizó la siguiente ecuación:

$$P_5 = P_4 - P_1$$

Para calcular el porcentaje de humedad, se utilizó la siguiente formula:

$$\%humedad = 100 - \left(\frac{P_5}{P_3} * 100\right)$$

#### 3.4.2.5. Acondicionamiento de las muestras para extracción

Después del secado de las semillas, se procedió a la trituración de las mismas, utilizando un mortero de laboratorio, ya que la trituración o molienda de las semillas permite la disminución del tamaño de partícula que se realiza con el fin de incrementar el área de contacto

semilla–alcohol, favoreciendo la difusión de dicho alcohol a través de la matriz sólida durante el proceso de extracción y además permite también una mayor superficie de contacto en el secado de las mismas (Secretaria de Agricultura Ganaderia Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2011), (Martínez, Zamarripa, Solis y López, 2011).

La Secretaria de Agricultura Ganaderia Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (2011) y Martínez et al. (2011) recomiendan para eliminar el contenido de humedad presente en la semilla triturada, lo cual propiciará que la extracción sea más eficiente, ya que si la semilla no estuviese seca completamente el alcohol utilizado para la extracción no penetraría fácilmente en tejidos húmedos y se dificultaría la extracción de aceite por vía soxhlet.



Figura 5. Diagrama de flujo del acondicionamiento de la muestra para la extracción de aceite de ricino. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.2.6. Extracción de aceite por medio del método sólido-líquido (soxhlet)

Para el proceso de extracción se utilizó el equipo soxhlet de Operaciones Unitarias del Laboratorio OIKOSLAB para cada extracción se preparó las relaciones soluto – solvente de 1:10 por un tiempo de 5 horas y la temperatura de ebullición correspondiente a

cada uno de los disolventes a emplear (Muñoz, 2007) (Georgogianni, 2007) definidas en el diseño de experimentos.

Se pesa el balón de cristal y se coloca sobre la manta calefactora, seguidamente se añaden 200 ml del alcohol a utilizar y tres burbujas de ebullición respectivamente pesadas, después se acopla el cuerpo extractor del soxhlet de 500 ml al balón. Para garantizar la sujeción se coloca una pinza keck al cuerpo extractor con un soporte universal.

Se pesaron las masa con 20 g de semilla triturada anteriormente y son colocadas en papel de filtro que suple la función de un dedal (cartucho poroso que se introduce en el extractor de manera que las semillas no puedan salir de este) y son acopladas al cuerpo extractor.

Finalmente se acopla el condensador y se ajusta la manta calefactora (IKA C – MAG HP10). Tras las 5 horas de extracción, se apaga la manta tras se vacíe el cuerpo extractor por medio del sifón, se deja enfriar, seguidamente se retira el cartucho se pesa y se lleva a la estufa con la temperatura de 105°C por 24 horas.

#### 3.4.2.7. Etapa de recuperación del alcohol en la mezcla aceite – alcohol

La mezcla aceite - alcohol se sometió a una operación de destilación simple a presión atmosférica para separar el aceite del alcohol. La recuperación se efectúa a temperatura de ebullición del alcohol correspondiente. El componente más volátil se recogerá por condensación del vapor y el compuesto no volátil quedará en el matraz de destilación.

El alcohol se recuperó por evaporación y condensación, dejando al aceite puro separado dentro del matraz, la eficiencia en la recuperación se calculó con la siguiente formula:

$$eficiencia = \frac{ml \text{ de alcohol recuperado}}{ml \text{ de miscela} - \text{aceite esencial}} \times 100$$

#### 3.4.2.8. Metodología de cálculo del rendimiento en la obtención del aceite

Para calcular el rendimiento del aceite en cada lote se pesó el matraz vacío y luego el matraz con el aceite después de haber recuperado el alcohol, y se obtuvo el valor por medio de la ecuación (Hill y Kolb, 1999). Las muestras de aceite puro se guardaron en botellas color ámbar de 125 ml.

El matraz se pesó y finalmente se calculó el porcentaje de aceite obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\%Rendimiento \text{ de extracción} = \frac{m_2 - m_1}{E} \times 100$$

Donde:

$m_1$  = Peso del recipiente vacío y seco con núcleos de ebullición (g)

$m_2$  = Peso del matraz con los núcleos de ebullición y aceite después de la evaporación del alcohol (g)

$E$  = Peso de la muestra o aceite en la muestra (g)

#### 3.4.2.9. Análisis fisicoquímico del aceite

Dichos análisis fisicoquímicos se realizaron por duplicado al alcohol que presentó mayor rendimiento en las extracciones, esas unidades experimentales sirvieron para la caracterización del aceite, así mismo analizar su calidad. Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en las inmediaciones del laboratorio OIKOSLAB SAC en la ciudad de Jaén, en base a los protocolos indicados por The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC edición 1990.

a. Determinación del índice de acidez

La determinación del índice de acidez se realizó por el método de titulación directa, según The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC.

Procedimiento del método de titulación directo

1. Pesar de 5 a 7 gramos de muestra en un matraz de 250 ml.
2. Calentar 50 ml de alcohol previamente neutralizado con dos gotas de fenolftaleína y adicionar a la muestra.
3. Adicionar 2 ml de fenolftaleína al 1%.
4. Titular con NaOH 0.1N hasta que persista el color rosado por lo menos de 30 segundos.
5. Realizar los cálculos, según formula:

$$\% \text{ Ácidos Grasos Libres} = \frac{\text{Gasto} * \text{Normalidad C.} * 28.2}{\text{Gramos de muestra}}$$

Índice de acidez (mg KOH necesarios para neutralizar 1g de muestra) = % Ácidos Grasos Libres \* 1.99

Estandarización del NaOH 0.1N

1. A pesar de 0.2 gramos de Biftalato acido de potasio en un matraz de 250 ml.
2. Disolver con 30 ml de agua destilada.
3. Adicionar 3 gotas de Fenolftaleina al 1%.
4. Titular con NaOH 0.1N hasta que persista el color rosado por lo menos de 30 segundos.
5. Realizar los cálculos según la fórmula:

$$\text{Normalidad Corregida} = \frac{\text{gr de KHC8H4O4} * 1000}{\text{ml de NaOH} * 204.229}$$

b. Determinación del índice de peróxidos

El método usado en este análisis están basado sobre la titulación iodométrica, como se detalla a continuación según The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC, edición 1990.

Método de titulación

1. Pesar de 5 g de muestra en un matraz con tapa de 250 ml.
2. Adicionar 30 ml de mezcla 3:2 ácido acético: cloroformo y agitar por rotación en forma suave hasta conseguir la disolución de la muestra.
3. Agregar 0.5 ml de la disolución de ioduro de potasio saturado, agitando un minuto.
4. Añadir 30 ml de agua
5. Titular el yodo liberado con tiosulfato de sodio 0.01N gota a gota mientras se agita vigorosamente, hasta la casi total desaparición del color amarillo, luego adicionar 1 ml de almidón al 1% y continúe la titulación agitando todavía vigorosamente hasta la desaparición del color azul. Anotar el gasto.
6. Simultáneamente realizar una titulación en blanco en las mismas condiciones. El gasto de blanco no deberá exceder de 0.5 ml de tiosulfato.
7. Realizar los cálculos según la fórmula:

$$\frac{\text{Miliequivalente de Peroxido}}{\text{Kg de muestra}} = (\text{gasto muestra} - \text{gasto del blanco}) * \text{Normalidad} * 1000$$

### Estandarización del tiosulfato de sodio 0.01N

1. Pesar de 0.02 gr de dicromato de potasio en un matraz de 250 ml.
2. Disolver con 8 ml de agua destilada y 0.2 g de IK.
3. Adicionar 2 ml de HCl 1N.
4. Inmediatamente colocar en oscuridad por 10 min.
5. Titular con tiosulfato de sodio 0.01N usando almidón como indicador hasta que desaparezca el color azul.
6. Realizar los cálculos según la fórmula:

$$\text{Normalidad Corregida} = \frac{\text{gr de } K_2Cr_2O_7 * 1000}{\text{ml de } Na_2S_2O_3 * 49.032}$$

### c. Determinación del índice de yodo

Se empleó el método de titulación con tiosulfato de sodio. Según The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC, edición 1990.

### Método de titulación directo

1. Pesar de 0.2 g de muestra en un matraz con tapa de 500 ml.
2. Adicionar 15 ml de tetracloruro de carbono y 25 ml de reactivo de Wijs. Agitar por rotación en forma suave hasta conseguir la disolución de la muestra.
3. Inmediatamente dejar en reposo 30 minutos en lugar oscuro
4. Agregar 20 ml de la solución de ioduro de potasio al 10%.
5. Añadir 100 ml de agua
6. Titular con solución de tiosulfato de sodio 0.1N empleando almidón al 1% como indicador, hasta desaparición del color azul. Anotar el gasto.

7. Simultáneamente realizar una titulación en blanco en las mismas condiciones.
8. Realizar los cálculos según la fórmula:

$$IY = \frac{(\text{gasto del blanco} - \text{gasto de la muestra}) * \text{Normalidad} * 12.69}{\text{gramos de muestra}}$$

Estandarización del tiosulfato de sodio 0.1N

1. Pesar de 0.2 g de dicromato de potasio en un matraz de 250 ml.
2. Disolver con 80 ml de agua destilada y 2 g de IK.
3. Adicionar 20 ml de HCl 1N.
4. Inmediatamente colocar en oscuridad por 10 minutos.
5. Titular con tiosulfato de sodio 0.1N usando almidón como indicador hasta que desaparezca el color azul.
6. Realizar los cálculos según la fórmula:

$$\text{Normalidad Corregida} = \frac{\text{gr de } K_2Cr_2O_7 * 1000}{\text{ml de } Na_2S_2O_3 * 49.032}$$

d. Determinación de índice de refracción

Esta medición se realizó por medio del refractómetro se funda en la observación de la línea límite de la reflexión.

Método de medida directa

1. Abrir el doble prisma a través del tornillo del cabezal.
2. Colocar algunas gotas de muestra sobre el prisma
3. Cerrar apretando firmemente el prisma
4. Dejar reposar unos minutos antes de la lectura, por lo que la temperatura de la muestra y el instrumento será el mismo.
5. El prisma doble que contenga la muestra a analizar dejar hacer ahora la luz de la fuente luminosa por medición del espejo, en

una de las aberturas entra la luz, entonces al mirar por el ocular, el campo visual aparece dividido en una parte clara y otra oscura.

6. La línea de separación entre lecturas, limpiando fuera de aceite con un paño suave y, a continuación, con una almohadilla de algodón humedecido con el disolvente.

e. Determinación del índice de saponificación

Se empleó el método de titulación directa, según The Official Methods of Analysis, of the Association of Official Analytical Chemists – AOAC, edición 1990.

Método de titulación

1. Pesar de 5 g de muestra en un matraz de 250 ml.
2. Adicionar 50 ml hidróxido de potasio en etanol.
3. Conectar el matraz a un reflujo para que complete la saponificación por 30 minutos.
4. Enfriar
5. Titular con una solución de HCl 0.5N usando fenolftaleína como indicador.
6. Simultáneamente realizar una titulación en blanco en las mismas condiciones
7. Realizar resultados.

Índice de saponificación (mg KOH requ. para saponificar 1 g de grasa)

$$= \frac{28.05 * (\text{gasto de blanco} - \text{gasto de la muestra})}{\text{gramos de muestra}}$$

Donde:

Gasto de blanco = ml de HCl 0.5N requeridos para el blanco.

Gasto de la muestra = ml de HCl 0.5N requeridos para la muestra.

### 3.4.3. Análisis e interpretación de la información

#### 3.4.3.1. Análisis de datos

Datos estadísticos que establecieron características de las semillas y del aceite, se trataron bajo el modelo de efectos fijos para el diseño de un factor; gracias al análisis de varianza, se estableció si las semillas usadas y el aceite extraído difieren o son iguales según su procedencia, descartando la posibilidad de ser meramente consecuencia del azar, o una condición aleatoria presente en la aplicación del experimento, el modelo aplicado en el diseño experimental es:

$$y_{ij} = \mu + T_j + \varepsilon_{ij}$$

$\mu$  = Promedio global para todos los tratamientos,  $T_j$ = Efecto del j-ésimo tratamiento,

$\varepsilon_{ij}$ = Error aleatorio presente en la i-ésimo observación del j-ésimo tratamiento.

Tabla 1

*Análisis de varianza (ANOVA) de un DCA*

Fuente Variación (FV)	Grados Libertad (gl)	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios (CM)	Valor de F
Tratamientos	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{y_i^2}{r} - \frac{y_{..}^2}{tr}$	$SC_{trat}/$ $gl_{trat}$	$CM_{trat}/$ $CM_{ee}$
Error	t(r-1)	$SC_{total} - SC_{trat}$	$SC_{ee}/ gl_{ee}$	
Total	tr-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{tr}$		

Fuente: (Fernández, Trapero y Domínguez, 2010)

Se tomó en cuenta un  $\alpha=0.05$  para identificar los niveles de significancia. Se aplicó la regla de decisión implícita, en un nivel de significación de 5 %, solo si los análisis mostraban que las semillas son estructuralmente distintas, realizando entonces el proceso de comparaciones múltiples, indicando que las semillas no muestran ninguna diferencia entre sí, gracias a la prueba de TUKEY, con el siguiente criterio: dos elementos de estudio son significativamente distintos, si la diferencia de las medias, en valor absoluto, es superior a la Diferencia Mínima Significativa siguiente:

$$DMS_{tukey} = \frac{q}{\sqrt{2}} \sqrt{CME \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

#### 3.4.3.2. Desviación estándar de la muestra

La desviación estándar nos sirvió para dar una interpretación precisa de las observaciones dentro de la distribución, ya que su magnitud esta expresada en términos de distancia, la cual representa la dispersión de cada valor de la variable respecto a un valor central (Ospina, 1996).

#### 3.4.3.3. Coeficiente de variación

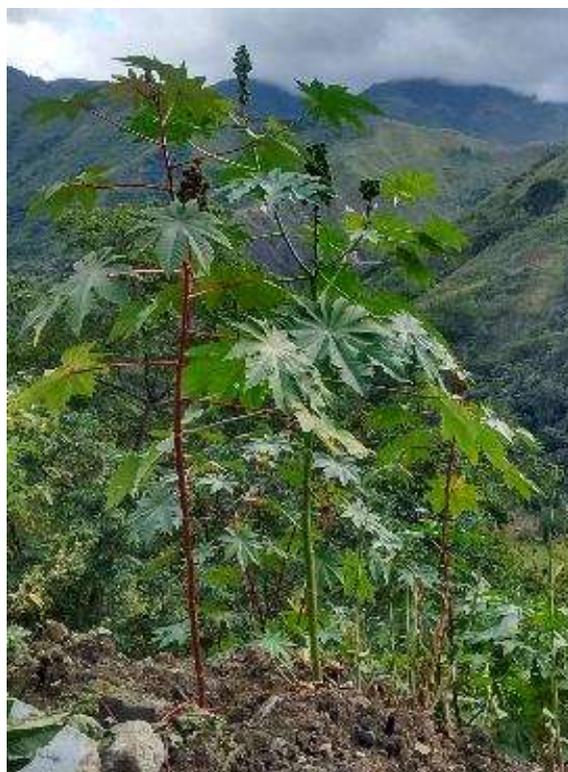
El coeficiente de variación nos permitió estimar con claridad la tendencia al equilibrio o desequilibrio que presenta una medición individual o un conjunto de mediciones, A menor coeficiente de variación se considera que la distribución de la variable medida es más homogénea. (Ospina, 1996).

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Identificación y recolección de frutos de higerilla

En el anexo 3 se muestra un inventario de las especies de higerillas silvestres *R. Communis* donde se recolectaron las muestras.

De la recolección de frutos de higerilla se obtuvo un promedio de 61 semillas secas por planta, obteniendo un promedio de 83.0393 g/planta. Así mismo, la masa de veinticinco unidades de semilla tiene un peso promedio de  $0.696 \pm 0.020$  g. Siendo la masa de semilla por fruto entre 0.6571 - 0.7132 g.



*Figura 6.* Variedad de higerilla encontrada en el centro poblado San Miguel de las Naranjas en el distrito de Jaén, Cajamarca: Tallo rojo sin cera fruto verde

## 4.2. Determinación de morfología y propiedades gravimétricas de las semillas de higuera

### 4.2.1. Dimensionamiento de las semillas

Las dimensiones axiales de las veinticinco muestras de semillas medidas con vernier se detallan en la tabla del anexo 5.

Tabla 2

#### *Diámetro de las semillas de Higuera*

	Semilla de Higuera		
	Largo (L) (cm)	Ancho (W) (cm)	Grosor (T) (cm)
Promedio	1.273	0.816	0.670
Valor mínimo	1.200	0.750	0.600
Máximo	1.300	0.850	0.700
Desviación estándar	0.037	0.037	0.035
Mediana	1.300	0.850	0.700
Varianza	0.001	0.001	0.001
Coefficiente de variación	0.029	0.046	0.053

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2. Peso de las semillas de higuera

En la tabla 3 se dan las medidas de dispersión que arrojaron los resultados obtenidos, los datos de las veinticinco semillas se muestran en la tabla del anexo 5.

Tabla 3

*Peso de las semillas de higuera (g)*

Medidas de dispersión	Datos
Promedio	0.696
Valor mínimo	0.6571
Máximo	0.7132
Desviación estándar	0.020
Mediana	0.712
Varianza	0.0004
Coefficiente de variación	0.030

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Morfología de las semillas de higuera

Las medidas de la morfología de las semillas de higuera se muestran en la tabla del anexo 5.

Tabla 4

*Dimensiones axiales de las semillas de Higuera*

	Diámetro medio aritmético (cm)	Diámetro medio geométrico (cm)	Área superficial específica (cm <sup>2</sup> )	Esfericidad (cm <sup>3</sup> )	Relación aspecto (%)
Promedio	0.920	0.771	2.422	0.606	64.157
Mínimo	0.8833	0.7501	2.3565	0.5770	57.6923
Máximo	0.9500	0.8045	2.5474	0.6188	65.3846
Desviación estándar	0.028	0.017	0.054	0.019	3.517
Mediana	0.917	0.768	2.414	0.603	65.385
Varianza	0.001	0.0003	0.003	0.0004	12.367
Coefficiente de variación	0.030	0.022	0.022	0.031	0.055

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Propiedades gravimétricas

Las medidas de las propiedades gravimétricas de semillas de higuera se muestran en el anexo 6.

En la tabla 5 se muestran los promedios y las desviaciones estándar de las pruebas realizadas para calcular sus propiedades gravimétricas correspondientes.

Tabla 5

*Propiedades gravimétricas de semillas de higuera*

Propiedades	Semillas de Higuera
	Silvestre
Densidad real (g/ml)	$0.90 \pm 0.0603$
Densidad aparente (g/ml)	$0.56 \pm 0.0107$
Porosidad (%)	$37 \pm 4.4243$

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Proceso de secado de semillas (determinación de %humedad)

Se calculó el porcentaje de humedad base seca en función del tiempo, la humedad se determina en los cálculos presentes en el anexo 7.

El ajuste de los datos experimentales a los del modelo de regresión cuadrática muestra que éste es un modelo adecuado para predecir el secado en estufa de semillas de higuera. El R<sup>2</sup> es próximo de 1.

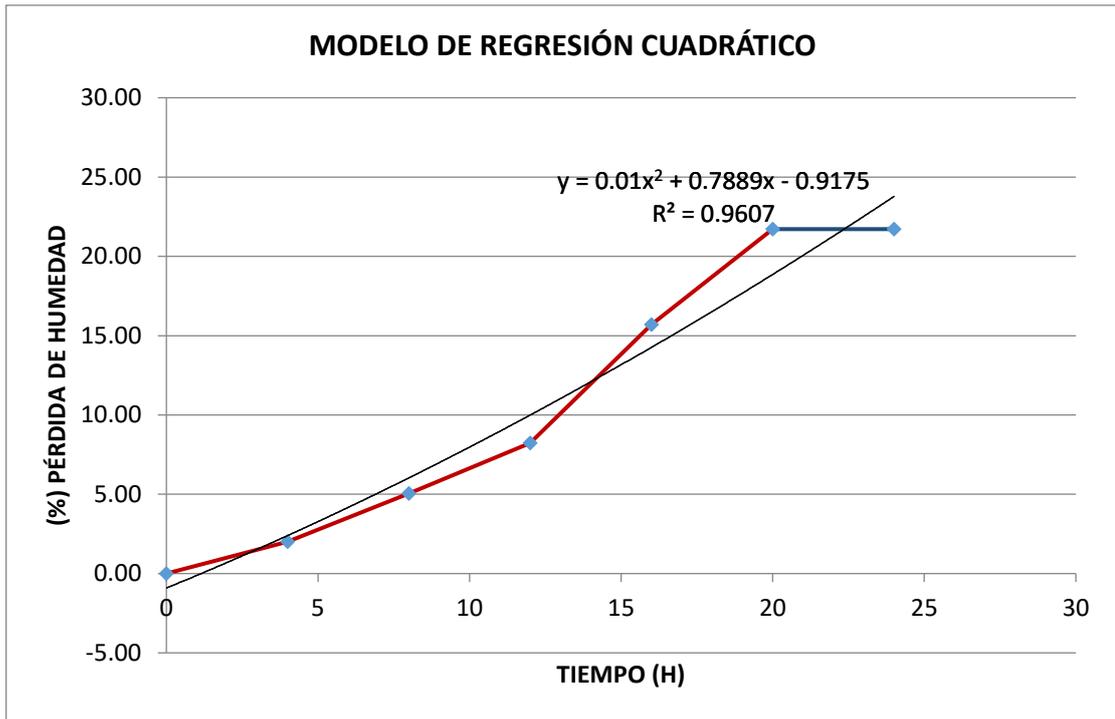


Figura 7. Puntos experimentales de determinación de pérdida de humedad de las semillas de higuerrilla y curva de ajuste por el modelo Regresión, así como las medidas de error de validación del modelo.

#### 4.4. Extracción del aceite de higuerrilla con los cuatro alcoholes propuestos y el convencional

##### 4.4.1. Rendimientos de las extracciones del proceso sólido-líquido empleando los cuatro alcoholes propuestos y solvente convencional

De acuerdo con la operación del método de extracción de aceite de la semilla de *R. Communis*, no se identificaron diferencias en el desarrollo de sus etapas a seguir, al igual que en los factores que influyen la extracción de aceite.

En el anexo 8 se puede apreciar los registros de datos que se llevaron a cabo en el desarrollo de la investigación con el propósito de llevar un control y registro del presente trabajo.

Tabla 6  
Valores y porcentajes de los rendimientos en las extracciones de aceite

Alcohol	Ensayo	Aceite extraído		Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio (%)	Desviación estándar (+/-)	Coeficiente de variación (%)
		volumen (ml)	peso (g)				
*Hexano	1	10.618	10.278	51.39	52.11	0.0075	0.0144
	2	10.661	10.32	51.60			
	3	10.950	<b>10.6</b>	53.00			
	4	10.837	10.49	52.45			
Etanol	1	9.991	9.671	48.36	48.61	0.0055	0.0113
	2	9.917	9.6	48.00			
	3	10.176	<b>9.85</b>	49.25			
	4	10.093	9.77	48.85			
Metanol	1	8.993	8.705	43.53	43.61	0.0015	0.033
	2	8.977	8.69	43.45			
	3	9.027	8.738	43.69			
	4	9.043	<b>8.7535</b>	43.77			
Isopropanol	1	10.314	9.984	49.92	50.95	0.0072	0.0142
	2	10.640	<b>10.3</b>	51.50			
	3	10.538	10.201	51.01			
	4	10.618	10.278	51.39			
Butanol	1	8.080	7.821	39.11	39.06	0.0024	0.0061
	2	8.106	<b>7.847</b>	39.24			
	3	8.098	7.839	39.20			
	4	7.999	7.743	38.72			

Nota: \* solvente convencional

Fuente: Elaboración propia

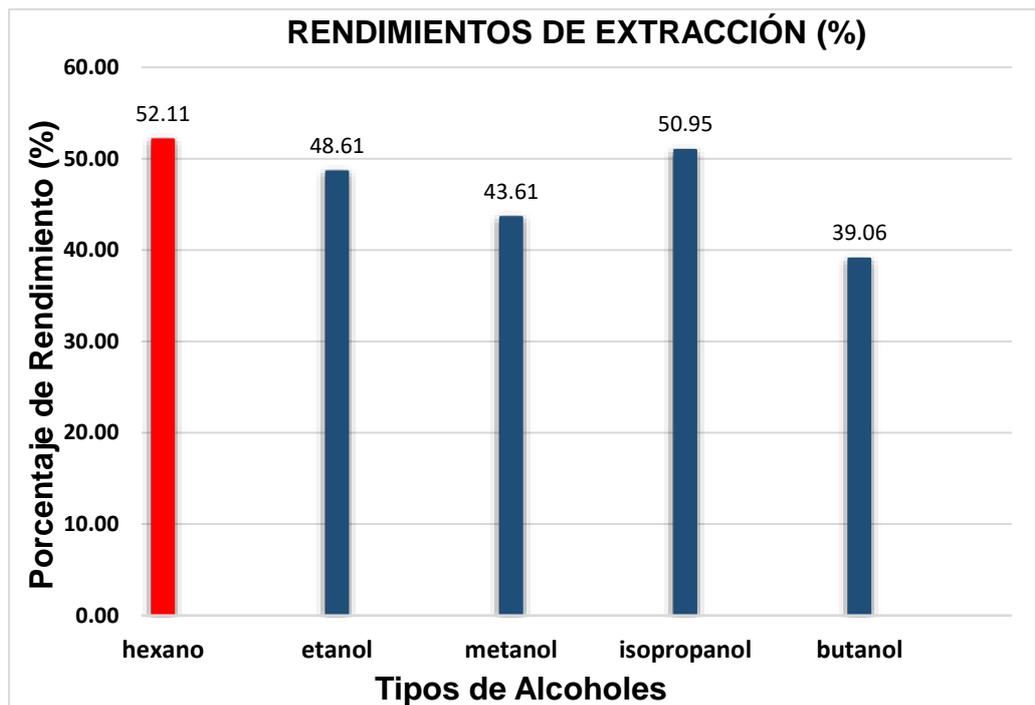


Figura 8. Rendimiento del aceite presente en las semillas de higuera (extracción química).

El aceite que se obtuvo de la extracción con el isopropanol utilizado en este estudio presentó un color amarillo claro (ver figura 9).



Figura 9. Aceite de semillas de higuera silvestre extraído con Isopropanol

#### 4.4.2. Balance de materiales para procesos simples

Para un día de trabajo de 16 horas (dos turnos de 8 horas), a nivel de laboratorio para el ensayo que presentó el mayor rendimiento en extracción de aceite de higuera produjo un promedio de 10.19 g.

Tabla 7

*Etapas del proceso de extracción*

Etapas	Horas
Limpieza	1.50
Descascarillado	4.00
Trituración	1.00
Instalación de equipos	0.50
Lixiviación	5.00
Separación del alcohol-aceite	3.00
Obtención de aceite	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>16.00</b>

Nota: secado se realizó para las veinte pruebas (20 gr), reducir costos de producción.

Fuente: Elaboración propia

En el anexo 9 se encuentra el diagrama de flujo del balance de materiales con las diferentes corrientes que entran y salen de cada equipo. Cabe precisar que la unidad experimental con mayor rendimiento de extracción fue quien determinó dicho diagrama de flujo del balance de materiales.

Una vez confeccionado el diagrama de flujo, se completó la planilla que adjunta los datos que se obtuvieron del balance de materiales conteniendo aquellos balances que registraron mayores rendimientos en la experimentación de cada alcohol.

Tabla 8

Planilla del balance de materia para las extracciones con mayor rendimiento de cada alcohol presentes en los procesos de extracción

PLANILLA DE BALANCES DE MATERIALES - PROCESOS SIMPLES																
procesos	materiales	hexano			metanol			etanol			isopropanol			butanol		
		entradas	salidas	entr-sal	entradas	salidas	entr-sal	entradas	salidas	entr-sal	entradas	salidas	entr-sal	entradas	salidas	entr-sal
		g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s	g/base s
limpieza	frutos	56.7915	55.6557	1.1358	56.7915	55.6557	1.1358	56.7915	55.6557	1.1358	56.7915	55.6557	1.1358	56.7915	55.6557	1.1358
	impurezas		1.1358	-1.1358		1.1358	-1.1358		1.1358	-1.1358		1.1358	-1.1358		1.1358	-1.1358
	<b>totales</b>	56.7915	56.7915	0	56.7915	56.7915	0	56.7915	56.7915	0	56.7915	56.7915	0	56.7915	56.7915	0
descascarillado	frutos	55.6557		55.6557	55.6557		55.6557	55.6557		55.6557	55.6557		55.6557	55.6557		55.6557
	casaca		30.0986	-30.0986		30.0986	-30.0986		30.0986	-30.0986		30.0986	-30.0986		30.0986	-30.0986
	semilla		25.5571	-25.5571		25.5571	-25.5571		25.5571	-25.5571		25.5571	-25.5571		25.5571	-25.5571
	<b>totales</b>	55.6557	55.6557	0	55.6557	55.6557	0	55.6557	55.6557	0	55.6557	55.6557	0	55.6557	55.6557	0
secado	semilla	25.3827		25.3827	26.1873		26.1873	25.4268		25.4268	25.5571		25.5571	25.8731		25.8731
	agua		5.3827	-5.3827		6.1873	-6.1873		5.4268	-5.4268		5.5571	-5.5571		5.8731	-5.8731
	semilla seca		20	-20		20	-20		20	-20		20	-20		20	-20
	<b>totales</b>	25.3827	25.3827	0	26.1873	26.1873	0	25.4268	25.4268	0	25.5571	25.5571	0	25.8731	25.8731	0
trituración	semilla	20	20	0	20	20	0	20	20	0	20	20	0	20	20	0
	<b>totales</b>	20	20	0	20	20	0	20	20	0	20	20	0	20	20	0
lixiviación	semilla	20		20	20		20	20		20	20		20	20		20
	alcohol	130.96		130.96	158.36		158.36	157.8		157.8	157.26		157.26	161.96		161.96
	residuo		11.4921	-11.4921		13.7567	-13.7567		13.6673	-13.6673		13.8	-13.8		14.2476	-14.2476
	miscela		139.4679	-139.4679		164.6033	-164.6033		164.1327	-164.1327		163.46	-163.46		167.7124	-167.7124
	<b>totales</b>	150.96	150.96	0	178.36	178.36	0	177.8	177.8	0	177.26	177.26	0	181.96	181.96	0
destilación	miscela	139.4679		139.4679	164.6033		164.6033	164.1327		164.1327	163.46		163.46	167.7124		167.7124
	alcohol a															
	recuperar		128.8679	-128.8679		155.8498	-155.8498		154.2827	-154.2827		153.16	-153.16		159.8654	-159.8654
	aceite		10.6	-10.6		8.7535	-8.7535		9.85	-9.85		10.3	-10.3		7.847	-7.847
<b>totales</b>	139.4679	139.4679	0	164.6033	164.6033	0	164.1327	164.1327	0	163.46	163.46	0	167.7124	167.7124	0	

#### 4.5. Análisis estadísticos de las extracciones de aceite de higuera

A través del software SPSS, se realizó el análisis estadístico usando un diseño completamente al azar DCA de los porcentajes de extracción obtenidos. Con el fin de establecer si existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 9

*Contraste de Levene sobre la prueba de homogeneidad de las varianzas.*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	Se basa en la media	3,246	4	15	<b>,042</b>
	Se basa en la mediana	2,188	4	15	,120
Porcentaje de rendimiento (%)	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,188	4	6,532	,179
	Se basa en la media recortada	2,987	4	15	,053

Tabla 10

*Descripción de medias para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuera (%), con un nivel de confianza del 95%, en el modelo de efectos fijos para el diseño de un factor, tratadas bajo el criterio de comparación con DMS tukey.*

Tratamiento	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Hexano	4	,52110000	,007497111	,003748555	,50917042	,53302958
Etanol	4	,48613750	,005490200	,002745100	,47740137	,49487363
Metanol	4	,43608125	,001460790	,000730395	,43375681	,43840569
Isopropanol	4	,50953750	,007211030	,003605515	,49806314	,52101186
Butanol	4	,39062500	,002379601	,001189800	,38683852	,39441148
Total	20	,46869625	,050234868	,011232858	,44518561	,49220689

Tabla 11

*Análisis de varianza para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuera (%), en el modelo de efectos fijos para el diseño de un factor, asociado a una la prueba F de Fisher.*

Porcentaje de rendimiento (%)					
	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Valor Critico
Tratamientos	,048	4	,012	406,352	,000
Error	,000	15	,000		
Total	,048	19			

Tabla 12

*Separación de medias en subconjunto homogéneo para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuera (%), con un nivel de confianza del 95%, en el módulo de efectos fijos para el diseño de un factor, tratadas bajo el criterio de comparaciones DMS tukey.*

$\alpha = 0,05$

Alcoholes	N	1	2	3	4
Butanol	4	,39062500			
Metanol	4		,43608125		
Etanol	4			,48613750	
Isopropanol	4				,50953750
Hexano	4				,52110000
Sig.		1,000	1,000	1,000	,056

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

Tabla 13

Comparaciones múltiples de medias para el porcentaje del rendimiento de extracción de aceite en las semillas de higuera (%), con un nivel de confianza del 95%, tratadas bajo el criterio de comparación con DMS tukey.

Variable dependiente: Porcentaje de rendimiento (%)

$\alpha = 0,05$

(I) Alcohol	(J) Alcoholes	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Hexano	Etanol	,034962500*	,003822883	,000	,02315773	,04676727
	Metanol	,085018750*	,003822883	,000	,07321398	,09682352
	Isopropanol	,011562500	,003822883	<b>,056</b>	-,00024227	,02336727
	Butanol	,130475000*	,003822883	,000	,11867023	,14227977
Etanol	Hexano	-,034962500*	,003822883	,000	-,04676727	-,02315773
	Metanol	,050056250*	,003822883	,000	,03825148	,06186102
	Isopropanol	-,023400000*	,003822883	,000	-,03520477	-,01159523
	Butanol	,095512500*	,003822883	,000	,08370773	,10731727
Metanol	Hexano	-,085018750*	,003822883	,000	-,09682352	-,07321398
	Etanol	-,050056250*	,003822883	,000	-,06186102	-,03825148
	Isopropanol	-,073456250*	,003822883	,000	-,08526102	-,06165148
	Butanol	,045456250*	,003822883	,000	,03365148	,05726102
Isopropanol	Hexano	-,011562500	,003822883	,056	-,02336727	,00024227
	Etanol	,023400000*	,003822883	,000	,01159523	,03520477
	Metanol	,073456250*	,003822883	,000	,06165148	,08526102
	Butanol	,118912500*	,003822883	,000	,10710773	,13071727
Butanol	Hexano	-,130475000*	,003822883	,000	-,14227977	-,11867023
	Etanol	-,095512500*	,003822883	,000	-,10731727	-,08370773
	Metanol	-,045456250*	,003822883	,000	-,05726102	-,03365148
	Isopropanol	-,118912500*	,003822883	,000	-,13071727	-,10710773

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

#### 4.6. Recuperación de alcoholes por destilación simple

En la tabla 14 y figura 10 se observan los porcentajes de recuperación promedio obtenidos a las mejores condiciones de operación. La determinación de las recuperaciones se presenta en el anexo 11.

Tabla 14

*Valores y porcentajes de las eficiencias en las recuperaciones de alcoholes*

Alcoholes	Ensayo	Alcohol recuperado		Eficiencia de recuperación (%)	Promedio (%)	Desviación estándar (+/-)	Coeficiente de variación (%)
		volumen (ml)	peso (gr)				
*Hexano	1	68.888	45.1081	35.00	35.0462	0.0846	0.0024
	2	68.949	45.1481	35.03			
	3	69.213	45.3208	35.17			
	4	68.840	45.0763	34.98			
Etanol	1	55.471	43.7668	28.37	28.7660	0.6474	0.0225
	2	55.251	43.5932	28.26			
	3	58.040	45.7935	29.68			
	4	56.236	44.3704	28.76			
Metanol	1	55.539	43.9761	28.22	28.1753	0.2781	0.0099
	2	54.778	43.3729	27.83			
	3	56.111	44.4287	28.51			
	4	55.402	43.8671	28.15			
Isopropanol	1	56.762	44.6318	29.14	29.3394	0.2443	0.0083
	2	57.540	45.2434	29.54			
	3	56.685	44.5718	29.10			
	4	57.609	45.2982	29.58			
Butanol	1	54.878	44.4398	27.80	27.5646	0.4613	0.0167
	2	53.133	43.0273	26.91			
	3	53.211	44.09	27.58			
	4	53.974	44.708	27.97			

Fuente: Elaboración propia

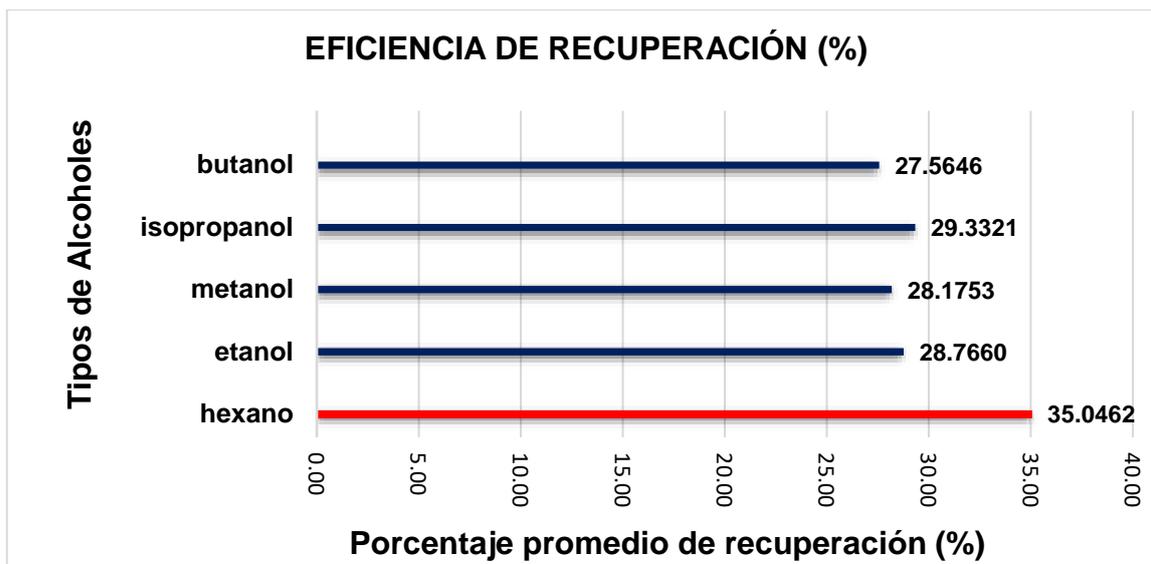


Figura 10. Eficiencia de recuperación de los alcoholes por destilación simple.

#### 4.6.1. Análisis de recuperación de alcoholes mediante destilación simple en el soxhlet

Tabla 15

*Análisis de recuperación de alcoholes mediante destilación simple en el soxhlet*

Alcoholes	Aceite obtenido (ml)	Alcohol usado (ml)	Alcohol recuperado (ml)	Alcohol consumido (ml)	Costo de alcohol (S/.)	Costo de alcohol recuperado (S/.)
*Hexano	43.066	800	280.32	519.68	80	57.57
Etanol	40.177	800	229.60	570.40	12	9.24
Metanol	36.04	800	225.36	574.64	70	54.22
Isopropanol	42.11	800	234.72	565.28	70	53.56
Butanol	35.283	800	220.48	579.52	70	54.57

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7. Análisis físico-químico del aceite de higuera extraído

Las determinaciones de cada uno de los parámetros evaluados se realizaron por duplicado para asegurar la reproducibilidad de los análisis y siguiendo las normas correspondientes para sus respectivas determinaciones, contemplando que los siguientes análisis físicoquímicos se realizaron únicamente al aceite extraído con isopropanol quien fue el que mayor porcentaje de extracción presentó.

Los resultados obtenidos del análisis del aceite de higuera, que se describen en la tabla 16:

Tabla 16

*Cuadro resumen de los análisis físico-químicos estudiados*

Análisis fisicoquímico	Valor Obtenido	Rangos
Índice de refracción a 15-20°C	1.4745	1,460 - 1,500
Índice de acidez (mg KOH/g de aceite)	0.4179	0.38 - 0.56
Índice de saponificación (mg KOH/g de aceite)	153.545	169 - 200
Índice yodo (g I <sub>2</sub> /100 g de aceite)	83.21	60-120
Índice de peróxido (meq)	0.475	<5

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7.1. Índice de peróxido

Tabla 17

*Resultados del índice de peróxido para dos repeticiones*

Especie	gr muestra	gasto	normalidad	índice de peróxido	promedio	desviación estándar	coeficiente de variación
Aceite de higuera	5.0765	0.2	0.010552	0.51	0.475	0.0495	0.1042
silvestre	5.0582	0.2	0.010552	0.44			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2. Índice de acidez

Tabla 18

*Resultados del porcentaje de ácidos grasos libres-índice de Acidez para dos repeticiones*

Especie	%AGL	Promedio % AGL	Desviación estándar	Índice de acidez	Promedio índice de acidez	Desviación estándar	Coficiente de variación
Aceite de higuera	0.21	0.21	0.00	0.4179	0.4179	0.00	0.00
silvestre	0.21			0.4179			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.3. Índice de yodo

Tabla 19

*Resultados del índice de Yodo para dos repeticiones*

Especie	blanco	gr muestra	gasto	normalidad	índice de yodo	promedio	desviación estándar	coeficiente de variación
Aceite de	45.6	0.2219	31.2	0.0997813	82.17			
higuerilla silvestre	45.6	0.2552	28.3	0.0997813	84.25	83.21	1.4708	0.0177

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.4. Índice de saponificación

Tabla 20

*Resultados del índice de Saponificación para dos repeticiones*

Especie	blanco	gr muestra	gasto	normalidad	índice de saponificación	promedio	desviación estándar	coeficiente de variación
Aceite de	53.8	5.0807	26.2	0.5	154.93			
higuerilla silvestre	53.9	5.2809	25.5	0.5	156.16	155.545	0.8697	0.0148

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.5. Índice de Refracción

Tabla 21

*Resultados del índice de Refracción a 25° C para dos repeticiones*

Especie	Lecturas Refractómetro	Índice de Refracción 25° C	desviación estándar	coeficiente de variación
Aceite de	1.474			
higuerilla silvestre	1.475	1.4745	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

Las especies de higuera silvestres identificadas se encontraron distribuidas alrededor del Centro Poblado San Miguel de las Naranjas del distrito de Jaén-Cajamarca, principalmente en terrenos baldíos, en el muestreo de las plantas de higuera del centro poblado antes mencionado, se identificaron catorce plantas de higuera del género *R. Communis* las cuales se georreferenciaron los puntos de ubicación (anexo 3) además, se recolectaron los frutos de higuera donde se obtuvo un promedio de 61 semillas secas por planta, obteniendo un promedio de 83.0393 g/planta. Así mismo, la masa de veinticinco unidades de semilla tiene un peso promedio de  $0.696 \pm 0.020$  g.

De acuerdo con los resultados del dimensionamiento realizados a las veinticinco semillas de higuera; se determinaron dimensiones con promedios de largo que oscilaron entre  $1.273 \pm 0.037$  cm, ancho  $0.816 \pm 0.037$  cm y grosor  $0.670 \pm 0.035$  cm, con una varianza del 0.001%. Los datos concuerdan con los resultados reportados por Ruiz (2012), quien evaluó ecotipos de higuera mexicanos fueron estadísticamente diferentes dos diámetros y pesos de las semillas evaluadas. De igual forma, Pita, Anadón, y Martínez (2014) reportaron promedios entre 8 y 20 mm de largo y entre 4 y 12 mm de ancho para la variedad higuera mamona negra. Además, los resultados de Correa (2014) mostraron medidas entre 0.742-0.848 cm de ancho, 0.926-1.500 cm de alto y 0.500-0.588 cm para semillas autóctonas en Ecuador.

La desviación estándar de los datos en la dimensión de altura de las semillas de higuera del Centro Poblado San Miguel de las Naranjas es de 0.037 puntos, es decir existe un 0.029% de variabilidad de los datos alrededor de su media 1.273. Así mismo, la desviación estándar para el ancho de las semillas nos muestra 0.037 puntos, indicando que existe un 0.046% de variabilidad de los datos alrededor de su media 0.816. Por otra parte, la desviación estándar para el grosor de las semillas tiene 0.035 puntos, existe un 0.053% de variabilidad de sus datos alrededor de su media 0.670, esto quiere decir que las semillas de higuera silvestre recolectadas en el Centro Poblado San Miguel de las Naranjas muestra que sus dimensiones

no se encuentran tan alejados de sus respectivos promedios y que los datos presentan un tamaño uniforme u homogéneo con poca variabilidad en sus dimensionamientos.

Los pesos de veinticinco semillas, presentó un promedio de 0.696 g para colectas de del Centro Poblado San Miguel de las Naranjas. Los resultados obtenidos concuerdan con los resultados reportados por Correa (2014) quien demostró que los pesos de semillas de higuierilla 0.506-0.724 g para semillas autóctonas en Ecuador.

La desviación estándar de los datos sobre el peso de las semillas de higuierilla es de 0.020 puntos, es decir existe un 0.030% de variabilidad de los datos alrededor de su media 0.696, estableciendo que las semillas de higuierilla silvestre recolectadas en el C.P San Miguel de las Naranjas presentan pesos uniformes u homogéneos con poca variabilidad en sus datos.

Los resultados de morfométricos en las dimensiones axiales de las semillas muestra un diámetro medio aritmético de  $0.9020 \pm 0.028$  cm, con una variabilidad de 0.030%, diámetro medio geométrico  $0.7071 \pm 0.017$  cm, con una variabilidad de 0.022%, una área superficial específica  $2.422 \pm 0.054$   $cm^2$ , con una variabilidad de 0.022%, una esfericidad  $0.606 \pm 0.019$   $cm^3$ , con una variabilidad de 0.031% demostrando que no se encuentra tanta diferencia o dispersión entre las dimensiones axiales de las semillas, por otra parte la relación de aspecto es  $64.157 \pm 3.517$ , con una variabilidad de 0.055%, encontrándose una gradiente de dispersión entre los datos de relación de aspecto.

La densidad real de acuerdo a las tres pruebas que se realizaron, se obtuvo una media de 0.90 g/ml, calculándose un 0.0603 puntos de desviación estándar demostrando que los resultados son muy semejantes u homogéneos a la hora de calcular la densidad. Las tres pruebas para determinar la densidad aparente indicaron un promedio de 0.56 g/ml, presentando similitudes en los resultados obtenidos.

Por otro lado, la porosidad resultó afectada por la densidad real y aparente. Encontrándose un promedio de 37.86%, además de una dispersión de 4.4243 puntos entre los tres ensayos realizados y una variación del 0.1168 %.

La operación de secado de la muestra es vital ya que favorece la ruptura de las emulsiones aceite – agua, garantizando que el aceite se disuelva fácilmente en el solvente u alcohol usado.

Al someter las semillas al proceso de secado se observa que las semillas de higuierilla *R. Communis* se obtuvo una humedad de 21.7%, valores obtenidos mediante la condición establecida del secado de 24 horas a 105°C como se muestra en la figura 7, estableciendo además que a las 20 y 24 horas del secado en estufa presentan un peso constante dentro del rango de tiempo establecido para el secado, este valor es superior al reportado por Correa (2014), quien de 100 muestras de semillas de higuierilla obtuvo entre 5.7410-5.7550% de humedad. Es importante tener en cuenta que los porcentajes de humedad reportados en la literatura fueron medidos experimentalmente antes, durante y después del proceso de secado, cuantificando el contenido de humedad de la muestra previa a la extracción, lo que demuestra la importancia de los resultados que se obtienen en este trabajo.

De acuerdo a los resultados de la determinación del porcentaje de aceite obtenido, estos se pueden observar en la tabla 8 y en la figura 8. La determinación del porcentaje de rendimiento de aceite de higuierilla obtenidos de los cálculos del anexo 10 muestra los siguientes resultados: el alcohol isopropanol, presenta mayor porcentaje de rendimiento a partir de 20 gramos de semilla de higuierilla silvestre, obteniendo un promedio de 50.95% equivalente a 40.763 gramos de aceite, mientras que los demás aceites mostraron menores cantidades de porcentaje de rendimiento 48.61% extraído con Etanol equivalente a 38.891 gramos, 43.61% extraído con Metanol equivalente a 34.8865 gramos y 39.06% extraído con Butanol equivalente a 31.25 gramos, en comparación con el solvente convencional n-Hexano que tiene un porcentaje de rendimiento de 52.11% equivalente a 41.688 gramos de aceite. Resultados que se asemejan a los reportados por Correa (2014) quien obtuvo una extracción de aceite de higuierilla de 40.3001-50.5121% de rendimiento empleando el método químico, cabe indicar que se utilizó hexano como solvente orgánico. Asimismo, los resultados emitidos por Ruiz (2012), reportan que obtuvo un 45% de rendimiento en la extracción de aceite de higuierilla empleando el método sólido-líquido mediante solventes acetona y hexano, mientras que Díaz (2015), reportó extracciones de aceite de tres variedades de higuierilla encontradas en el municipio de Tlaltenango, Zacatecas, dichas variedades las denominó “tallos verde con cera fruto cenizo” quien obtuvo un rendimiento promedio de 44.5%, “tallos rojo con cera fruto rojo” obtuvo un rendimiento promedio de 36.7% y “tallos verde con cera fruto cenizo” obteniendo un rendimiento promedio de 51.7%. Estos valores son superiores al reportado por Torres (2007), quien de una muestra de semilla de higuierilla obtuvo un equivalente a un porcentaje de aceite 27.38%, no obstante Delgado (2012), reporta para la variedad negra 50% y 48% para la variedad roja, no especifica el método de extracción. Al comparar los

porcentajes del rendimiento de los datos tabulados con los de la literatura revisada podemos determinar que algunos de ellos son bastantes cercanos. Se debe considerar a los datos consultados como referentes manejan variedades diferentes a las que se han analizado en este estudio, así como características geográficas, bioclimáticas y agronómicas diferentes, además de otros métodos de extracción empleados.

Analizando el valor de desviación estándar el porcentaje de extracción con isopropanol tiende a variar por debajo o por encima de 0.0072 puntos del porcentaje de extracción, mientras que el coeficiente de variación confirma que al tener un valor de 0.0142% los datos tienen una variabilidad mínima en el porcentaje de aceite presente en los 20 gramos de semilla.

Por lo anterior se puede sugerir que el alcohol isopropanol contiene un alto rendimiento en la extracción de aceite, dicho alcohol puede ser considerado como una alternativa de disolvente para la obtención de aceite a partir de cultivos energéticos oleaginosos, comparado con los demás alcoholes propuestos: etanol, metanol y butanol; de tal manera que pueda reemplazar al hexano en la aplicación de procesos de extracción al no encontrar una diferencia significativa en los resultados, además de ser segura social y ambientalmente; a su vez, la planta de higuerilla *R. Communis* podría ser considerada también como una alternativa de cultivo o fuente energética renovable y sostenible para la misma zona donde se realizó la presente investigación y otras zonas donde se requiera aprovechamiento de suelos improductivos, ya que esta especie es de rápido crecimiento, ahorradora de agua y gran resistencia a suelos pobres.

Para la realización del balance de materiales para procesos simples se confeccionó el diagrama de flujo (anexo 9) y se completó la planilla del balance (tabla 8), estableciéndose una base de tiempo de 16 horas, donde se determinó los pasos a seguir en base a su continuidad del proceso, estableciendo que la unidad experimental número 2 presentó superior rendimiento en la extracción con isopropanol. En su etapa de limpieza de 1.5 horas obtuvo una entrada: 56.7915 g, salida: 55.6557 g de frutos de higuerilla, en su etapa de descascarillado de 4 horas obtuvo una entrada: 55.6557 g, salida: 30.0986 g cascara y 25.5571 g de semilla, en su etapa de secado 24 horas obtuvo una entrada: 25.5571 g, salida: 5.5571 g agua y 20.007 g de semilla, en su etapa de trituración de 1 hora obtuvo una entrada: 20.0 g, salida: 20.0, en la etapa de lixiviación obtuvo una entrada de muestra: 20 g de semilla y 200 ml de alcohol, salida: 13.8 g residuo y 163.46 g de miscela, en la etapa de destilación se

obtuvo entradas: miscela 163.46 g, salidas: 153.16 g alcohol empleado, y 10.3 gramos de aceite equivalente al 50.75% de rendimiento.

Para cada experimento los valores del DCA se tomaron como criterio el rendimiento. Según Yepes (2014) el contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas, menciona que para poder hacer un anova se necesita que las varianzas no sean iguales, en la tabla 9 podemos determinar que el p-valor 0.042 es inferior al 0.05% lo cual nos dice que si existen razones para mencionar que existen varianzas rendimientos.

La Tabla 10 muestra la descripción de medias para cada porcentaje del rendimiento de extracción aceite de las semillas de higuierilla, por ejemplo para el tratamiento de hexano es de 52%, 48% para etanol, 43% para metanol, 51% para isopropanol y 39% para butanol, aquí tendríamos el intervalo de confianza para cada una de ellas, podemos ver que entre el tratamiento hexano e isopropanol muestran diferencias significanticas en comparación con etanol, metanol y butanol, en cuanto a la media muy pequeña se puede decir que es el mismo tratamiento 50-53% y 49-52% respectivamente.

La Tabla 11 muestra el Análisis de Varianza para el porcentaje aceite de las semillas de higuierilla (extracción química), establece el principio que ésta característica depende de los alcoholes que se utilizaron, aunque el Análisis de Varianza en el modelo de efectos fijos para el diseño de un factor, indica que al 5 % de significancia, la hipótesis nula es rechazada, es decir que si existen diferencias estadísticas significativas en las extracciones de aceite de higuierilla.

En la Tabla 12, encontramos subconjuntos homogéneos, vemos que existe 4 subconjuntos formados por el tratamiento butanol, metanol, etanol y un subconjunto formado por el tratamiento isopropanol y hexano, demostrando que entre éste último subconjunto no existe diferencia significativa para los dos rendimientos de extracción de aceite en semillas de higuierilla silvestre.

En la tabla 13 encontramos comparaciones múltiples, una forma de determinarlo es mediante DHS de Tukey y podemos ver por ejemplo el tratamiento con hexano y con isopropanol, el valor de P es mayor que 0.05% es decir no existe diferencias significativas, por lo contrario si existen diferencias significativas entre hexano con etanol, metanol y butanol donde el valor de

P es 0.00. Así mismo el tratamiento con etanol muestra valores negativos contra hexano e isopropanol indicando que su rendimiento es menor a dichos alcoholes, además el valor de P es 0.00 menor a 0.05% indicando que si existen diferencias significativas entre tratamientos. Para metanol muestra valores negativos contra hexano, etanol e isopropanol indicando que su rendimiento obtenido es menor a dichos tratamientos, además el valor de P es 0.00 menor a 0.05% indicando que si existen diferencias significativas entre tratamientos. Por otro lado, el isopropanol solo mostro un tratamiento por encima del suyo (hexano), teniendo un valor P de 0.56 mayor que 0.05% indicando que no existe diferencia significativas entre isopropanol con hexano, por lo contrario isopropanol encuentra diferencias significativas frente a etanol, metanol y butanol al encontrándose un valor P de 0.00 menor que 0.05%. Por último el tratamiento butanol muestra valores negativos frente a todos los tratamientos, indicando que fue el tratamiento que obtuvo el menor rendimiento, además indica un valor P de 0.00 para todos los tratamientos señalando que si existen diferencias significativo entre tratamientos.

Los resultados del análisis de eficiencia en la recuperación de alcoholes por soxhlet se pueden observar en la tabla 14 y en la figura 10, la eficiencia de recuperación muestran los siguientes resultados: indican que el hexano obtuvo un mayor porcentaje de recuperación equivalente a 35.04%, de los cuatro alcoholes propuestos el isopropanol presentó mayor cantidad en porcentaje de recuperación obteniendo un valor de 29.33%, seguido del etanol con un 28.7%, tercero el metanol con un 28.1% y finalmente el butanol con un 27.5%. Las desviaciones estándar de hexano, etanol, metanol, isopropanol y butanol fueron de 0.0846, 0.6474, 0.2781, 0.2443 y 0.4613 puntos respectivamente, indicando que la dispersión de cada valor de la variable es mínima respecto a un valor central. Por otra parte, el coeficiente de variación de hexano, etanol, metanol, isopropanol y butanol fueron 0.0024%, 0.0225%, 0.0099%, 0.0083% y 0.0167% respectivamente indicando que las distribuciones de las variables medidas son homogéneas.

La tabla 15 establece que para obtener 43.066 ml de aceite de ricino se usaron 800 ml de hexano de los cuales se recuperan el 35.04% equivalente a 280.32 ml, por lo tanto se consumió 519.68 ml. De igual forma, se obtuvo 40.177 ml de aceite usando 800 ml del alcohol etanol, de los cuales se recuperan 28.7% equivalente a 229.60 ml, por tanto se consumieron 570.40 ml de alcohol. Usando metanol de extrajo 36.04 ml de aceite usando 800 ml del alcohol, de los cuales se recuperan 28.17% equivalente a 225.36 ml, por lo tanto se consumieron 574.64 ml del alcohol. Para obtener 42.11 ml de aceite de higuera se usaron

800 ml del alcohol isopropanol, de los cuales se recuperan el 29.33% equivalente a 234.72 ml, por tanto se consumieron 565.28 ml de alcohol. Por último, para obtener 35.283 ml de aceite de higuerilla se requirió 800 ml del alcohol butanol, de los cuales se recuperan 27.56% equivalente a 220.48 ml, por tanto se consumió 579.52 ml del alcohol. Para estimar el costo de los materiales de producción se calcula la cantidad de alcohol recuperado, para un litro de hexano, etanol, metanol, isopropanol y butanol fueron S/80.00, S/12.00, S/70.00, S/70.00 y S/70.00 respectivamente, teniendo en cuenta la recuperación de los alcoholes es de S/57.57, S/9.24, S/54.22, S/53.56 y S/54.57 soles.

Las propiedades fisicoquímicas son los índices más comunes para evaluar la calidad de los aceites de semilla, no obstante, la caracterización del aceite son necesarios para juzgar la idoneidad de aceite para una aplicación particular (Bwade, Aliyu, y Kwaji, 2013). Las determinaciones de los índices evaluados del aceite extraído por alcohol isopropanol se ilustran en la tabla 16 donde también indica los estándares permitidos para su calidad.

En la tabla 17 puede observarse que el valor promedio obtenido para el índice de peróxido del aceite de higuerilla fue de 0.475 meq O<sub>2</sub>/kg aceite. Cuanto más alto sea el índice de peróxido, más propensa a la ranciedad será la grasa o el aceite. Los resultados obtenidos para este parámetro son confiables ya que su desviación estándar fue de 0.0495 y su coeficiente de variación de 0.1042% por lo que se puede decir que las mediciones presentaron una baja dispersión y que los datos son homogéneos en la distribución de la variable medida y que el método empleado es reproducible. En una investigación realizada por Valderrama J. (2014), se analizaron tres muestras de aceite obtenidas de semillas de tres variedades higuerilla: variedad enana, sanguínea y silvestre, obteniendo resultados 0.6, 0.6 y 0.2 meq respectivamente.

El aceite de higuerilla silvestre presentó un AGL igual a 0.33 y un IA de 0.4899 como muestran los resultados en la tabla 18, este valor obtenido resulta ser inferior a los índices obtenidos en investigaciones previas, como el trabajo realizado por Díaz (2015), quien estableció un resultado de 0.9, así mismo SAGARPA (2011) determino un resultado de 1.8, también Benavides, Benjumea, y Pashova (2007), señala un índice de acidez de 2.1; en ese sentido el índice de acidez es idónea, ya que Martínez, Zamarripa, Solis, y López (2011), han concluido que un valor elevado del índice de acidez en el aceite (>5 mg KOH/g aceite) indica que éste contiene una alta cantidad de ácidos grasos libres, los cuales pueden reaccionar con

algún tipo de catalizador, reduciendo el rendimiento de algún tipo de producto que se desee producir. La desviación estándar de los resultados para este parámetro fue de 0.00, mientras que el coeficiente de variación fue de 0.00% por lo cual se puede concluir que las mediciones presentaron cero dispersión y que los datos son homogéneos en la distribución de la variable medida con lo cual se puede decir que el método empleado es reproducible y los resultados son confiables.

Los resultados del índice de yodo son presentados en la tabla 19, especificando un resultado promedio de 83.21 g  $I_2$ /100 g aceite para el aceite de higuera. Dicho índice está relacionado con el contenido de dobles enlaces e inversamente con el peso molecular del aceite, se ha encontrado que a mayores índices de yodo ( $>120$  g  $I_2$ /100 g aceite) el aceite tiende a descomponerse con relativa facilidad, ya que hace referencia al número de insaturaciones de los ácidos grasos presentes en el aceite, será tanto mayor cuanto mayor sea el número de enlaces dobles por unidad de grasa (Martínez et al., 2011). El valor promedio hallado en esta investigación está dentro de esos rangos (82-120 g  $I_2$ /100 g aceite). Este valor obtenido concuerda con los reportados por Mirasierra (2000), quien obtiene un valor de índice de yodo para aceite de higuera de 83, además SAGARPA (2011) reporta un índice de yodo igual a 78.8, Martínez et al. (2011), reportó un índice de yodo equivalente a 65.9, así también tenemos a Benavides et al. (2007) quien reportó un índice de yodo igual a 84.3. Resultando que el valor encontrado en este estudio demuestra que el índice de yodo para el aceite de higuera obtenido es óptimo, lo cual en largos períodos de almacenamiento, no representa un problema en condiciones herméticas. Este parámetro influye directamente en la calidad del aceite obtenido, puesto que altos valores de índice de yodo en la materia prima de partida, pueden traducirse en una mayor tendencia a la oxidación (menor estabilidad oxidativa), contribuir a la formación de gomas (polimerización) y a la disminución en la lubricidad del mismo. La desviación estándar de los resultados para este parámetro fue de 1.4708, mientras que el coeficiente de variación fue 0.0177% por lo cual se puede concluir que los datos son confiables dado que presentan homogeneidad en la distribución de la variable medida y que el método empleado es reproducible.

El valor promedio encontrado en este estudio para el índice de saponificación del aceite de higuera se encuentra en la tabla 20, resultando 155.545 mg KOH/g de aceite. En comparación con otras investigaciones realizadas como lo reporta Miller S. (2003), nos muestra un valor de 180.3, así mismo Kauffman y Ziejewski (1984), reportan un índice de

195.4, además SAGARPA (2011) obtuvo un índice de saponificación igual a 131.5; Díaz (2015) obtuvo un índice equivalente 171.6 mg KOH/g aceite. El índice de saponificación es la cantidad de base requerida para neutralizar los ácidos grasos libres resultantes de la hidrólisis completa de una muestra, este parámetro es directamente proporcional a la masa molecular media de los ácidos grasos presentes en el aceite (Matissec, Schenepel y Steiner, 1992). Al observar estos valores se puede apreciar que el índice de saponificación del aceite estudiado se encuentra por debajo de tales rangos, lo que conlleva a determinar que en las muestras de aceite obtenidas existen menor cantidad de ácidos grasos libres que pueden reaccionar con el hidróxido de sodio, formando menos jabón disminuyendo el rendimiento en la producción. El índice de Saponificación de la mayoría de aceites tradicionales incluyendo el ricino, es aproximadamente semejante y oscila entre 169-200 mg KOH/g muestra, por lo cual este índice sería poco efectivo a la hora de identificar un aceite en particular (Montoya, 2009). La desviación estándar de los resultados para este parámetro fue de 0.8697 puntos, mientras que el coeficiente de variación fue de 0.0148% por lo cual se puede concluir que las mediciones presentaron una baja dispersión y que los datos son homogéneos en la distribución de la variable medida con lo cual se puede decir que el método empleado es reproducible y los resultados son confiables.

El índice de refracción de las muestras de aceite obtenidas de las semillas de higuierilla silvestre fue haciendo el uso del refractómetro. En la tabla 21 se presenta el índice de refracción determinado a 25°C, en la que el valor promedio obtenido para este parámetro fue de 1.4745. Mirasierra (2000) reportó en su investigación un índice de refracción igual 1.4766 a una temperatura de 20°C, Naughton (1979) reporta un índice de refracción comprendido entre valores 1.473-1.477. En general los índices de refracción de las sustancias grasas oscilan entre 1.460 y 1.500 a una temperatura de 15-20°C. Bajos índices de yodo y refracción indican que el aceite es preponderantemente saturado. Su desviación estándar de 0,00 y un coeficiente de correlación de 0.00, lo que indica que los resultados son confiables y reproducibles. Estos presentan 0 dispersión entre ellos y homogeneidad en la distribución de la variable medida.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones extraídas del presente Trabajo Fin de Grado son:

### 6.1. Conclusiones

1. Se logró el objetivo principal planteado en el presente trabajo ya que los cuatro alcoholes propuestos presentaron extracciones de aceite de higuera *R. Communis* mediante el proceso sólido-líquido (soxhlet) a nivel de laboratorio, para el caso del metanol fue de 43.61%, para el alcohol etanol fue de 48.61%, para isopropanol fue de 50.95% y para butanol fue de 39.06%.
2. La morfología y propiedades gravimétricas de las semillas de higuera recolectadas en el centro poblado San Miguel de las Naranjas en la provincia de Jaén, establece analogías entre semillas y buenas condiciones para el desarrollo óptimo de la planta al no depender la zona donde sean recolectadas las semillas.
3. El porcentaje de humedad si es influenciado por la zona donde creció la higuera al presentar un 21.7% de humedad en semillas de higuera durante la condición establecida del secado de 24 horas a 105C.
4. Al extraer el aceite de higuera los rendimientos de aceite son similares en comparación con otros resultados revisados en la literatura, por lo que se concluye que la adaptación de esta especie a diferentes zonas es alta, logrando desarrollarse a altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m.
5. Se demostró que el alcohol Isopropanol posee un mayor rendimiento de extracción  $50.95 \pm 0.0072\%$  en comparación con los alcoholes etanol  $48.61 \pm 0.0055\%$ , metanol  $43.61 \pm 0.0015\%$  y butanol  $39.06 \pm 0.0024\%$ .

6. De lo anterior, se concluye que el resultado promedio obtenido por isopropanol es reproducible y confiable, debido a que la desviación estándar y el coeficiente de variación determinan que no existe una variabilidad estadística considerable entre las cuatro repeticiones ejecutadas al presentar valores de 49.92%, 51.50%, 51.01% y 51.39% .
7. De los análisis estadísticos se concluye que el isopropanol con 50.95% de rendimiento puede sustituir al disolvente n-hexano que presenta un rendimiento de 52.11%, debido a su aproximación de rendimientos y mejores ventajas ambientales y efectos a la salud en comparación con los hidrocarburos alifáticos como el n-hexano.
8. Respecto a la información brindada del balance de materiales que se realizó en el presente trabajo, se concluye que el método sólido-líquido es un proceso apropiado para la extracción de aceite, ya que el proceso presentó eficiencias en los procesos del método; además, se establece que se demanda recolectar 56.7915 g de frutos de higuera silvestre *R. Communis* y se requiere usar 137.24 ml de alcohol para obtener 10.3 gramos aceite.
9. El proceso de destilación simple fue deficiente no logrando alcanzar una alta eficiencia de recuperación del alcohol, mostrando los siguientes resultados: metanol 28.1%, etanol 28.7%, isopropanol 29.33%, butanol 27.5% y hexano con 35.04%, por otro lado, la recuperación demuestra que permite reutilizar los alcoholes en el proceso de extracción de aceite reduciendo los costos de producción.
10. El aceite de higuera silvestre presentó un bajo contenido de ácidos grasos libres, lo que es una característica favorable ya que una cantidad alta de AGL provoca problemas de formación de gomas y un acelerado grado de deterioro del aceite.
11. El aceite de higuera tuvo un valor bajo en el índice de saponificación (155.545 mg KOH/g aceite) concluyendo que se producirá menos formación de jabones y glicerina.
12. Los valores obtenidos en el análisis fisicoquímico del aceite de higuera silvestre de esta investigación tales como índice de yodo (83.21 g  $I_2$ /100 g aceite), índice de acidez (0.4179 mg KOH/g aceite), índice de refracción (1.4745 a 25° C) e índice de peróxido

(0.475 meq O<sub>2</sub>/g de aceite) reúnen las características para ser consideradas como una opción en la producción de aceite de calidad.

13. En el caso del aceite de ricino el índice de refracción indica que es un ácido graso saturado, lo que concuerda con el índice de yodo hallado, concluyendo que presenta mínimos enlaces dobles en su estructura.
14. Finalmente, podemos concluir que la variedad de higuierilla silvestre encontrada en el centro poblado de San Miguel de las Naranjas en la provincia de Jaén-Cajamarca, reúne las características morfológicas, de rendimiento y cualidades fisicoquímicas básicas, para ser considerada como una opción de energía renovable en la producción de aceite y su conversión a múltiples usos.

## 6.2. Recomendaciones

Ante los resultados obtenidos en esta investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Realizar estudios experimentales de los ácidos grasos contenidos en el aceite de semilla de higuierilla del presente trabajo a través de un método cromatográfico.
2. Controlar cuidadosamente las condiciones de trabajo durante la etapa de extracción en soxhlet, como el tiempo a emplear y la temperatura del proceso, las dos variables mencionadas ejercen una gran influencia sobre el rendimiento en la extracción del aceite.
3. Comparar rendimiento de aceite con otras variedades y elecciones de semilla de higuierilla de nuestro país Perú, y analizar sus características morfológicas, propiedades físicas, químicas y térmicas.
4. Aprovechar la torta de semilla de higuierilla como sub producto para fertilización de suelos.

5. Extraer aceite de higuierilla con equipo soxhlet sin dejar de usar como mínimo 3 burbujas de ebullición en el balón de extracción.
6. Establecer la factibilidad de siembra, de la higuierilla, ya que es una buena opción para cultivar en zonas con características extremas como suelo pobre y sequias, causando un impacto positivo en el campo ambiental, ecológico y económico ya que se puede aprovechar cada una de sus partes.
7. Establecer el mercado al que iría dirigido los productos y subproductos, al establecer a la higuierilla como un cultivo energético productivo, en el Perú.
8. Usar los equipos de protección personal para la caracterización del aceite de higuierilla silvestre en laboratorio.
9. Realizar investigaciones sobre el rendimiento de aceite de higuierilla obtenido en la producción de biodiesel, biolubricantes, biosidas, biopolímeros, etc; de este producto en su desempeño como fuente de energía limpia y renovable.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alain-Claude, R. (2004). *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. zaragoza: Acribia.

AOAC. (2012). *Oficial Methods of Analysis, of the Association of Oficial Analytical Chemists* (Vol. 19 Th). (D. G. J, Ed.)

Aviara, N. A., y Haque, M. A. (2000). Moisture dependence of density, coefficient of friction and angle of repose of guna seed and Kernel. *J Eng Application 2*, 44-53.

Baily, A. (1961). *Aceites y grasas industriales*. Barcelona: Reverté.

Benavides, A., Benjumea, P., y Pashova, V. (2007). *El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel*. Medellín, Colombia.

Bwade, K. E., Aliyu, B., y Kwaji, A. M. (2013). Physicochemical properties of pumpkin seed oil relevant to biodiesel production and other industrial applications. *Business and Enterprise Applications*, 4(1), 72-78.

Correa, M. (2014). *Análisis comparativo de características físicas y fitoquímicas del aceite de ricino generado en semillas de ecotipos autóctonos de higuera (ricinus communis), en tungurahua y manabí*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Delgado, F. (2012). *Desarrollo del cultivo agronómico de higuera (ricinus communis L.), para la obtención de biocombustibles*. Universidad Católica de Chile, Proyecto de Valorización de la Investigación en la Universidad, Santiago.

- Díaz, R. (2015). *Caracterización del biodiesel obtenido a partir del aceite de semillas de higuierilla silvestre (ricinus communis L.) en el municipio de Tlaltenango, zacatecas*. Instituto Politécnico Profesional.
- Fernández, R., Trapero, A., y Domínguez, j. (2010). *Experimentación en Agricultura*. Sevilla: España: Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Edgar, Ruiz. (2012). *Extracción y calidad de aceite de la semilla de higuierilla (ricinus Communis L.) para la producción de biodiesel*. Universidad autónoma Antonio narro, Torreón México
- García, J. M. (2006). *Biocarburantes líquidos: Biodiésel y Bioetanol*. Universidad de Alcalá, Madrid, España.
- Georgogianni, M. (2007). Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology*, 52(1), 487-496.
- Gupta, R. K., y Das, S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66(1), 1-8.
- Hill, J. W., y Kolb, D. K. (1999). *Química para el nuevo milenio*. Obtenido de Mexico: Prentice Hall: <http://www.contextoganadero.com/regiones/higuierilla-alternativa-de-rentabilidad-para-los-productores-del-pais>
- Kauffman, K. R., y Ziejewski, M. (1984). Sunflower methyl esters for direct injected diesel engines. *Transactions of the ASAE*, 1626-1633.
- Maduako, J. N., y Faborode, M. O. (1990). Some physical properties of cocoa pods in relation to primary processing. *Ife J Technol*, 2(1), 1-7.
- Martínez, B., Zamarripa, A., Solis, J., y López, L. (2011). *Calidad fisicoquímica de insumos bioenergéticos para la producción de biodiesel en Mexico*. Folleto Técnico Num 24, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa, Chiapas, Mexico.

- Matissec, R., Schenepel, F., y Steiner, G. (1992). *Análisis de los alimentos: Grasas y sustancias acompañantes*. (G. y. Co, Ed.) Berlin, Alemania: Editorial Springer-Verlag.
- McCabe, Smith, J. c., y Harriot, p. (1986). *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill.
- Miller, S. (2003). *Guía práctica para hacer jabón*, editorial Paidotribo, 1ra edición, 15 p.
- Mirasierra, G. (2000). *Resultados Analíticos del aceite de ricino producido en la Mancha*. Instituto Provincial de Sanidad, Laboratorio de la selección de análisis.
- Montoya, J. (2009). *Modelamiento y simulación de la cinetica de transesterificacion del aceite de ricino con alcohol etílico, catalizada con NaOH*. Universidad de Colombia sede Medellín, Facultad de minas, Medellín, Colombia.
- Muñoz, D. (2007). *Caracterizacion y diferenciacion de Ricinus Communis procedente de tres zonas del eje cafetero*. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Ingenieria Quimica, Pereira, Colombia.
- Naughton, F. C. (1979). In Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. *wiley-Interscience*, 5(3), 1-15.
- Olajide, J. D., y Ade-Omowaye, B. I. (1999). Some physical properties of locust bean seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(2), 213-215.
- Ordoñez, M. R., Gely, M. C., y Pagano, A. M. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la Cinética del secado de Granos de Maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-172.
- Ospina, B. (1996). *Elementos de estadística descriptiva*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Básicas, Pereira, Colombia.

- Pita, R., Anadón, A., y Martínez, L. (2004). *Ricina: Una fitotoxina de uso potencial como arma* (Vol. 21). Asociación Española de Toxicología.
- Sánchez, I., y Huertas, K. (2012). *Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de semillas de higuera (ricinus communis) modificadas genéticamente y cultivadas en el eje cafetero*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. (2011). *Calidad agroindustrial del aceite de Higuera (ricinus Communis L.) para la producción de Bioenergéticos*. Mexico DF. Obtenido de <http://bioenergéticos.gob.mx/index.php/prensa/noticia-actual/99-calidad-agroindustrial-del-aceite-de-higuera-ricinus-communis-para-la-produccion-de-bioenergéticos.html>
- Singh, K., y Goswami, T. (1996). Physical Properties of Cumin Seed. *Journal Agricultural Engineering Research*, 64, 93-98.
- Soares, L., y De Souza, T. (2009). *Curso sobre el cultivo de higuera*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
- Torres, M. (2007). *Producción y uso de bioplastificantes a partir de semillas de higuera y piñoncillo, como paralelo al del biodiesel producido en estas*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Valderrama, J. (2014). *Industrialización de la higuera o planta de ricino parte II: extracción de aceite*. Universidad de la Serena.
- Vilche, Gely, y Santalla. (2003). Estudio de las propiedades físicas de Granos de Maíz colorado. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-172.
- Yepes, V. (2014). *Diseño de experimentos completamente al azar con SPSS*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme vida, salud y fuerzas para concluir con éxito esta etapa de mi vida, así como por todas las experiencias que me pusiste en mi camino durante la misma.

A Marthina Ramírez, mi MADRE, a Carloman Villegas, mi PADRE, así como a mis HERMANOS Jacky, Juan y Jhony, por su apoyo incondicional, comprensión durante mi carrera, por sus consejos y vivencias.

A mi ASESOR, Ing. M. Sc. Jorge Delgado Soto, por haber creído en mí, por su disposición y asesoramiento para dirigir el presente trabajo de tesis.

Al LABORATORIO OIKOSLAB SAC por brindar sus instalaciones para la ejecución de la presente investigación.

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo con todo mi amor y admiración a:

Mis PADRES por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación, académica y en la vida misma, por siempre escucharme y brindarme cada día sus consejos, apoyo, motivación y comprensión.

Mis ABUELOS Aurora, Juan, Josefa y Manuel, por la enseñanza, el ejemplo y el amor incondicional.

A TODAS LAS PERSONAS que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

*“Hay una diferencia entre el progreso y tecnología, el progreso beneficia la humanidad, y la tecnología no hace necesariamente eso, si tienes tecnología que contamina el planeta, eso no es progreso”*

Nikola Tesla (1856-1943)  
Científico Serbocroata

## ANEXOS

Anexo N°1. Certificación de la especie (*R. Communis*), a utilizar en la investigación por un especialista en Dendrología.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Sede Jaén



LABORATORIO DE DENDROLOGÍA

El que suscribe, responsable del Laboratorio de Dendrología de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, deja:

### CONSTANCIA

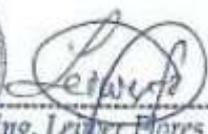
Que, el Sr. **Jham Carlos Villegas Ramírez**, solicitó la identificación de una muestra botánica a esta dependencia; la especie fue identificada como *Ricinus communis* L., conocida en la zona como "higuerilla"; la especie se clasificó según el Sistema de Clasificación de Cronquist.

División	Clase	Subclase	Orden	Familia	Género
Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosidae	Euphorbiales	Euphorbiaceae	Ricinus

Se expide la presente a solicitud de la interesada para los fines que estime por conveniente.

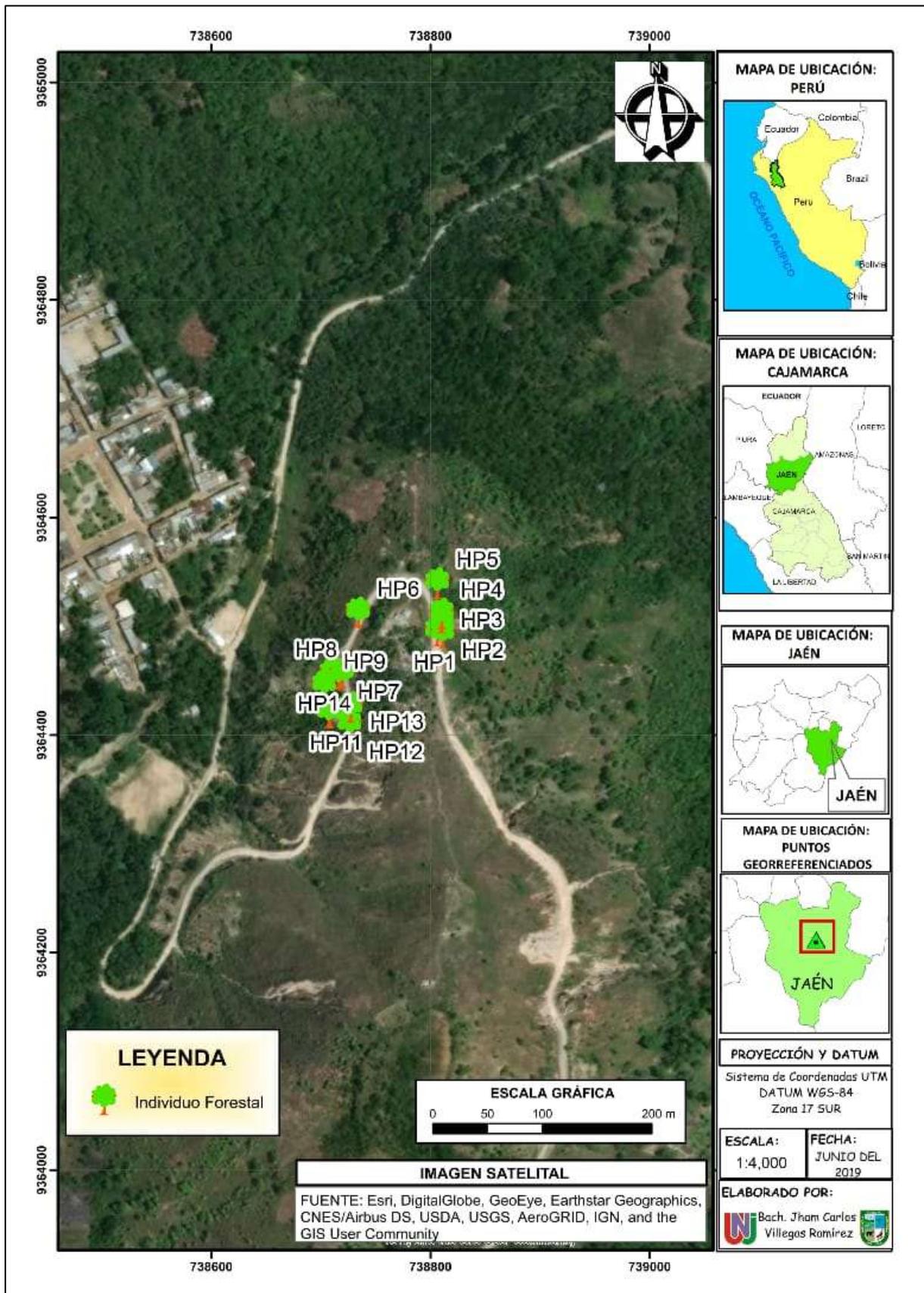
Jaén, 06 de junio de 2018.



  
Ing. **Leider Flores Flores**  
ESPECIALISTA EN DENDROLOGÍA

C.c.  
Constancia N° 01-2018

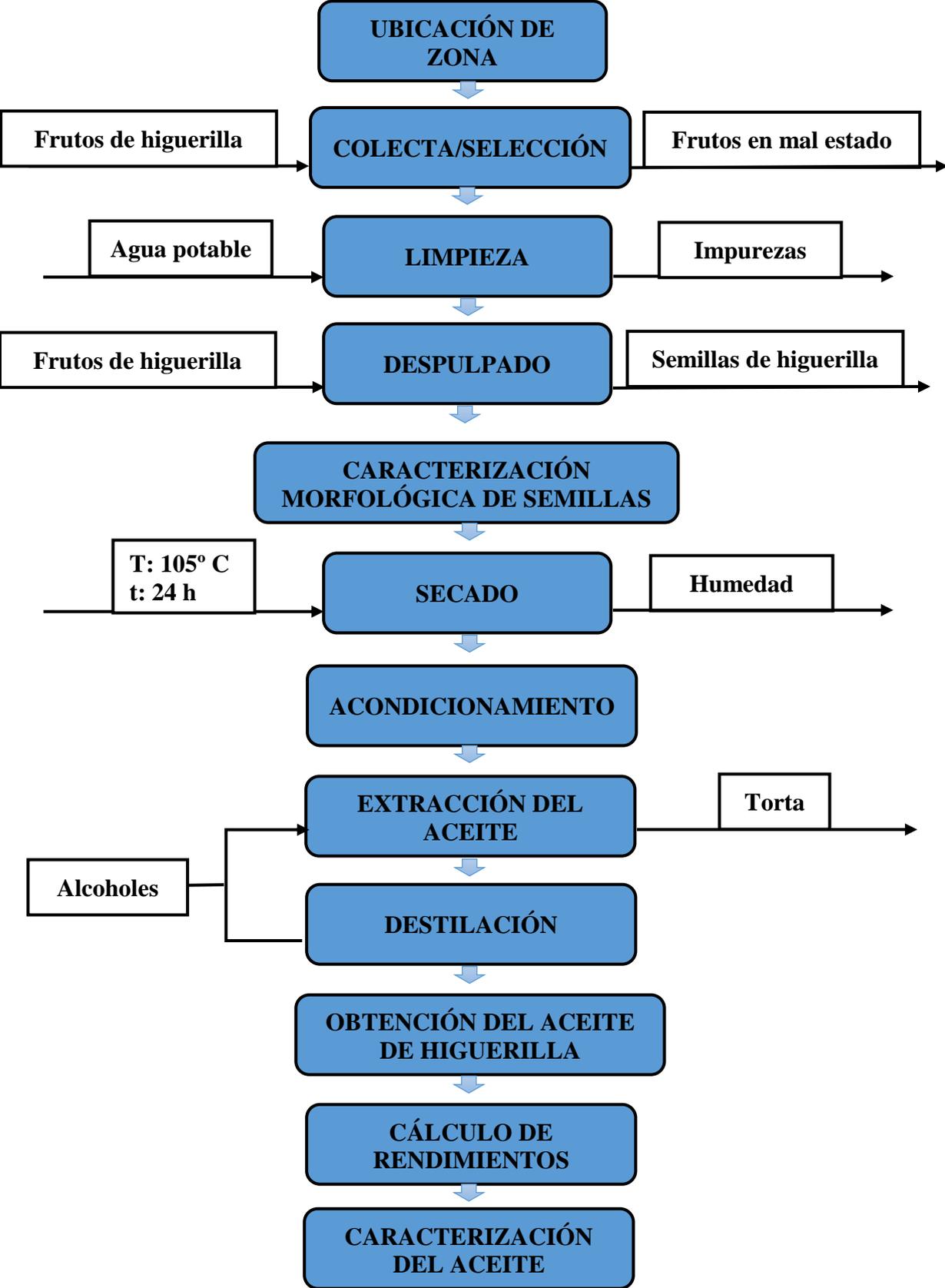
Anexo N°2. Ubicación de las semillas de higuera silvestre obtenidas en terrenos baldíos.



Anexo N°3. Inventario de plantas encontradas de higuera silvestre del centro poblado San Miguel de Las Naranjas, Jaén – Cajamarca.

Nº	Código	Fecha	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Sector/ccpp	Genero/Especie	Nombre Común	Altura Total (m)	Diámetro (cm)
			Este	Norte						
1	HP1	30/11/2018	738806	9364495	1337	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.10	8
2	HP2	30/11/2018	738811	9364493	1337	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	1.95	7.43
3	HP3	30/11/2018	738810	9364507	1338	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	1.90	7.24
4	HP4	30/11/2018	738810	9364511	1336	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.07	7.89
5	HP5	30/11/2018	738806	9364539	1335	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.10	7.9
6	HP6	30/11/2018	738734	9364512	1331	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	1.89	7.2
7	HP7	30/11/2018	738716	9364455	1327	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.13	8.11
8	HP8	01/12/2018	738710	9364456	1327	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.07	7.88
9	HP9	01/12/2018	738703	9364445	1320	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.04	7.78
10	HP10	01/12/2018	738707	9364420	1311	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	1.94	7.4
11	HP11	01/12/2018	738708	9364421	1311	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	1.98	7.54
12	HP12	01/12/2018	738726	9364409	1320	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.11	35.44
13	HP13	01/12/2018	738727	9364425	1321	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.08	7.92
14	HP14	01/12/2018	738719	9364457	1322	Las Naranjas	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	2.10	8

Anexo N°4. Diagrama de flujo del procedimiento experimental.



Anexo N°5. Dimensiones axiales y peso de las semillas de higuera.

N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Peso (g)	Diámetro medio aritmético (cm)	Diámetro medio geométrico (cm)	Área superficial específica (cm <sup>2</sup> )	Esfericidad (cm <sup>3</sup> )	Relación de aspecto (%)
1	1.300	0.850	0.700	0.7124	0.9500	0.7716	2.4241	0.5935	65.3846
2	1.200	0.800	0.600	0.6594	0.8667	0.7646	2.4021	0.6372	66.6667
3	1.250	0.775	0.650	0.6880	0.8917	0.7683	2.4137	0.6146	62.0000
4	1.300	0.850	0.700	0.7121	0.9500	0.7608	2.3901	0.5852	65.3846
5	1.250	0.775	0.650	0.6879	0.8917	0.7921	2.4885	0.6337	62.0000
6	1.300	0.850	0.700	0.7130	0.9500	0.7759	2.4376	0.5968	65.3846
7	1.300	0.850	0.700	0.7128	0.9500	0.7556	2.3738	0.5812	65.3846
8	1.250	0.775	0.650	0.6880	0.8917	0.8032	2.5233	0.6426	62.0000
9	1.257	0.775	0.650	0.6875	0.8940	0.7537	2.3678	0.5996	61.6547
10	1.300	0.850	0.700	0.7129	0.9500	0.7539	2.3685	0.5799	65.3846
11	1.200	0.800	0.600	0.6591	0.8667	0.7512	2.3600	0.6260	66.6667
12	1.300	0.850	0.700	0.7132	0.9500	0.7782	2.4448	0.5986	65.3846
13	1.258	0.775	0.650	0.6883	0.8943	0.7559	2.3747	0.6009	61.6057
14	1.300	0.850	0.700	0.7123	0.9500	0.7619	2.3936	0.5861	65.3846
15	1.289	0.775	0.650	0.6876	0.9047	0.7930	2.4913	0.6152	60.1241
16	1.300	0.850	0.700	0.7127	0.9500	0.7673	2.4105	0.5902	65.3846
17	1.200	0.750	0.650	0.6594	0.8667	0.7796	2.4492	0.6497	62.5000
18	1.300	0.850	0.700	0.7123	0.9500	0.7760	2.4379	0.5969	65.3846
19	1.291	0.775	0.650	0.6880	0.9053	0.7518	2.3619	0.5823	60.0310
20	1.300	0.850	0.700	0.7131	0.9500	0.7501	2.3565	0.5770	65.3846
21	1.300	0.850	0.700	0.7132	0.9500	0.8007	2.5155	0.6159	65.3846
22	1.200	0.800	0.600	0.6594	0.8667	0.7782	2.4448	0.6485	66.6667
23	1.300	0.850	0.700	0.7132	0.9500	0.8045	2.5274	0.6188	65.3846
24	1.300	0.850	0.700	0.7123	0.9500	0.7514	2.3606	0.5780	65.3846
25	1.279	0.775	0.650	0.6887	0.9013	0.7769	2.4407	0.6074	60.5942
Pr	1.273	0.816	0.670	0.696	0.920	0.771	2.422	0.606	64.100

Anexo N°6. Determinación de propiedades gravimétricas y porosidad de semillas de higuera.

Densidad Real					
Repetición	Masa (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)		
1	10	10.5	0.95	Mínimo	0.8300
2	10	12	0.83	Máxima	0.9500
3	10	11	0.91	Mediana	0.9091
TOTAL	30	Promedio	0.90	Varianza	0.0036
		Desviación	0.0603	Coefficiente de variación	0.0671

Densidad Aparente					
Repetición	Masa (g)	Volumen (ml)	Densidad g/ml		
1	10.8938	20	0.54	Mínimo	0.5400
2	11.3216	20	0.57	Máxima	0.5700
3	11.1432	20	0.56	Mediana	0.5572
TOTAL	33.3586	Promedio	0.56	Varianza	0.0001
		Desviación	0.0107	Coefficiente de variación	0.0193

Porosidad			
Repetición	Porosidad (%)		
1	42.81	Mínimo	32.0700
2	32.07	Máxima	42.8100
3	38.71	Mediana	38.7124
Promedio	37.86	Varianza	29.3621
Desviación	4.4243	Coefficiente de variación	0.1168

Anexo N°7. Determinación de % humedad en semilla.

Donde:

$P_1$  = peso de capsula

$P_2$  = peso de capsula + peso de muestra

$P_3$  = Peso de muestra

$P_4$  = peso de capsula + peso de muestra después del secado

$P_5$  = peso seco de la muestra

$$P_3 = P_2 - P_1 \dots \dots \dots (A1)$$

$$P_5 = P_4 - P_1 \dots \dots \dots (A2)$$

$$P_3 = 41.4911 - 15.934$$

$$P_5 = 35.941 - 15.934$$

$$P_3 = 25.5571$$

$$P_5 = 20.007$$

Para calcular el % humedad se utiliza la siguiente formula sustituyendo P3 y P5 en la ecuación (A3):

$$\%humedad = 100 - \left(\frac{P_5}{P_3} * 100\right) \dots \dots \dots (A3)$$

$$\%humedad = 100 - \left(\frac{20.007}{25.5575} * 100\right)$$

$$\%humedad = 21.716$$

Semilla de Higuierilla	Tiempo (h)	Peso (g)	Humedad (%)
	0	25.5571	0.00
	4	25.0462	1.999
	8	24.2678	5.045
	12	23.4531	8.233
	16	21.5465	15.693
	20	20.007	21.716
	24	20.007	21.716

Anexo N°8. Metodología desarrollada en las extracciones sólido-líquido.

Prueba	Solvente	Ensayo	Acondicionamiento								n° ciclos	Peso inerte (g)			Destilación			Extracción				
			Vs (ml)	Ds (g/ml)	Ps (g)	pes (°C)	Pso (g)	Pb (g)	Pp (g)	Pbe (g)		Pc (g)	Pi (g)	o (g)	t (g)	Psr (g)	Vsr (ml)	w (g)	Da (g/ml)	Pae (g)	Vae (ml)	
1	hexano	1							93.552	3.034	0.834	19	15.566	12.532	236.8912	150.125	86.7662	132.508	104.664	0.96	10.278	10.706
2		2	200	0.6548	130.96	69	20	93.304	3.215	0.834	19	15.357	12.142	235.7852	149.892	85.8932	131.175	104.458	0.96	10.32	10.750	
3		3						93.537	3.318	0.834	19	16.533	13.215	236.8838	149.563	87.3208	133.355	104.971	0.96	10.6	11.042	
4		4						93.475	3.172	0.834	19	15.934	12.762	236.7893	150.213	86.5763	132.218	104.799	0.96	10.49	10.927	
5	etanol	1						93.536	3.304	0.834	5	16.499	14.749	245.6537	150.464	95.1897	120.646	104.041	0.96	9.671	10.074	
6		2	200	0.789	157.8	78	20	93.631	3.008	0.834	5	16.005	12.997	245.2352	150.642	94.5932	119.890	104.065	0.96	9.6	10.000	
7		3						93.652	3.454	0.834	5	14.952	11.498	247.9535	152.16	95.7935	121.411	104.336	0.96	9.85	10.260	
8		4						93.656	3.293	0.834	5	15.524	12.231	245.4944	150.124	95.3704	120.875	104.260	0.96	9.77	10.177	
9	metanol	1						93.553	3.491	0.834	5	16.675	13.184	245.8521	149.876	95.9761	121.213	103.092	0.96	8.705	9.068	
10		2	200	0.7918	158.36	67	20	93.574	3.341	0.834	5	16.024	12.683	249.5179	153.145	96.3729	121.714	103.098	0.96	8.69	9.052	
11		3						93.747	3.453	0.834	5	16.307	12.854	247.8517	151.423	96.4287	121.784	103.319	0.96	8.738	9.102	
12		4						93.642	3.281	0.834	5	16.503	13.222	246.8991	150.132	96.7671	122.212	103.230	0.96	8.7535	9.118	
13	isopropanol	1						93.523	2.954	0.834	5	16.334	13.38	247.0568	151.425	95.6318	121.623	104.341	0.96	9.984	10.400	
14		2	200	0.7863	157.26	82	20	93.323	3.472	0.834	5	17.272	13.80	247.6794	151.786	95.8934	121.955	104.457	0.96	10.3	10.729	
15		3						93.502	3.052	0.834	5	16.722	13.67	243.4688	147.897	95.5718	121.546	104.537	0.96	10.201	10.626	
16		4						93.549	3.723	0.834	5	17.493	13.77	246.2622	150.564	95.6982	121.707	104.661	0.96	10.278	10.706	
17	butanol	1						93.524	3.006	0.834	3	16.938	13.932	252.1068	153.667	98.4398	121.561	102.179	0.96	7.821	8.147	
18		2	200	0.8098	161.96	119	20	93.806	3.037	0.834	3	17.282	14.245	252.3513	152.324	100.027	123.521	102.487	0.96	7.847	8.174	
19		3						92.957	3.213	0.834	3	17.365	14.152	250.414	150.324	100.09	123.598	101.630	0.96	7.839	8.166	
20		4						93.572	3.177	0.834	3	16.945	13.768	251.491	151.783	99.708	123.127	102.149	0.96	7.743	8.066	

Nota: Volumen del solvente (Vs), Densidad del solvente (Ds), peso solvente (Ps), punto ebullición del solvente (pes), Peso del soluto (Pso), Peso del balón (Pb), Peso del papel (Pp), peso burbujas de ebullición (Pbe), numero de ciclos (n°), peso de capsula (Pc), peso del inerte (Pi), Peso del recipiente sin tapa (t), peso total (t+solvente) (o), volumen del solvente recuperado (Vsr), peso del solvente recuperado (Psr), Peso total (balón +burbujas de ebullición +aceite) (w), Densidad del aceite (Da), Volumen del aceite extraído (Vae), Peso del aceite extraído (Pae).



A partir de lo expresado con anterioridad implica que para el flujo másico del fruto de la semilla tenemos:

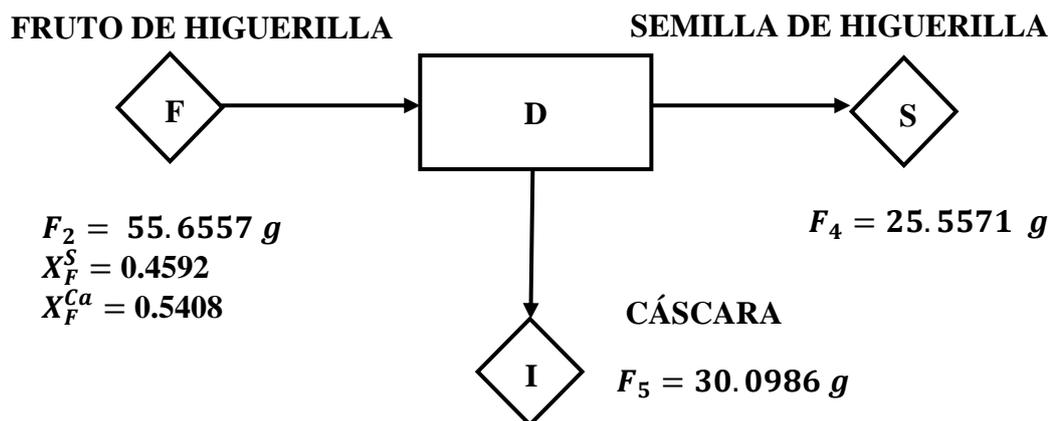
$$\begin{aligned}
 X_F^{Im} + X_F^{Fr} &= 1 \\
 X_F^{Fr} &= 1 - 0.02 \\
 X_F^{Fr} &= 0.98 \quad \dots\dots\dots (B2)
 \end{aligned}$$

Por lo tanto haciendo un balance global en esta parte del proceso obtenemos  $F_2$ :

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_2 + F_3 \\
 56.7915 &= F_2 + 1.1358 \\
 F_2 &= 55.6557 \text{ g} \quad \dots\dots\dots (B3)
 \end{aligned}$$

### 9.2. Balance de materia de descascarillado

El descascarillado de la semilla se lleva a cabo para liberar la semilla de las cáscaras del fruto de higuera que la compone. De la experimentación se obtuvo 30.0986 gramos de cáscaras.



Donde:

$F_2$  = Fruto de higuera limpia.

$F_4$  = Semilla de higuera.

$F_5$  = Cáscara.

$X_F^S$  = Fracción másica de la semilla de higuera.

$X_F^{Ca}$  = Fracción másica de la cáscara del fruto.

Eso implica que para el flujo másico de las cáscaras en el fruto  $X_F^{Ca}$  resulta

$$X_F^{Ca} = F_{Ca}/F_2$$

$$X_F^{Ca} = 30.0986/55.6557$$

$$X_F^{Ca} = 0.5408 \text{ g} \quad \dots\dots\dots (B4)$$

A partir de lo expresado con anterioridad implica que para el flujo másico de la semilla de higuera tenemos:

$$X_F^{Ca} + X_F^S = 1$$

$$X_F^S = 1 - 0.5408$$

$$X_F^S = 0.4592 \quad \dots\dots\dots (B5)$$

A partir de lo mencionado con anterioridad  $F_5$  resulta de:

$$F_2 (X_F^{Ca}) = F_5$$

$$55.6557 (0.5408) = F_5$$

$$F_5 = 30.0986 \quad \dots\dots\dots (B6)$$

Por lo tanto haciendo un balance global en esta parte del proceso obtenemos  $F_5$ :

$$F_2 = F_4 + F_5 \quad \dots\dots\dots (B7)$$

Despejando  $F_4$  de la Ecuación B7 y sustituyendo  $F_5$  de la Ecuación B6 obtenemos:

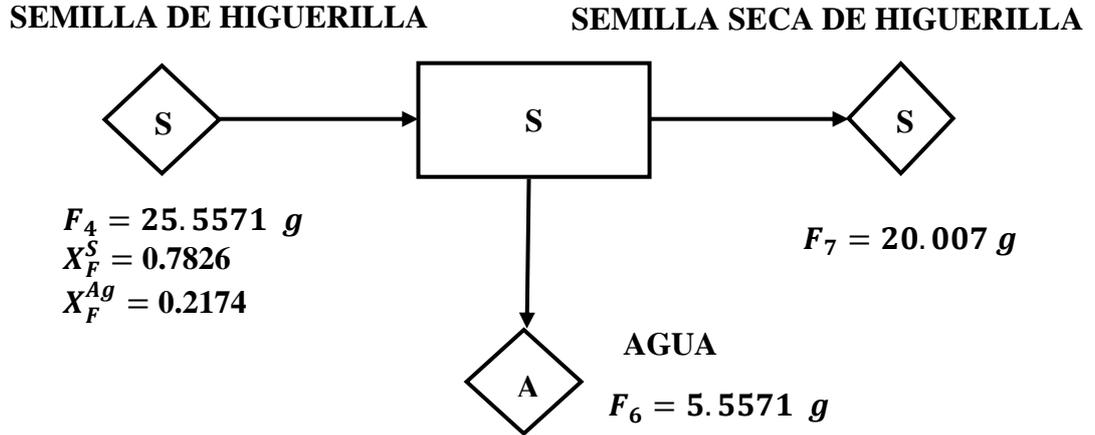
$$F_4 = F_2 - F_5$$

$$F_4 = 55.6557 - 30.0986$$

$$F_4 = 25.5571$$

9.3. Balance de materia de secado

El secado de las semillas despulpadas se sometió a un secado en estufa de flujo convectivo a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 24 horas. Del secado se obtuvo 20 gramos de semilla de higuera.



Donde:

$F_4$  = Semilla de higuera.

$F_6$  = Agua contenida en la semilla.

$F_7$  = Semilla de higuera limpia después del secado.

$X_F^S$  = Fracción másica de la semilla de higuera.

$X_F^{Ag}$  = Fracción másica del agua.

A partir de lo mencionado con anterioridad  $F_6$  resulta de un balance global:

$$F_4 = F_6 + F_7 \quad \dots\dots\dots (B8)$$

$$25.5571 = F_6 + 20$$

$$F_6 = 5.5571$$

De forma análoga de  $F_4$  es posible obtener los flujos másico para la semilla, por lo tanto:

$$F_4 (X_F^S) = F_7$$

$$25.5571 (X_F^S) = 20$$

$$X_F^S = 0.7826 \quad \dots\dots\dots (B9)$$

Eso implica que para el flujo másico del agua tenemos:

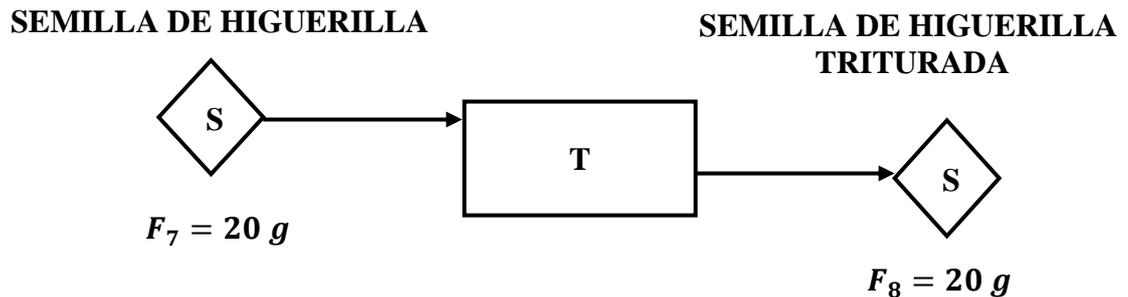
$$X_F^{Aa} + X_F^S = 1$$

$$X_F^{Aa} = 1 - 0.7826$$

$$X_F^{Aa} = 0.2174 \quad \dots\dots\dots (B10)$$

#### 9.4. Balance de materia de trituración

En este proceso se llevará a cabo la trituración de la semilla hasta llegar al tamaño de partícula deseada, cabe notar que en ésta parte del proceso no se consideran pérdidas, porque la formación de polvo es una cantidad muy pequeña.



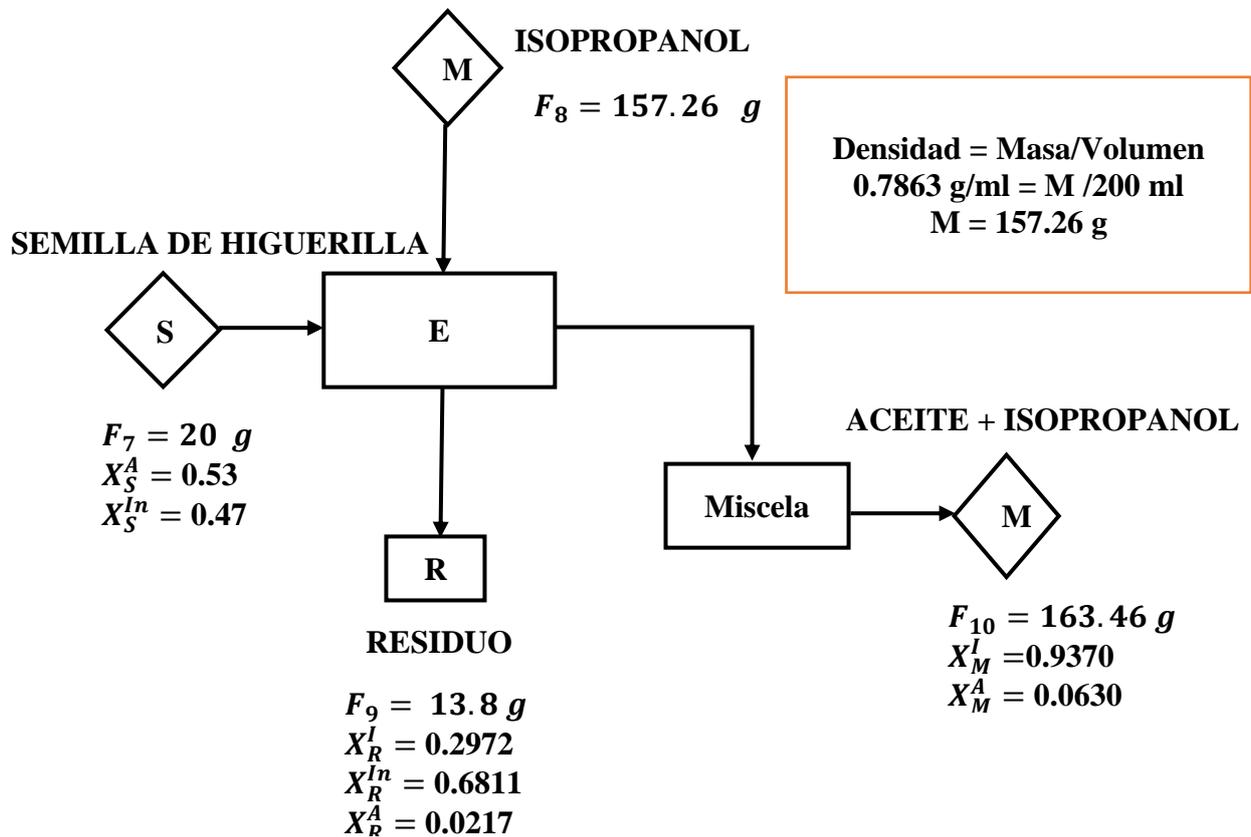
De acuerdo al balance general:

$$F_7 = F_8 \quad \dots\dots\dots (B11)$$

Donde:  $F_7$  = Semilla de higuera  
 $F_8$  = Semilla de higuera triturada

#### 9.5. Balance de materia del proceso de extracción

La extracción se realizó a una temperatura de 82 °C (temperatura de ebullición del isopropanol) por un tiempo de 5 horas.



Donde:

$F_7$  = Semilla de higuera

$F_8$  = Isopropanol

$F_9$  = Residuo

$F_{10}$  = Miscela (aceite + Isopropanol)

$X_S^A$  = Fracción másica del aceite en semilla.

$X_S^{In}$  = Fracción másica del inerte en semilla.

$X_R^I$  = Fracción másica del isopropanol en el residuo.

$X_R^{In}$  = Fracción másica del inerte en el residuo.

$X_R^A$  = Fracción másica del aceite en el residuo.

$X_M^I$  = Fracción másica del isopropanol en la miscela.

$X_M^A$  = Fracción másica del aceite en la miscela.

Las fracciones obtenidas experimentalmente son: del residuo, el inerte del residuo y del aceite extraído:

Peso del residuo: 13.80 g.

Peso del inerte en el residuo: 9.3991 g. (se obtuvo después de secar en estufa el residuo)

Peso del aceite en el residuo: 0.3 g.

Eso implica que para el flujo másico del inerte en el residuo:

$$\begin{aligned} X_R^{In} &= F_{ca} / F_9 \\ X_R^{In} &= 9.3991 / 13.80 \\ X_R^{In} &= 0.6811 \quad \dots\dots\dots (B12) \end{aligned}$$

Además del flujo másico del aceite en el residuo:

$$\begin{aligned} X_R^A &= F_{ca} / F_{10} \\ X_R^A &= 0.3 / 13.80 \\ X_R^A &= 0.0217 \quad \dots\dots\dots (B13) \end{aligned}$$

Eso implica que para el flujo másico del residuo tenemos:

$$\begin{aligned} X_R^{In} + X_R^A + X_R^I &= 1 \\ X_R^I &= 1 - (0.6811+0.0217) \\ X_R^I &= 0.2972 \quad \dots\dots\dots (B14) \end{aligned}$$

A partir de lo expresado con anterioridad implica que para el flujo másico del inerte de la semilla tenemos:

$$\begin{aligned} F_7 (X_S^{In}) &= F_9 (X_R^{In}) \\ 20 (X_S^{In}) &= 13.80 (0.6811) \\ X_S^{In} &= 0.47 \quad \dots\dots\dots (B15) \end{aligned}$$

Eso implica que para el flujo másico de la semilla será:

$$X_S^A + X_S^{In} = 1$$

$$X_S^A = 1 - 0.47$$

$$X_S^A = 0.53 \quad \dots\dots\dots (B16)$$

Balance General:

$$F_7 + F_8 = F_9 + F_{10} \quad \dots\dots\dots (B17)$$

$$20 + 157.26 = 13.80 + F_{10}$$

$$F_{10} = 163.46 \text{ g}$$

Balance del componente aceite:

$$F_7 (X_S^A) = F_9 (X_R^A) + F_{10} (X_M^A) \quad \dots\dots\dots (B18)$$

$$20 (0.53) = 13.8 (0.0217) + 163.46(X_M^A)$$

$$X_M^A = 0.0630 \text{ g}$$

Eso implica que para el flujo másico de la miscela será:

$$X_M^I + X_M^A = 1 \quad \dots\dots\dots (B19)$$

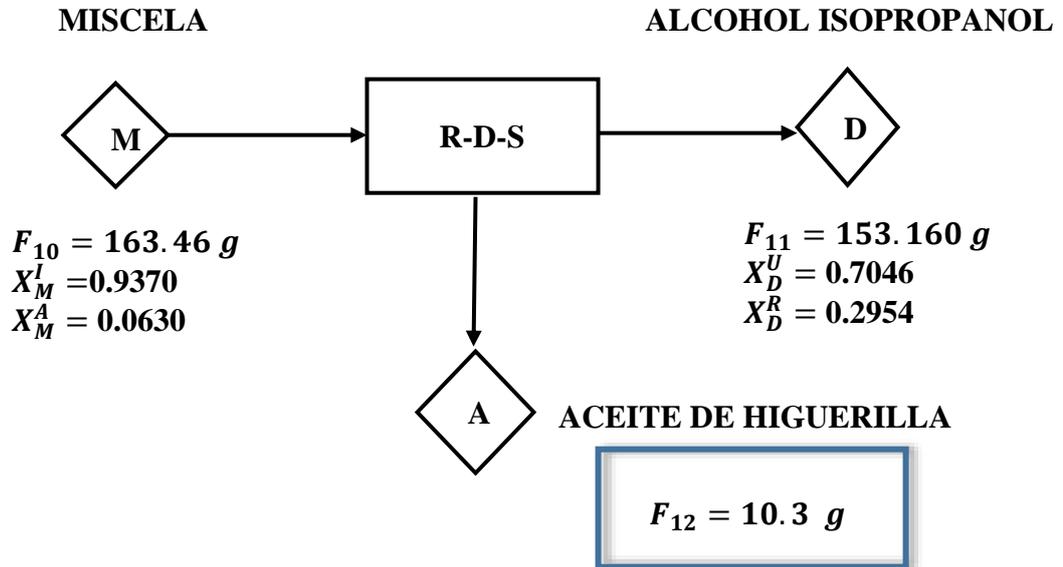
Despejando  $X_M^I$  de la Ecuación (B17) y sustituyendo el valor de  $X_M^A$ , obtenemos:

$$X_M^I = 1 - 0.0630$$

$$X_M^I = 0.9370$$

9.6. Balance de materia de recuperación del alcohol por destilación simple

Después de la lixiviación, la micela obtenida pasa por un proceso de destilación simple para separar el isopropanol del aceite.



Donde:

$F_{10}$  = Miscela (Aceite + Isopropanol).

$F_{11}$  = Alcohol isopropanol.

$F_{12}$  = Aceite crudo de higuera.

$X_M^I$  = Fracción másica del isopropanol en la mezcla.

$X_M^A$  = Fracción másica del aceite en la mezcla.

$X_D^U$  = Fracción másica del isopropanol usado.

$X_D^R$  = Fracción másica del isopropanol recuperado.

Las fracciones obtenidas experimentalmente son:

Aceite extraído: 10.3 gramos.

Alcohol recuperado: 45.2534 gramos.

Del Balance General obtenemos:

$$F_{10} = F_{11} + F_{12} \quad \dots\dots\dots (B20)$$

$$163.46 = F_{11} + 10.3$$

$$F_{11} = 153.160 \text{ g}$$

Eso implica que para el flujo másico del alcohol recuperado es:

$$X_D^R = F_{ca} / F_{11}$$

$$X_D^R = 45.2534 / 153.160$$

$$X_D^R = 0.2954 \quad \dots\dots\dots (B21)$$

Eso implica que para el flujo másico del alcohol usado tenemos:

$$X_D^R + X_D^U = 1$$

$$X_S^U = 1 - 0.2954$$

$$X_S^U = 0.7046 \quad \dots\dots\dots (B22)$$

Balace de Masa del Isopropanol utilizado:

$$U = F_8 - X_D^R$$

$$U = 157.26 - 45.2534$$

$$U = 112.0066 \text{ g} = 142.447 \text{ ml} \quad \dots\dots\dots (B23).$$

Anexo N° 10. Metodología de determinación de rendimientos de las extracciones de aceite.

10.1. Cálculo del rendimiento de extracción para el alcohol Isopropanol:

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = \frac{aceite\ obtenido}{muestra\ con\ aceite} X100$$

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = \frac{10.3}{20} X100$$

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = 51.5 \%$$

10.2. Cálculo del rendimiento de extracción para el alcohol metanol:

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = \frac{8.7535}{20} X100$$

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = 43.7 \%$$

10.3. Cálculo del rendimiento de extracción para el alcohol etanol:

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = \frac{9.671}{20} X100$$

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = 48.3 \%$$

10.4. Cálculo del rendimiento de extracción para el alcohol butanol:

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = \frac{7.847}{20} X100$$

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = 39.2 \%$$

10.5. Cálculo del rendimiento de extracción para el hexano:

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = \frac{10.6}{20} X100$$

$$\%Rendimiento\ de\ extracción = 53 \%$$

Anexo N° 11. Metodología para determinación de eficiencia en recuperación de alcoholes.

11.1. Cálculo de la eficiencia de recuperación en el soxhlet para Isopropanol:

$$eficiencia \% = \frac{alcohol\ recuperado}{miscela - aceite\ esencial} \times 100$$

$$eficiencia \% = \frac{45.2534}{163.46 - 10.3} \times 100$$

$$eficiencia \% = 29.55 \%$$

11.2. Cálculo de la eficiencia de recuperación en el soxhlet para Metanol:

$$eficiencia \% = \frac{43.8671}{164.6033 - 8.7535} \times 100$$

$$eficiencia \% = 28.15 \%$$

11.3. Cálculo de la eficiencia de recuperación en el soxhlet para Etanol:

$$eficiencia \% = \frac{45.7935}{163.9527 - 9.671} \times 100$$

$$eficiencia \% = 29.68 \%$$

11.4. Cálculo de la eficiencia de recuperación en el soxhlet para Butanol:

$$eficiencia \% = \frac{43.0273}{167.7124 - 7.847} \times 100$$

$$eficiencia \% = 26.91 \%$$

11.5. Cálculo de la eficiencia de recuperación en el soxhlet para Hexano:

$$eficiencia \% = \frac{45.3208}{139.4679 - 10.6} \times 100$$

$$eficiencia \% = 35.17 \%$$

Anexo N° 12. Panel fotográfico.

12.1. Levantamiento de información en fase campo San Miguel de las Naranjas  
– Jaén.



12.2. Experimentación en fase laboratorio para la extracción de aceite.

Dimensionamiento de las semillas	Pesaje de semillas
	
Secado de semillas en estufa	Semillas acondicionadas para trituración
	
Pesaje de semilla acondicionadas	Extracción con Equipo soxhlet
	

<p>Secado de los residuos de la extracción</p>	<p>Recuperación del alcohol</p>
	
<p>Pesaje del aceite extraído</p>	<p>Reactivos para caracterización del aceite</p>
	
<p>Caracterización del aceite de ricino</p>	<p>Caracterización del aceite de ricino</p>
	