



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ESTUDIO DE DOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE
ACEITE DE SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus
indica* L.)**

Autor:

Bach. Jhon Percy Chichipe Lozano

Asesor:

Ms. Segundo Grimaldo Chávez Quintana

Co-asesor:

Ing. César Rafael Balcázar Zumaeta

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ESTUDIO DE DOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE
ACEITE DE SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus
indica* L.)**

Autor:

Bach. Jhon Percy Chichipe Lozano

Asesor:

Ms. Segundo Grimaldo Chávez Quintana

Co-asesor:

Ing. César Rafael Balcázar Zumaeta

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres Raúl y Rene quienes con su amor, paciencia y apoyo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, inculcándome el ejemplo de respeto, perseverancia y responsabilidad para poder superar todas las adversidades de la vida.

A mis hermanos Lita y Franklin quienes estuvieron junto a mí en todo este proceso demostrándome respeto y cariño.

A mis sobrinos Maily y Mark por su cariño, respeto y amor que me tienen y son el motivo principal a salir adelante y ser ejemplo de ellos en el mañana.

A mi amor por estar siempre a mi lado demostrándome amor y perseverancia para salir adelante como familia.

Jhon Percy Chichipe Lozano

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, especialmente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias por brindarme los espacios y equipos necesarios para la ejecución de la presente investigación.

A mi asesor de tesis, Ms. Segundo Grimaldo Chávez Quintana por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación ha logrado en mí que pueda realizar la presente investigación.

Al Proyecto SNIP N° 381743 – PROALIMENTOS, quien a través de su personal el Ing. César Rafael Balcázar Zumaeta, ha co-asesorado la presente investigación; por su guía, confianza y enseñanza que ha hecho posible la elaboración del presente trabajo.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por compartir sus conocimientos y experiencias.

A los miembros del jurado Ph. D. Pedro Javier Mansilla Córdova, Mg. Robert Javier Cruzalegui Fernández y Ms. Jannie Carroll Mendoza Zuta quienes con sus observaciones y conocimientos se pudo realizar dicha investigación.

A todas aquellas personas que de una manera u otra me brindan su apoyo en el ámbito profesional y personal; con sus conocimientos, consejos y experiencias que me sirven de mucho para seguir adelante.

Jhon Percy Chichipe Lozano

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui
Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
Vicerrector Académico

Dra. Flor de Teresa García Huamán
Vicerrectora de Investigación

Mg. Erick Aldo Auquiñivín Silva
**Decano de la Facultad de
Ingeniería y Ciencias Agrarias**


VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la tesis titulada: **Estudio de dos métodos de extracción de aceite de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**; del Bachiller de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial:

✓ **Bach. Jhon Percy Chichipe Lozano**

El suscrito da el visto bueno al informe de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, manifestando su voluntad de apoyar al tesista en el levantamiento de observaciones y en el Acto de sustentación de tesis.

Chachapoyas, 15 de agosto de 2019



Ms. Segundo Grimaldo Chávez Quintana
Docente de la Facultad de
Ingeniería y Ciencias Agrarias - UNTRM

VISTO BUENO DEL COASESOR DE TESIS

El que suscribe, de profesión Ingeniero Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas hace constar que ha co-asesorado la realización de la tesis titulada: **Estudio de dos métodos de extracción de aceite de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**; del Bachiller de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial:

✓ **Bach. Jhon Percy Chichipe Lozano**

El suscrito da el visto bueno al informe de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, manifestando su voluntad de apoyar al tesista en el levantamiento de observaciones y en el Acto de sustentación de tesis.

Chachapoyas, 15 de agosto de 2019



Ing. César Rafael Balcázar Zumaeta
Ingeniero Agroindustrial
CIP N° 208301

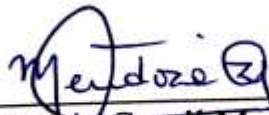
JURADO EVALUADOR



Ph. D. Pedro Javier Mansilla Córdova
Presidente



Mg. Robert Javier Cruzalegui Fernández
Secretario



Ms. Jannie Caroli Mendoza Zuta
Vocal



ANEXO 3-K

**DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Yo JHON PERCY CHICHIPE LOZANO
identificado con DNI N° 45783746 Estudiante ()/Egresado () de la Escuela Profesional de
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL de la Facultad de:
INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: ESTUDIO DE DOS METODOS DE EXTRACCION DE
ACEITE DE SEMILLAS DE TAMARINDO (Tamarindus Indica L.)

que presento para
obtener el Título Profesional de: INGENIERO AGROINDUSTRIAL

- 2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- 3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
- 4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 15 de AGOSTO de 2019

Firma del(a) tesista



ANEXO 2-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 18 de Octubre del año 2019, siendo las 2:00 pm horas, el aspirante: JHON PERCY CHICHIPE LOZANO defiende públicamente la Tesis titulada: ESTUDIO DE DOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITOS DE SEMILLAS DE TAMARINDO (Tamarindus indica L.)

para optar el Título Profesional en Ingeniería Agroindustrial otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:
Presidente: Ph.D. Pedro Javier Monsilla Córdova
Secretario: Mg. Robert Javier Cruzalegui Fernández
Vocal: Ms. Jannie Carroll Mendoza Zuba



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideraran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente () Aprobado (X) No apto ()

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 5:30 pm del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.

Monsilla
PRESIDENTE

Cruzalegui
SECRETARIO

Mendoza
VOCAL

OBSERVACIONES:

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	vi
VISTO BUENO DEL COASESOR DE TESIS.....	vii
JURADO EVALUADOR.....	viii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	ix
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
2.1 Material.....	18
2.2 Método, variables de estudio y técnicas.....	18
2.2.1 Método.....	18
2.2.2 Variables de estudio.....	19
2.2.3 Técnicas.....	19
2.3 Análisis de datos.....	23
2.4 Procedimiento.....	23
III. RESULTADOS.....	25
IV. DISCUSIONES.....	30
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXOS.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño para la extracción de aceite de semillas de tamarindo	188
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	19
Tabla 3. Datos provenientes de la evaluación de aceite de semillas de tamarindo	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de secuencia de la investigación	24
Figura 2. Rendimiento obtenido de aceite de tamarindo	25
Figura 3. Gráfica de los efectos para rendimiento	25
Figura 4. Índice de refracción obtenido en el aceite de tamarindo	26
Figura 5. Gráfica de los efectos para índice de refracción	26
Figura 6. Índice de acidez del aceite de tamarindo.....	27
Figura 7. Gráfica de los efectos para índice de acidez	27
Figura 8. Capacidad antioxidante del aceite de tamarindo mediante la técnica de DPPH ..	28
Figura 9. Gráfica de los efectos para capacidad antioxidante	28
Figura 10. Índice de saponificación del aceite de tamarindo	29
Figura 11. Gráfica de los efectos para índice de saponificación	29

RESUMEN

La investigación consistió en comparar dos métodos de extracción de aceite de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica L.*) a través del rendimiento y la calidad (propiedades fisicoquímicas). El estudio tuvo un diseño simple, teniendo como factores de estudio: solvente (etanol y éter de petróleo) y tipo de secado de las semillas (en estufa y al ambiente).

Los tratamientos empleados se realizaron por triplicado, la extracción se realizó con ayuda del equipo Soxhlet, y los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza. Se obtuvo un rendimiento máximo de 9,7%, secando las semillas al ambiente y haciendo uso del etanol; en cuanto a la calidad, sus propiedades fisicoquímicas indican que posee un adecuado índice de refracción (1,461); su valor de acidez obtenido en los métodos de extracción evidencian que mediante el uso de etanol se obtiene un aceite de mayor pureza (0,53 mg NaOH/g), mientras que el valor de saponificación fue de 152,18 mg KOH/g, asimismo el aceite presenta una importante capacidad antioxidante de 67,6%. Se concluye que, entre los dos métodos de extracción de aceite de semillas de tamarindo, el etanol presenta un mejor rendimiento y mejores propiedades fisicoquímicas en comparación a la extracción por éter de petróleo a partir de las semillas de tamarindo.

Palabras clave: Aceite, extracción, semillas, tamarindo.

ABSTRACT

The research consisted of comparing two methods of extracting oil from tamarind seeds (*Tamarindus indica L.*) through performance and quality (physicochemical properties). The study had a simple design, having as study factors: solvent (ethanol and petroleum ether) and type of drying of the seeds (in stove and in the environment).

The treatments used were performed in triplicate, the extraction was carried out with the help of the Soxhlet team, and the results obtained were subjected to an analysis of variance. A maximum yield of 9.6% was obtained, drying the seeds to the environment and making use of ethanol; in terms of quality, its physicochemical properties indicate that it has an adequate refractive index (1,461); Its acid value obtained in the extraction methods shows that through the use of ethanol an oil of higher purity (0.533 mg NaOH / g) is obtained, while the saponification value was 152,176 mg KOH / g, the oil also has an important antioxidant capacity of 67.61%. It is concluded that, between the two methods of extracting oil from tamarind seeds, ethanol has a better yield and better physicochemical properties compared to the extraction by petroleum ether from tamarind seeds.

Keywords: *Oil, extraction, seeds, tamarind.*

I. INTRODUCCIÓN

El **tamarindo** (*Tamarindus indica L.*) es una planta perteneciente a la familia de las leguminosas, su fruto es de forma alargada que contiene de 2 a 6 semillas que cuenta con una pulpa amarronada de sabor agrisado utilizado mayormente en la elaboración de refrescos y postres, teniendo a la semilla como un desecho del cual no se obtiene ningún aprovechamiento (León et al., 2012). Es por ello que la investigación se basó en utilizar dichas semillas para extraer un aceite de calidad con posteriores aplicaciones.

De otro lado, Pitke et al. (1977) mencionan que una de las principales aplicaciones de la semilla de tamarindo en polvo es en la industria textil y en lo que respecta al aceite solo hay caracterización de componentes, por ello es importante aportar sobre los posibles usos con la finalidad de poder establecer el uso en la agroindustria de este producto derivado. De este modo, Ajayi et al. (2006) y Orozco-Santos (2001) mencionan la importancia de aprovechar las semillas de tamarindo por ser una rica fuente de aceite, además de ser ricas en proteínas y carbohidrato, asimismo destacan que el aceite que se obtiene es de color ámbar y que resulta de buena calidad para la industria alimentaria.

El aceite obtenido de las semillas de tamarindo es un líquido viscoso, y contiene ácidos grasos saturados como el ácido linoleico pero también se ha identificado a los monoglicéridos, naftalenos aromáticos; además su punto de fusión es relativamente alto por lo cual se puede clasificar bajo el grupo de mantequilla vegetal (Kumar et al., 2011 y Pitke et al., 1977). En cuanto a la extracción, Panchal (2014) determina que la extracción de aceite de semilla de *T. indica* mediante el etanol tiene un mejor rendimiento, asimismo se tiene un mejor aceite en comparación con hexano, cloroformo, metanol, isopropanol y éter de petróleo.

En cuanto a sus propiedades, Saavedra (2016) indica que tiene un índice de refracción de 1,3; índice de acidez de 2,6 mg NaOH/g, índice de peróxido 4,64 meqO₂/Kg grasa; asimismo los principales componentes que tiene dicho aceite son ácidos grasos como el ácido láurico, ácido mirístico, ácido linoleico, ácido oleico, ácido esteárico, y asimismo se determina que se recomienda utilizar equipo de arrastre con vapor a escala industrial para poder obtener el aceite.

Ajayi et al. (2006) y Okello et al. (2018), coinciden que debido a la composición de ácidos grasos de los aceites provenientes de las semillas del tamarindo ayudan a mejorar la salud puesto que son nutricionalmente importantes para las dietas humanas y animales, pero a su

vez son generalmente desperdiciadas. Los antecedentes evidencian que las características que tiene el aceite es de interés agroindustrial para proporcionar un ingreso extra por sus usos en la industria alimentaria.

Existen diversos métodos para extraer aceites, entre ellos la extracción por solventes y el prensado donde la extracción con solvente tiene la ventaja sobre los métodos mecánicos en el mayor porcentaje de extracción del aceite de la semilla.

El sistema de extracción Soxhlet ha sido ampliamente utilizado en la extracción de aceite de semillas. El sistema se compone de un balón donde se encuentra un solvente orgánico que es calentado hasta ebullición, un tubo de extracción Soxhlet, donde se coloca la muestra, la cual, va contenida en un cartucho de celulosa (papel filtro) y un condensador. Después de evaporarse, el solvente orgánico es condensado y cae al tubo Soxhlet, en el cual extrae el aceite contenido en la muestra hasta que el tubo se llena; cuando el tubo está lleno de solvente, este es sifonado hasta el balón que contiene el resto de solvente y se repite el proceso, de tal proceso podemos afirmar que el rendimiento para la extracción se basa en el punto de ebullición del solvente y el tiempo que tarda en cumplir el ciclo de sifonado, demostrando que el etanol su punto de ebullición es 70 °C superior al éter de petróleo 30 a 40 °C por lo cual es más rápido el ciclo de sifonado (3.5 horas), en cambio con etanol es más lento el ciclo de sifonado (5 horas) en donde obtuvimos mayor rendimiento en la extracción.

El presente estudio tuvo como objetivo comparar dos métodos de extracción de aceite de semillas de *T. indica*, a través del rendimiento, y la calidad (refracción, saponificación, acidez y capacidad antioxidante). El estudio tuvo un diseño simple, teniendo como factores de estudio: solvente (etanol y éter de petróleo) y tipo de secado (en estufa y al ambiente), los tratamientos empleados se realizaron por triplicados. La extracción se realizó con ayuda del equipo Soxhlet, y los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material

El fruto del tamarindo fue adquirido en el distrito de Bagua Grande, provincia de Utcubamba de la región Amazonas en fresco después de una semana de ser cosechado en el mes de febrero del año 2019, luego se extrajo cuidadosamente las semillas 06 kg.

2.2 Método, variables de estudio y técnicas

2.2.1 Método

Con el objetivo de comparar dos métodos en la extracción de aceite de semillas de *T. indica* L.: Extracción mediante éter de petróleo (método 1) y extracción mediante etanol (método 2).

El método utilizado para la investigación fue deductivo (Ruíz, 2007).

Tabla 1. Diseño para la extracción de aceite de semillas de tamarindo

Secado	Solvente	Tratamientos
Estufa	Éter de petróleo	T1
Estufa	Éter de petróleo	T1
Estufa	Éter de petróleo	T1
Estufa	Etanol	T2
Estufa	Etanol	T2
Estufa	Etanol	T2
Ambiente	Éter de petróleo	T3
Ambiente	Éter de petróleo	T3
Ambiente	Éter de petróleo	T3
Ambiente	Etanol	T4
Ambiente	Etanol	T4
Ambiente	Etanol	T4

Cada uno de los tratamientos realizados, se realizó por triplicado para la evaluación de los factores evaluados. En base a ello se realizó el diseño de experimentos en Minitab 17 (ver tabla 1), que nos ayudó a investigar los efectos de las variables de entrada (solvente y secado) sobre una variable de salida (indicadores evaluados de rendimiento y calidad) al mismo tiempo.

2.2.2 Variables de estudio

En la presente investigación se comparó el rendimiento y la calidad de los aceites obtenidos de las semillas de tamarindo en función de los dos métodos de extracción con solvente empleados.

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Descripción conceptual	Descripción operacional	Dimensiones	Indicadores
Métodos de extracción de aceite de semillas de tamarindo	Extracción es la obtención de una sustancia que estaba contenido en un cuerpo.	Proceso para extraer el aceite de los materiales que lo contienen por medio de un solvente.	Rendimiento	% (v/p)
			Calidad	Índice de refracción Índice de saponificación Índice de acidez Capacidad antioxidante

2.2.3 Técnicas

Las técnicas que se utilizaron en la investigación fueron:

a. Secado de las muestras:

Se adquirieron semillas de *T. indica* L. del distrito de Bagua Grande (Utcubamba), luego se utilizó la técnica descrita por Luzia y Jorge (2011) modificada para los fines de la investigación.

Las semillas se enjuagaron con agua destilada para eliminar residuos que puedan estar adheridos, después de eso, las semillas fueron trituradas en una moladora de tornillo sin fin manual, con la finalidad de reducir el tamaño de partícula y facilitar el drenaje del aceite durante la extracción.

Se separaron en dos lotes para ser secado un primer lote a temperatura ambiente por una semana, el segundo lote se pesó 300 g y se colocó en una estufa a 120 °C durante 02 horas para reducir el contenido de humedad.

b. Extracción por solventes: Etanol y éter de petróleo

Para la presente investigación, de acuerdo a Tabio et al. (2017) la extracción de muestras sólidas con solventes, generalmente se recurre a la extracción sólido-líquido o lixiviación.

Se utilizó la técnica descrita por Panchal (2014) modificada para el presente estudio:

- Se extrajeron 100 g de muestras trituradas (tanto del secado a estufa y al ambiente) envueltas en papel filtro para ser colocadas en el equipo de Soxhlet.
- Se adicionó los solventes etanol (alcohol) y éter de petróleo según el diseño de la investigación en una proporción de 2: 1 (v /w).
- La temperatura de extracción fue de 200 °C, en un tiempo de 5 horas con etanol (10 sifonadas) y 3.5 horas con éter de petróleo (10 sifonadas)
- El disolvente fue evaporado, el cual subió hasta el área donde es condensado; aquí, al caer y regresar a la cámara de disolvente, fue separando los compuestos generando que la parte soluble pasa por gravedad al matraz. Este proceso se repite (reflujo) durante el tiempo considerado.
- Concluido el proceso de extracción, el producto obtenido se dejó en reposo en un vaso precipitado para eliminar los sólidos suspendidos.
- El aceite que se mantuvo en el vaso de muestra, se midió después de que se completó el proceso.
- Se calculó el porcentaje de aceite extraído, así como el resto de indicadores a estudiar.

c. Rendimiento:

Para determinar el rendimiento del aceite se empleará la siguiente ecuación descrita por Barriga-Sánchez et al. (2018):

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{V}{W} \times 100$$

Donde

V: Volumen (ml) de aceite obtenido

W: peso (g) de la muestra

d. Índice de refracción:

Para el índice de refracción se utilizó la Norma Técnica Peruana: NTP 319.075:1974, descrita por Ochoa et al. (2012):

Se colocó cuidadosamente una gota de aceite en la lámina del refractómetro, y con una varilla de vidrio se formó una capa entre el par de prismas abatible del refractómetro y se cierra éste rápidamente. Después de un minuto se hizo la lectura respectiva.

e. Índice de saponificación:

Se utilizó el Método cd 3-25 de la AOCS (1993); descrito por Odoom y Edusei (2015) y Saavedra (2016), el cual consistió en:

- Se pesó 5 g de aceite en un matraz de 250 ml de capacidad.
- Se añadió 50 ml de la solución etanólica de KOH.
- Se sometió a reflujo suavemente hasta que se complete la saponificación (unos 30 minutos).
- Se enfría y se titula el exceso de álcali con HCl 0,5 N.
- Se hace una determinación en blanco.
- Luego se calculó el índice de saponificación con la siguiente ecuación:

$$IS = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 56,1 \text{ g/eq}}{G}$$

Donde:

V₁: ml de HCl gastados en la valoración del ensayo en blanco

V₂: ml de HCl gastados en la valoración de la muestra

N: Normalidad de la solución de HCl

G: Peso de la muestra en gramos (g)

f. Índice de acidez

Se determinó usando la técnica Paquot (1979); de la norma IUPAC 2.201 el cual consistió en lo siguiente:

- Se pesó la muestra debidamente homogeneizada en un Erlenmeyer de 250 ml.
- Luego se añadió 50 ml de etanol neutralizado, para que posteriormente agreguemos unas gotas de indicador de fenolftaleína.

- Se procedió a titular con NaOH 0.1N hasta que la solución llegó a adquirir un ligero color rosa.
- Se anotó el gasto al álcali, y se calculó el índice mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{G \times N \times 56.1}{W}$$

Donde

G: Gasto de hidróxido de sodio

N: Normalidad

W: Peso de la muestra

g. Capacidad antioxidante

Se utilizó el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) desarrollado por Brand-Williams et al. (1995). Cuyo fundamento es que este radical tiene un electrón desapareado y es de color azul-violeta el cual se decolora hacia amarillo pálido por reacción con una sustancia antioxidante: la absorbancia es medida por espectrofotometría y con la diferencia de absorbancias se calcula el porcentaje de radicales libres.

Procedimiento

- Preparar 100 ml de una solución de DPPH en metanol de 20mg/L.
- Luego preparar una solución metanólica de la muestra a analizar en una concentración de 300 ug/ml (solución A)
- Preparar el blanco con metanol agua 2:1 para ajustar el espectrofotómetro a cero.
- El blanco de muestra se prepara con 0,75ml de muestra (solución A) y 1,5 ml de metanol.
- Se prepara el patrón de referencia con 1,5 ml de solución DPPH y 0,75 ml de agua.
- Luego preparar la muestra con 0,75ml de solución A y 1,5 ml de solución de DPPH. Obteniéndose una concentración final de 100 ug/ml, dejar por 5 min. y realizar la lectura a 517nm en un espectrofotómetro.
- Medir la absorbancia del patrón de referencia y del blanco de la muestra.
- Realizar las observaciones por triplicado, utilizar como control la vitamina C.

Posteriormente con los valores de las absorbancias obtenidas se determina el % de captación de radicales libres (DPPH) mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Capacidad antioxidante} = \left(1 - \frac{A2 - A3}{A1}\right) \times 100$$

Donde:

A1 = Absorbancia del patrón de referencia

A2 = Absorbancia de la muestra.

A3 = absorbancia del blanco de la muestra.

2.3 Análisis de datos

Se mostraron los promedios de los datos obtenidos mediante gráficos de barras y se recurrió al análisis de varianza (ANOVA), debido a que, como menciona Gutiérrez y De la Vara (2008) dicho análisis permite separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento (factores/tratamientos).

2.4 Procedimiento

- a. Se recolectó las muestras de *T. indica* L. proveniente de la provincia de Utcubamba.
- b. Luego se seleccionó las semillas sin magulladuras y se procedió a la molienda.
- c. Se separaron en dos lotes para ser secado. un primer lote a temperatura ambiente por una semana y el del segundo lote se pesó 300 g; se colocó en una estufa a 120 °C durante 02 horas para reducir el contenido de humedad.
- d. Una vez obtenidas las muestras secas y trituradas fueron envueltas en papel filtro y se procedió a realizar las extracciones con los solventes etanol (alcohol) y éter de petróleo en el equipo de Soxhlet.
- e. El producto obtenido de cada uno de los tratamientos se dejó en reposo en un vaso precipitado para eliminar los sólidos suspendidos.
- f. Los aceites obtenidos de los cuatro tratamientos, fueron refrigerados para proceder con las evaluaciones establecidas:
 - Rendimiento % (v/p)
 - Índice de refracción
 - Índice de saponificación
 - Índice de acidez
 - Capacidad antioxidante

- g. Cada una de las mediciones se realizó por triplicado para reducir la variabilidad sobre los datos recolectados que se pudo haber presentado.
- h. De los datos recolectados se procedió a comparar entre los tratamientos empleados mediante ANOVA en el rendimiento y calidad del aceite de las semillas de tamarindo.

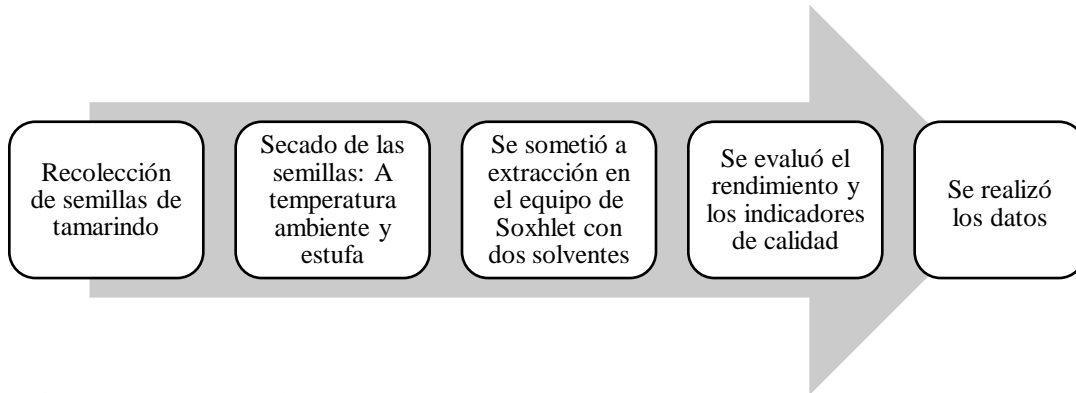


Figura 1. Diagrama de secuencia de la investigación

III. RESULTADOS

3.1 Comparar el rendimiento de los aceites a partir de dos métodos de extracción.

La figura 2 muestra un mayor rendimiento de extracción de aceites con el solvente etanol, mediante un secado al ambiente (tratamiento 4).

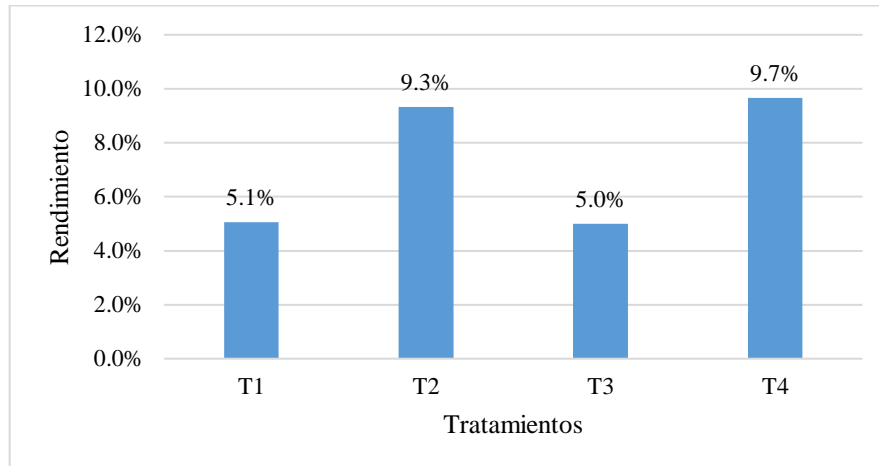


Figura 2. Rendimiento obtenido de aceite de tamarindo

figura 3 muestra que el factor solvente presenta efecto significativo sobre el rendimiento en la obtención de aceite, afirmando que con etanol se produce una mayor cantidad de aceite.

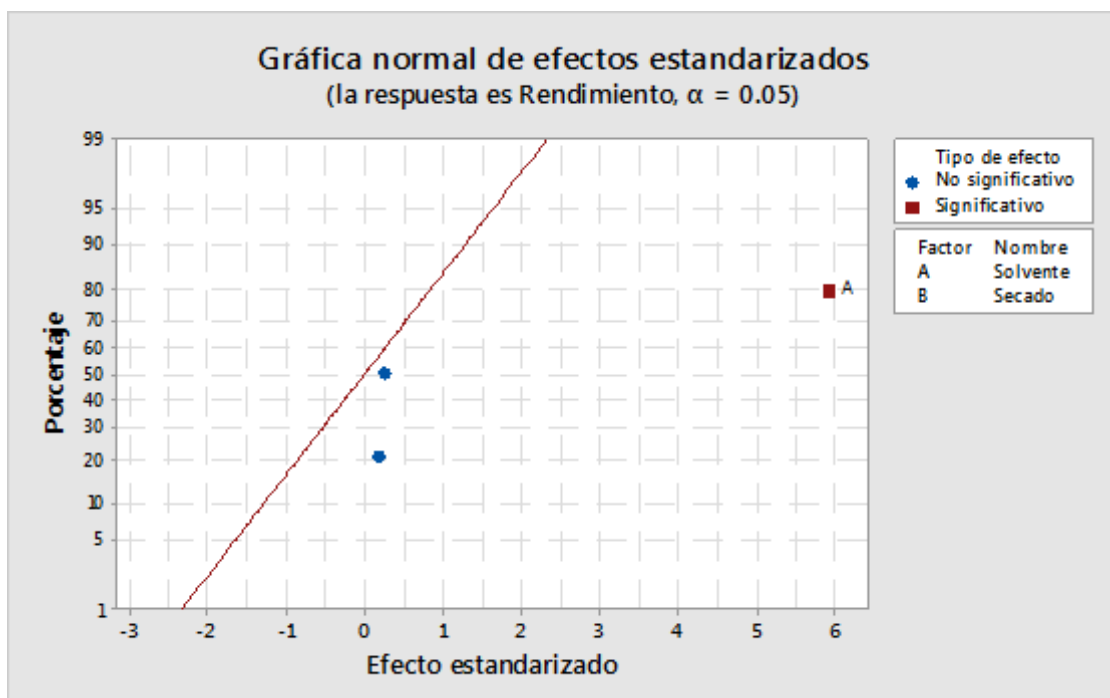


Figura 3. Gráfica de los efectos para rendimiento

3.2 Determinar la calidad del aceite de tamarindo extraído en cada método.

Para determinar la calidad del aceite extraído mediante los dos métodos se realizó los análisis de índices de refracción, acidez, saponificación y capacidad antioxidante.

La figura 4 muestra que los aceites obtenidos mediante la extracción con éter de petróleo (tratamientos 1 y 3) tienen un mayor índice de refracción en comparación de las muestras obtenidas con etanol (tratamientos 2 y 4).

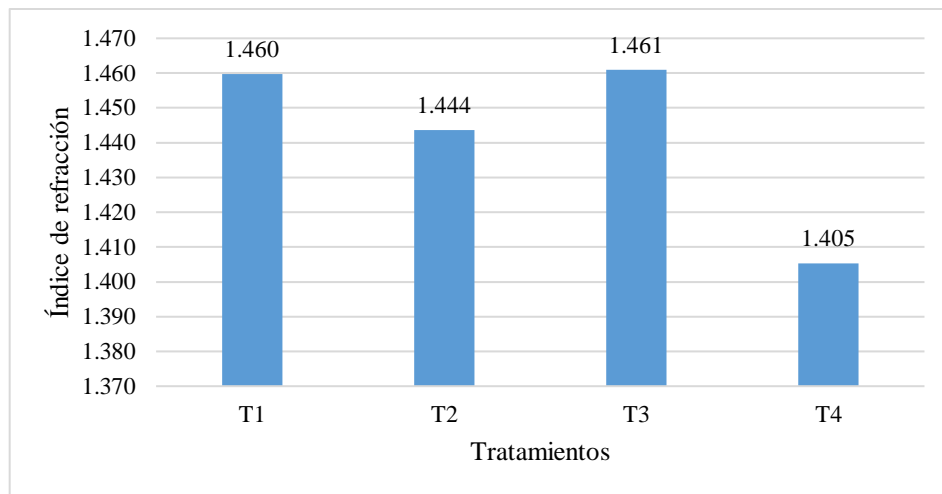


Figura 4. Índice de refracción obtenido en el aceite de tamarindo

La figura 5 muestra que no existe efecto significativo del solvente y secado o ambos sobre el índice de refracción.

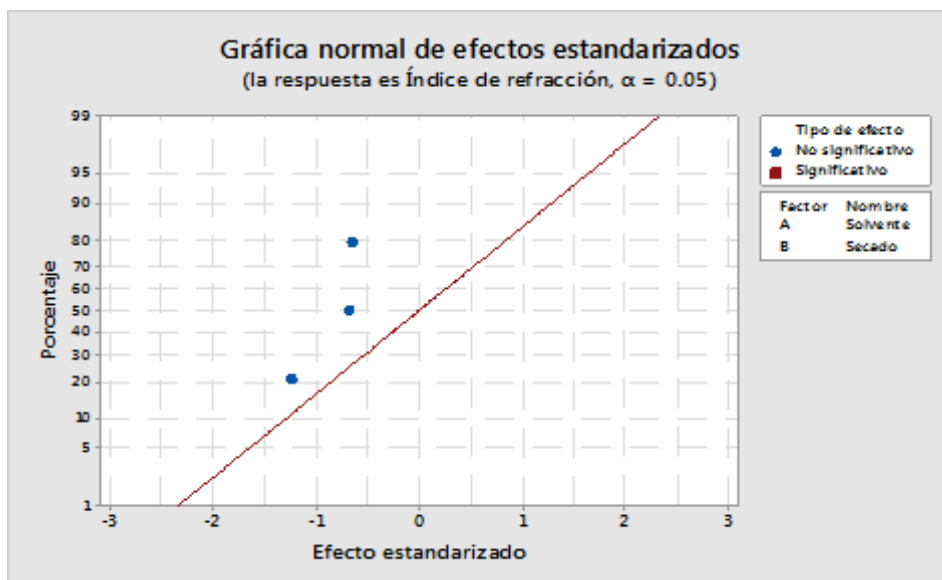


Figura 5. Gráfica de los efectos para índice de refracción

La figura 6, demuestra que el mayor valor de acidez fue de 0,77 mg NaOH/g obtenido en el secado al ambiente y extracción con etanol, igual a lo obtenido por éter de petróleo (secado por estufa) que fue 0,7 mg NaOH/g. y los valores más bajos de acidez fueron el aceite obtenido con el uso de etanol y con el uso de éter de petróleo que fueron de 0,53 y 0,67 mg NaOH/g respectivamente, los cuales demuestran un alto contenido de ácidos grasos y pureza.

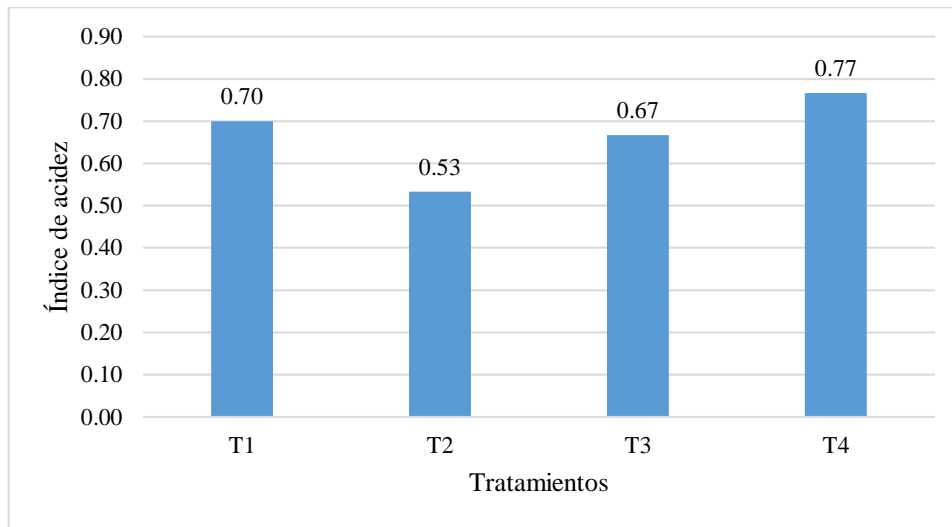


Figura 6. Índice de acidez del aceite de tamarindo

La figura 7 se muestra que el solvente y el secado no tienen efecto significativo sobre el contenido de acidez.

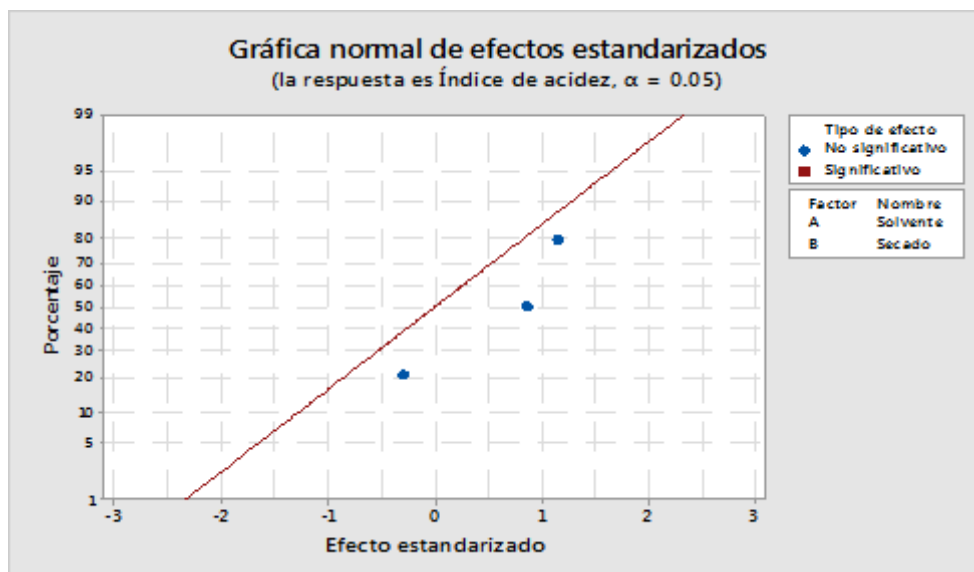


Figura 7. Gráfica de los efectos para índice de acidez

La figura 8 muestra que la capacidad antioxidante del aceite mediante la extracción por éter de petróleo y secado al ambiente se obtuvo un mayor valor de la captación de radicales libres, este resultado indica lo potencial para retardar el proceso de oxidación.

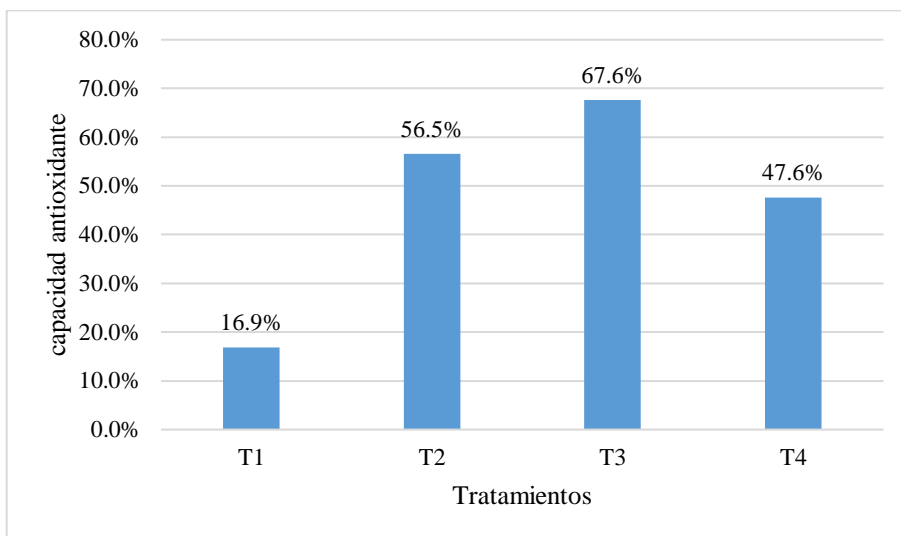


Figura 8. Capacidad antioxidante del aceite de tamarindo mediante la técnica de DPPH

Al evaluar los efectos de los factores de estudio la figura 9 muestra que la interacción *solvente * secado* demuestra tener efecto significativo sobre la capacidad antioxidante en el aceite, demostrando que el tratamiento 3 (secado en ambiente y extraído con éter de petróleo) sobresale a los demás tratamientos.

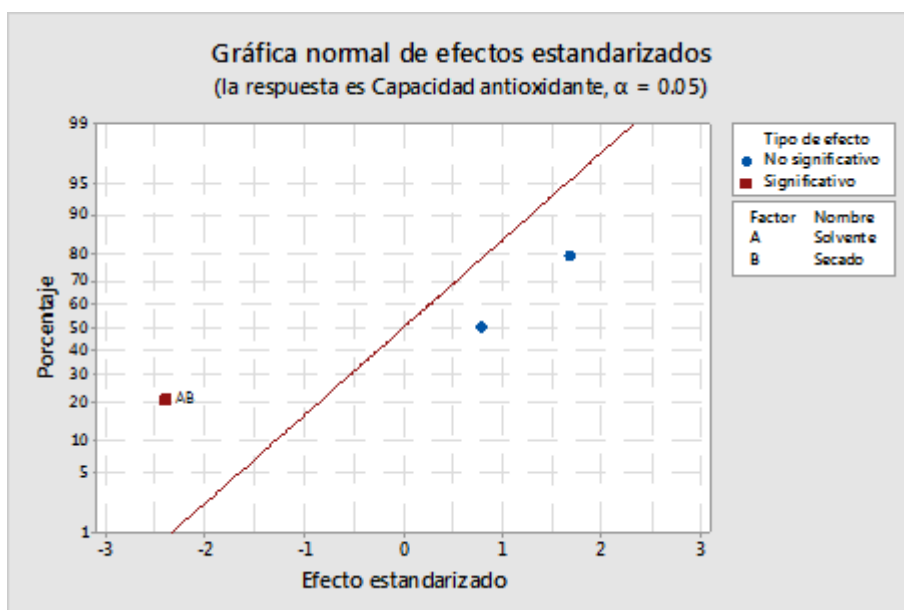


Figura 9. Gráfica de los efectos para capacidad antioxidante

La figura 10, muestra que el mayor resultado de índice de saponificación obtenido fue de 152,18 mg KOH/g. T3 (extracción con éter de petróleo y secado al ambiente); indicando una

alta cantidad de hidroxilo de potasio necesarios para saponificar un aceite y transformarlo en jabones.

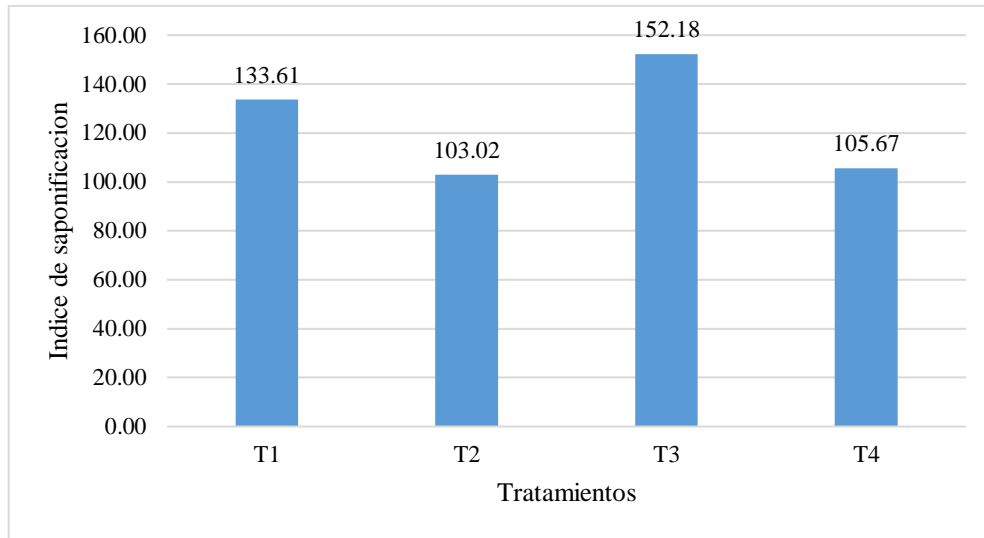


Figura 10. Índice de saponificación del aceite de tamarindo

La figura 11 análisis de varianza, se observa que existe efecto significativo de solvente que se utilizó sobre el valor de índice de saponificación en el aceite de semillas de tamarindo.

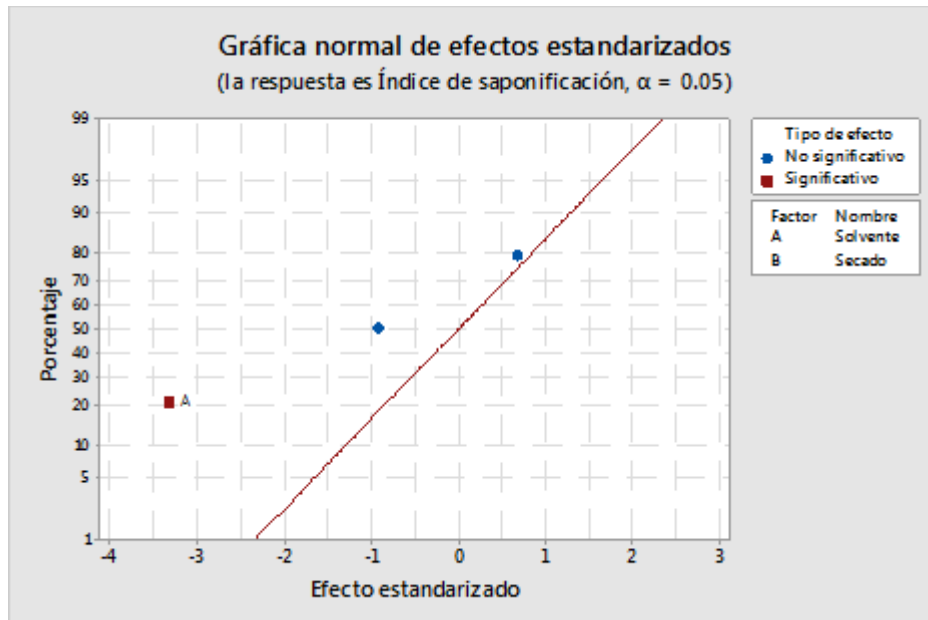


Figura 11. Gráfica de los efectos para índice de saponificación

IV. DISCUSIONES

Según la figura 2, el tratamiento 3 (secado al ambiente y extraídas con etanol) se obtuvo a 9,7% máximo rendimiento en comparación al resto de tratamientos aplicados (en promedio 5%). Este resultado se aproxima a lo obtenido por Ishola et al. (1990); Panchal (2014); y Pitke et al. (1977) que en sus investigaciones tienen un rendimiento de 10% utilizando etanol en la extracción. El etanol, al presentarse como un mejor solvente para la extracción, se puede deber a su parte hidrocarbonada interactúa algunos apolares y su parte hidroxilo le hace ser polar, se puede asumir que el etanol tiene una mayor capacidad para liberar los lípidos contenidos en las semillas.

En la figura 3 se obtiene un efecto significativo del solvente sobre el rendimiento en la obtención de aceite; Panchal (2014) menciona que la extracción de dicho aceite con etanol es superior en comparación al éter de petróleo y otros solventes; de igual importancia Andriamanantena et al. (1983) mencionan que con la mezcla cloroformo/metanol se obtuvo rendimiento superior al 7%. De este modo el solvente influye en el rendimiento de las semillas en la obtención de aceite. Por lo que el etanol, se convierte en un solvente alternativo, ya que tiene un bajo costo y puede ser producido a partir de una gran variedad de materiales biológicos utilizando tecnología simple (Panchal, 2014).

En lo que respecta al secado empleado en las semillas de tamarindo, Panchal (2014) menciona que la cantidad de aceite extraído aumentó alrededor del 3% al aumentar la temperatura de extracción de 70-80 °C; asimismo, la extracción a una temperatura de 90 °C disminuyó el rendimiento de aceite hasta un 6%. En la presente investigación, el tipo de secado empleado no mostró efecto significativo sobre el rendimiento (ver figura 3).

En cuanto al índice de refracción los resultados obtenidos de extracción por éter de petróleo 1,461 y con etanol fue de 1,444; estos valores obtenidos son similares a lo obtenido por Chacón-Fernández et al. (2019) cuyo índice de refracción encontrado fue de 1,465 extrayendo aceite de semillas de tamarindo usando hexano; asimismo Pitke et al. (1977) obtuvieron un índice de refracción de 1,475 usando una mezcla de solventes cloroformo/metanol, y con el uso de etanol Ajayi et al. (2006) obtienen un índice de refracción de 1,48. determinando que en la presente investigación el índice de refracción del aceite de semillas de tamarindo es adecuado; debido a que en aceites y grasas se debe tener un índice de refracción característico que oscile generalmente entre 1,44 y 1,50 (Pérez, 2008).

La acidez mide la cantidad de ácidos grasos libres que hay en el aceite, por eso la acidez es un indicador general de la calidad de los aceites (Pérez, 2008), es decir, cuanto menor sea la acidez de un aceite es mejor. En la presente investigación el aceite obtenido con extracción de etanol y secado a la estufa (0,53) indica que con dicho tratamiento se obtiene un aceite con mayor pureza.

Luzia y Jorge (2011) indican que extracto etanólico de la semilla de tamarindo presenta una actividad antioxidante de 75,9%; mientras que en extractos metanólicos, según Suksomtip et al. (2010) indican que la actividad fue de 81,8%. El aceite obtenido en la presente investigación presentó una capacidad antioxidante (técnica DPPH) de 56,5% extraídas con etanol y secado en estufa, de 67,6% cuando fueron extraídas con éter de petróleo y secado a temperatura ambiente. (ver figura 8). Por tanto, se asume que el tamarindo se caracteriza por tener una alta capacidad antioxidante.

En la figura 9, se observa que los métodos de extracción tienen efecto en la capacidad antioxidante del aceite, así como Hsu et al. (2003) indican que la forma de secado tiene efecto sobre los antioxidantes, debido a que al someter a altas temperaturas pueden generar cambios en la cantidad de antioxidantes presentes, y que la extracción con diferentes solventes generan cambios en la presencia de componentes antioxidantes.

Para el índice de saponificación se observa en la figura 10, que el máximo valor fue de 152,18 mg KOH/g de grasa en el tratamiento donde se usó éter de petróleo para la extracción del aceite, en comparación a la extracción por alcohol cuyo valor de saponificación llegó a 105,67. El valor determinado es similar a lo obtenido por Murthy et al. (1993) cuyo valor fue de 192 mg KOH/g, y Saavedra (2016) indica a su vez que el índice de saponificación obtenido fue de 186,12 mg KOH/g de grasa.

El valor de saponificación determinado es cercano a lo que establece la norma del Codex para su uso alimentario, el cual señala que para aceites rancios este debe superior a 190 mg KOH/g de grasa.

V. CONCLUSIONES

Se obtiene una mayor extracción de aceite proveniente de semillas de tamarindo (9,7%), secando previamente a temperatura ambiente y haciendo uso del etanol para la extracción mediante el equipo Soxhlet.

El tipo de secado no tiene efecto significativo en el rendimiento de aceite obtenido, índice de refracción, índice de acidez e índice de saponificación más si existe una interacción factor solvente y secado en la capacidad antioxidante.

El solvente tiene efecto sobre la cantidad de aceite a obtener, es por ello que el etanol es el más recomendable debido a su eficiencia y bajo costo ya que puede ser producido a partir de una gran variedad de materiales biológicos utilizando tecnología simple.

En cuanto a la calidad, sus propiedades fisicoquímicas demuestran que posee un adecuado índice de refracción en los dos métodos de extracción, en cuanto al índice de acidez obtenido se evidencia que mediante el etanol se obtiene un aceite de mayor pureza (0,53 mg NaOH/g), el índice de saponificación (152,18 mg KOH/g) es aceptable y posee una importante capacidad antioxidante de (67,6%).

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar diferentes diluciones del solvente respecto a la muestra (v: w) a emplear en la extracción de aceite, a su vez se recomienda evaluar tiempos y temperaturas de secado que permitan obtener un mayor rendimiento en la obtención de aceite.

Evaluar procesos que puedan purificar el aceite obtenido una vez realizado la extracción por Soxhlet, debido a que puede haber contaminación de la muestra debido al uso de solventes.

Caracterizar los principales componentes antioxidantes del aceite de tamarindo, así como evaluar el contenido de polifenoles para determinar la calidad de componentes en el aceite con fines posteriores en la industria alimentaria.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajayi, I. A., Oderinde, R. A., Kajogbola, D. O., & Uponi, J. I. (2006). Oil content and fatty acid composition of some underutilized legumes from Nigeria. *Food Chemistry*, 99(1), 115-120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.045>
- American Oil Chemists Society - AOCS. (1993). AOCS Official Method Cd 3-25. Saponification Value of Fats and Oils. En *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS* (p. 1200). Washington DC.
- Andriamanantena, R. W., Artaud, J., Gaydou, E. M., Iatrides, M. C., & Chevalier, J. L. (1983). Fatty acid and sterol compositions of malagasy tamarind kernel oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60(7), 1318-1321. <https://doi.org/10.1007/BF02702108>
- Barriga-Sánchez, M., Churata, A., & Tinoco, Ó. (2018). Optimización del rendimiento de la extracción de aceite de semillas de *Vitis vinifera* con CO₂ supercrítico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(2), 217-227.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chacón-Fernández, M. G., Hernández-Medel, M. R., Bernal-González, M., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. C., & Solís-Fuentes, J. A. (2019). Composition, properties, stability and thermal behavior of tamarind (*Tamarindus indica*) seed oil. *Grasas y Aceites*, 70(4), 333. <https://doi.org/10.3989/gya.0928182>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos* (Segunda). Recuperado de http://gc.initelabs.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Hsu, C.-L., Cheng, W., Weng, Y.-M., & Tseng, C.-Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different

drying methods. *Food Chemistry*, 83(1), 85-92. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00053-0)

Ishola, M. M., Agbaji, E. B., & Agbaji, A. S. (1990). A chemical study of *Tamarindus indica* (Tsamiya) fruits grown in Nigeria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 51(1), 141-143. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740510113>

Kumar, R., Bansal, V., Tiwari, A. K., Sharma, M., Puri, S. K., Patel, M. B., & Sarpal, A. S. (2011). Estimation of Glycerides and Free Fatty Acid in Oils Extracted From Various Seeds from the Indian Region by NMR Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(11), 1675-1685. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1846-4>

León, J. D., Díaz, E. M., & Solsol, M. A. (2012). *Guía Metodológica y Ambiental Regional Amazonas*. Recuperado de <http://siar.minam.gob.pe/amazonas/sites/default/files/archivos/public/docs/555.pdf>

Luzia, D. M. M., & Jorge, N. (2011). Antioxidant activity, fatty acid profile and tocopherols of *Tamarindus indica* L. seeds. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(2), 497-501. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200034>

Murthy, V. R., Kumar, K. V. S., Reddy, R. N. V. R., & Murthy, Y. N. (1993). Ultrasonic Studies of Natural Oils and Fats of Plant Origin. *Crystal Research and Technology*, 28(5), 723-727. <https://doi.org/10.1002/crat.2170280525>

Ochoa, K., Paredes, L. R., Bejarano, D. L., & Silva, R. J. (2012). Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de *Senecio graveolens* Wedd (Wiskataya). *Scientia Agropecuaria*, 3(4), 291-302.

Odoom, W., & Edusei, V. O. (2015). Evaluation of Saponification value, Iodine value and Insoluble impurities in Coconut Oils from Jomoro District in the Western Region of Ghana. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 03(05), 494-499.

Okello, J., Okullo, J. B. L., Eilu, G., Nyeko, P., & Obua, J. (2018). Physicochemical composition of *Tamarindus indica* L. (Tamarind) in the agro-ecological zones of Uganda. *Food Science & Nutrition*, 6(5), 1179-1189. <https://doi.org/10.1002/fsn3.627>

- Orozco-Santos, M. (2001). *El cultivo de tamarindo (Tamarindus indica L.) en el trópico seco de México* (Folleto Técnico N.º 01; p. 96). Recuperado de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias website: <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2186/61michoacan.pdf>
- Panchal, B. (2014). Optimization of Oil Extraction and Characterization from *Tamarindus Indica* Linn Seed Oil. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.ogce.20140201.11>
- Paquot, C. (1979). *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives* (Primera). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/book/9780080223797/standard-methods-for-the-analysis-of-oils-fats-and-derivatives#book-description>
- Pérez, L. F. (2008). *Evaluación de cuatro temperaturas de prensado en la calidad del aceite virgen de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)* (Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2634/Perez%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pitke, P. M., Singh, P. P., & Srivastava, H. C. (1977). Fatty acid composition of tamarind kernel oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 54(12), 592-592. <https://doi.org/10.1007/BF03027644>
- Ruíz, R. (2007). *El Método Científico y sus Etapas*. Recuperado de <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Saavedra, M. L. (2016). *Extracción y caracterización del aceite esencial de las semillas de Tamarindo (Tamarindus indica), Lambayeque – 2014* (Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán). Recuperado de <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/845/SAAVEDRA%20MONTENEGRO%20MARIO%20LUIS%20MART%20CDN.pdf;jsessionid=0567090D2E413E53B7A381E18592768F?sequence=1>

- Suksomtip, M., Ukrisdawithid, S., Bhusawang, P., & Pongsamart, S. (2010). Phenolic compound content, antioxidant and radical-scavenging properties of methanolic extracts from the seed coat of certain Thai tamarind cultivars. *Journal of Food Biochemistry*, 34(5), 916-931. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00323.x>
- Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., & Piloto, R. (2017). *Extracción de aceites de origen vegetal*. Recuperado de <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.11047.55201>

ANEXOS

Anexo A. Datos tabulados

Tabla 3. Datos provenientes de la evaluación de aceite de semillas de tamarindo.

Secado	Solvente	Tratamientos	Rendimiento	Refracción	Acidez	Cap. Ant.	Saponificación
Estufa	Éter	T1	5.1%	1.457	0.5	16.9%	1.585
Estufa	Éter	T1	4.7%	1.457	1.0	16.9%	2.158
Estufa	Éter	T1	5.4%	1.465	0.6	16.9%	3.421
Estufa	Etanol	T2	8.0%	1.447	0.5	82.4%	3.313
Estufa	Etanol	T2	9.0%	1.450	0.5	23.7%	2.217
Estufa	Etanol	T2	11.0%	1.434	0.6	63.4%	3.366
Ambiente	Éter	T3	5.0%	1.464	0.6	71.9%	1.417
Ambiente	Éter	T3	5.2%	1.462	0.9	59.3%	1.742
Ambiente	Éter	T3	4.8%	1.457	0.5	71.7%	1.579
Ambiente	Etanol	T4	8.0%	1.290	1.0	12.6%	0.954
Ambiente	Etanol	T4	9.0%	1.469	0.6	65.1%	2.527
Ambiente	Etanol	T4	12.0%	1.457	0.7	65.3%	1.252

Anexo B. Análisis estadístico

Anexo B.1. Análisis de varianza del rendimiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.006003	0.002001	11.72	0.003
Lineal	2	0.005991	0.002995	17.54	0.001
Solvente	1	0.005985	0.005985	35.05	0.000
Secado	1	0.000005	0.000005	0.03	0.864
Interacciones de 2 términos	1	0.000012	0.000012	0.07	0.798
Solvente*Secado	1	0.000012	0.000012	0.07	0.798
Error	8	0.001366	0.000171		
Total	11	0.007369			

Resumen del modelo

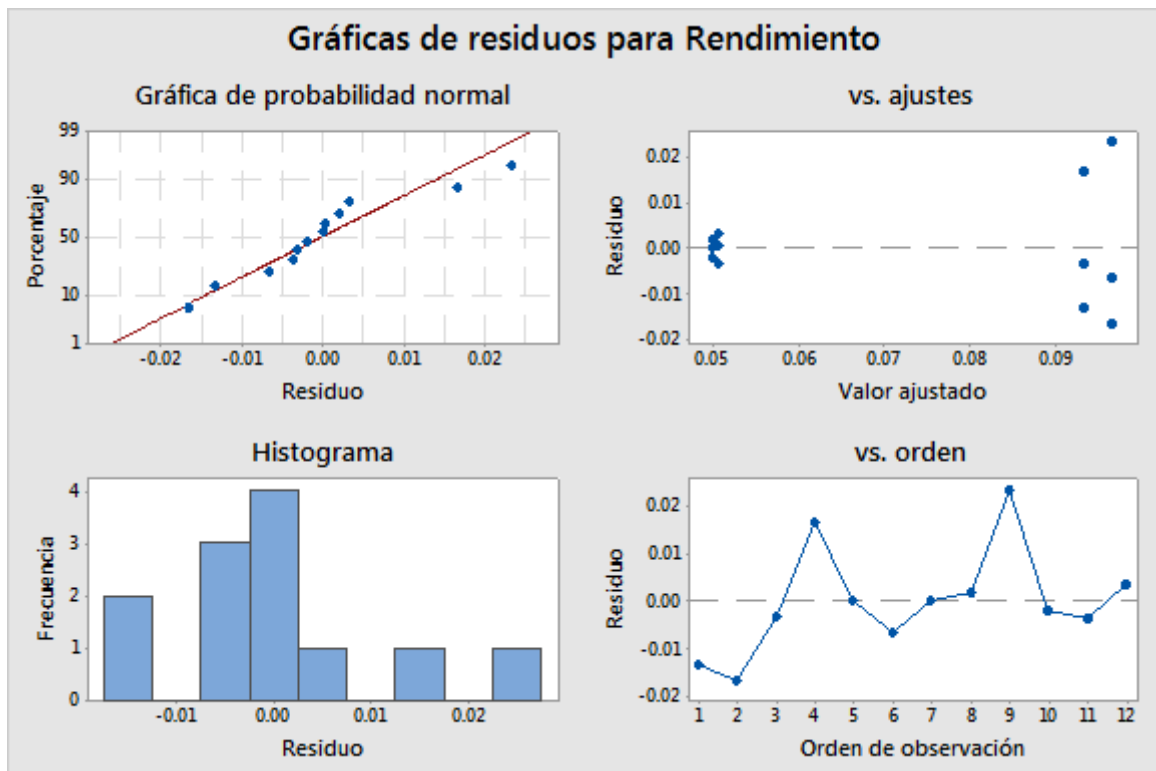
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0130671	81.46%	74.51%	58.29%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		0.07267	0.00377	19.26	0.000	
Solvente	0.04467	0.02233	0.00377	5.92	0.000	1.00
Secado	0.00133	0.00067	0.00377	0.18	0.864	1.00
Solvente*Secado	0.00200	0.00100	0.00377	0.27	0.798	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Rendimiento} = 0.07267 + 0.02233 \text{ Solvente} + 0.00067 \text{ Secado} + 0.00100 \text{ Solvente*Secado}$$



Anexo B.2. Análisis de varianza de índice de refracción

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.006059	0.002020	0.80	0.529
Lineal	2	0.004879	0.002439	0.96	0.422
Solvente	1	0.003852	0.003852	1.52	0.252
Secado	1	0.001027	0.001027	0.41	0.542
Interacciones de 2 términos	1	0.001180	0.001180	0.47	0.514
Solvente*Secado	1	0.001180	0.001180	0.47	0.514
Error	8	0.020238	0.002530		
Total	11	0.026297			

Resumen del modelo

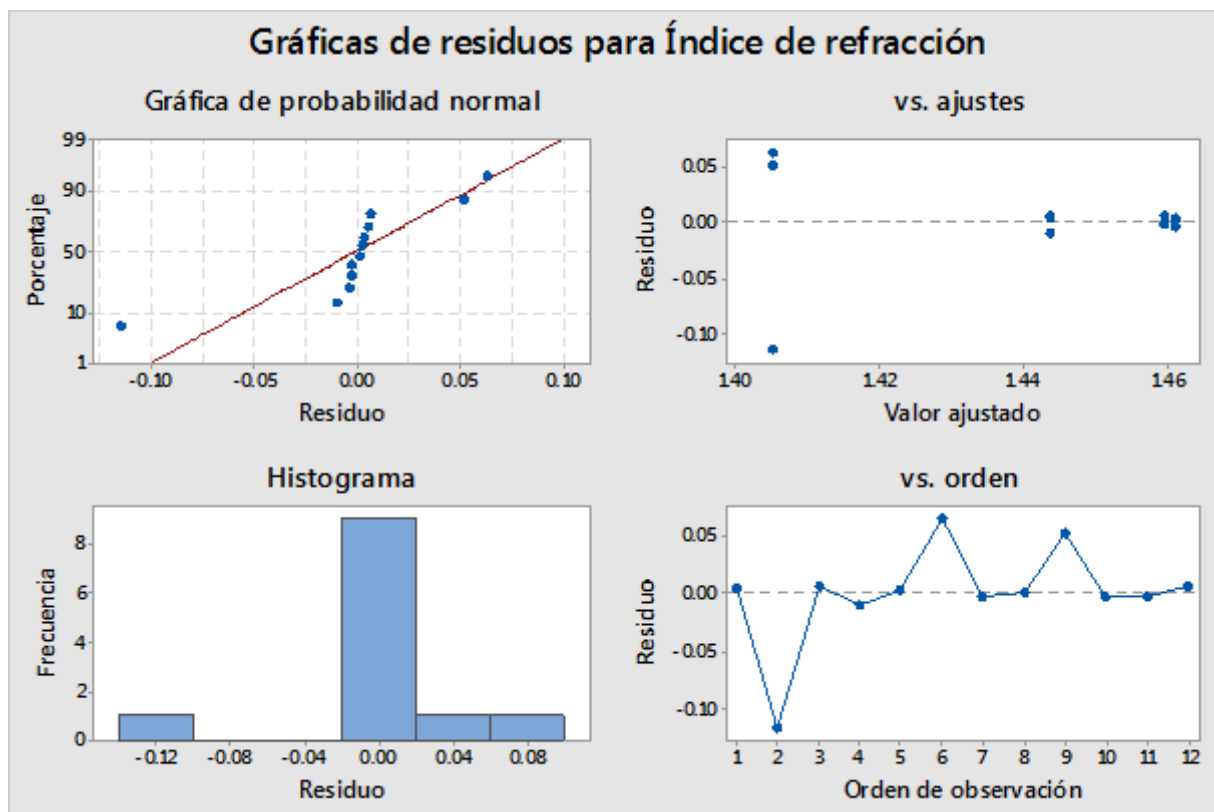
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0502966	23.04%	0.00%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		1.4424	0.0145	99.34	0.000	
Solvente	-0.0358	-0.0179	0.0145	-1.23	0.252	1.00
Secado	-0.0185	-0.0092	0.0145	-0.64	0.542	1.00
Solvente*Secado	-0.0198	-0.0099	0.0145	-0.68	0.514	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Índice de refracción = 1.4424 - 0.0179 Solvente - 0.0092 Secado - 0.0099 Solvente*Secado



Anexo B.3. Análisis de varianza del índice de acidez

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.086667	0.028889	0.72	0.566
Lineal	2	0.033333	0.016667	0.42	0.673
Solvente	1	0.003333	0.003333	0.08	0.780
Secado	1	0.030000	0.030000	0.75	0.412
Interacciones de 2 términos	1	0.053333	0.053333	1.33	0.282
Solvente*Secado	1	0.053333	0.053333	1.33	0.282
Error	8	0.320000	0.040000		
Total	11	0.406667			

Resumen del modelo

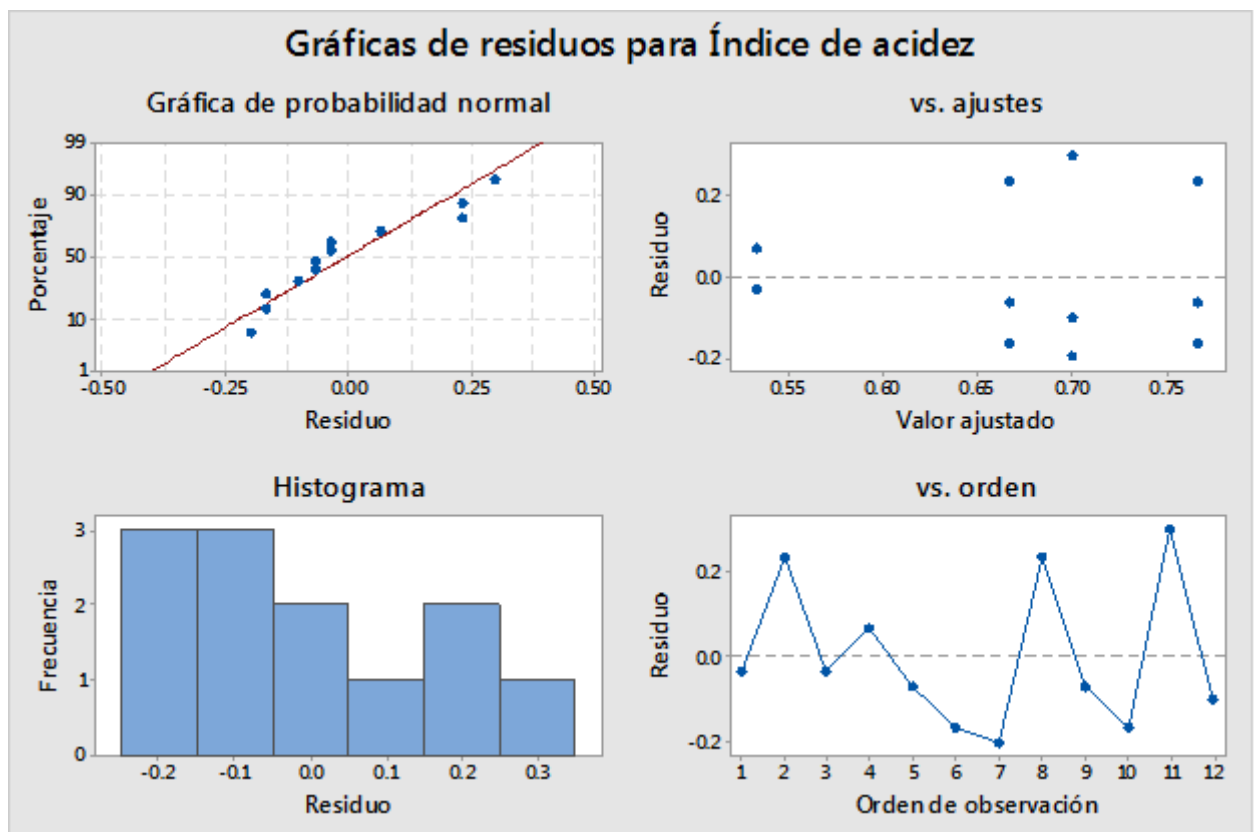
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.2	21.31%	0.00%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		0.6667	0.0577	11.55	0.000	
Solvente	-0.0333	-0.0167	0.0577	-0.29	0.780	1.00
Secado	0.1000	0.0500	0.0577	0.87	0.412	1.00
Solvente*Secado	0.1333	0.0667	0.0577	1.15	0.282	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Índice de acidez} = 0.6667 - 0.0167 \text{ Solvente} + 0.0500 \text{ Secado} + 0.0667 \text{ Solvente*Secado}$$



Anexo B.4. Análisis de varianza de la capacidad antioxidante

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.42665	0.14222	3.04	0.093
Lineal	2	0.16024	0.08012	1.71	0.240
Solvente	1	0.02899	0.02899	0.62	0.454
Secado	1	0.13125	0.13125	2.81	0.132
Interacciones de 2 términos	1	0.26641	0.26641	5.70	0.044
Solvente*Secado	1	0.26641	0.26641	5.70	0.044
Error	8	0.37394	0.04674		
Total	11	0.80059			

Resumen del modelo

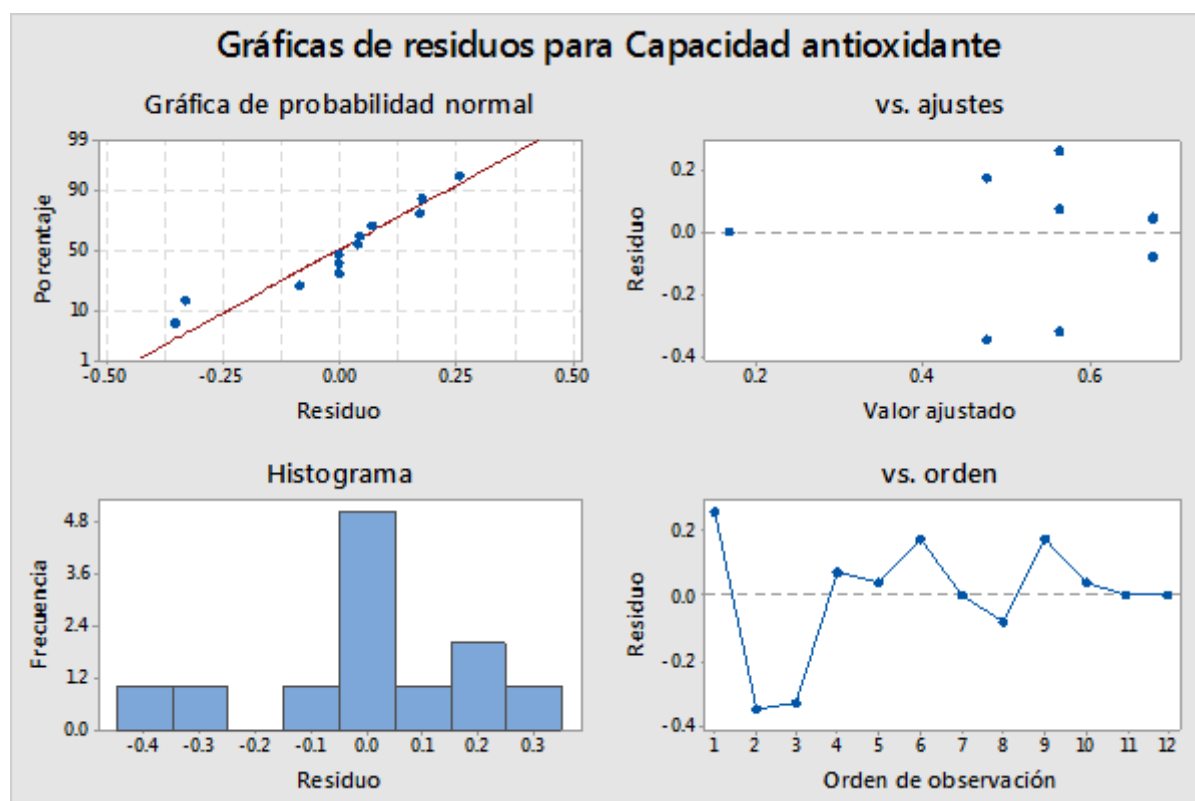
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.216200	53.29%	35.78%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		0.4717	0.0624	7.56	0.000	
Solvente	0.0983	0.0491	0.0624	0.79	0.454	1.00
Secado	0.2092	0.1046	0.0624	1.68	0.132	1.00
Solvente*Secado	-0.2980	-0.1490	0.0624	-2.39	0.044	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Capacidad antioxidante} = 0.4717 + 0.0491 \text{ Solvente} + 0.1046 \text{ Secado} - 0.1490 \text{ Solvente*Secado}$$



Anexo B.5. Análisis de varianza del índice de saponificación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	4985.4	1661.8	4.08	0.050
Lineal	2	4795.5	2397.8	5.88	0.027
Solvente	1	4457.6	4457.6	10.93	0.011
Secado	1	337.9	337.9	0.83	0.389
Interacciones de 2 términos	1	189.9	189.9	0.47	0.514
Solvente*Secado	1	189.9	189.9	0.47	0.514
Error	8	3262.0	407.7		
Total	11	8247.4			

Resumen del modelo

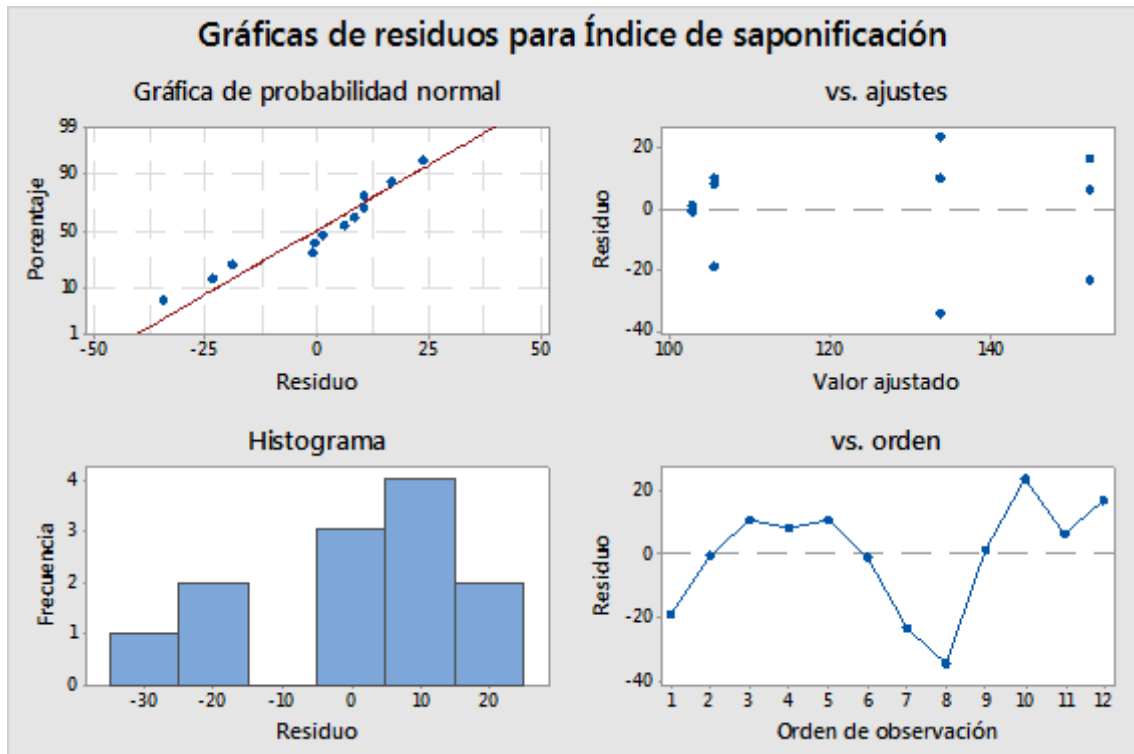
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
20.1927	60.45%	45.62%	11.01%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		123.62	5.83	21.21	0.000	
Solvente	-38.55	-19.27	5.83	-3.31	0.011	1.00
Secado	-10.61	-5.31	5.83	-0.91	0.389	1.00
Solvente*Secado	7.96	3.98	5.83	0.68	0.514	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Índice de saponificación = 123.62 - 19.27 Solvente - 5.31 Secado + 3.98 Solvente*Secado



Anexo C. Galería fotográfica



Fotografía 1.

Secado de semillas de tamarindo en estufa

Fotografía 2.

Acondicionamiento del equipo de Soxhlet para la extracción de aceite





Fotografía 3.

Extracción de aceite de semillas de tamarindo por el equipo de Soxhlet



Fotografía 4.

Recolección del aceite después de la extracción



Fotografía 5.
Aceite extraído con éter de petróleo

Fotografía 6.

Fotografía 6.
*Titulación para el índice de acidez del
aceite de tamarindo*





Fotografía 7.

*Medición de la capacidad antioxidante
mediante el espectrofotómetro*