

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE  
DE SEMILLAS DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) OBTENIDO MEDIANTE  
TRES MÉTODOS Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA**

**PRESENTADO POR:**

- Br. YORMELI CALACHAHUI LUQUE
- Br. CINTHIA MOZO ESCALANTE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUÍMICO**

**ASESOR:**

**Mag. WASHINGTON JULIO LECHUGA CANAL**

**CUSCO – PERÚ**

**2023**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE TUNA (Opuntia ficus-indica) OBTENIDO MEDIANTE TRES MÉTODOS Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

presentado por: Yormeli Calachahui Luque y Cinthia Mozo Escalante

con Nro. de DNI: 71716885 y 72577944, para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Químico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 1%

## Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 17 de enero de 2024



Firma

Post firma Washington Julio Lechuga Canal

Nro. de DNI 23801349

ORCID del Asesor 0000-0003-1967-1720

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:304438923

NOMBRE DEL TRABAJO

tesis1 EXTRACCIÓN ACEITE TUNA y CA  
RACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA - Calac  
hahui - Mozo.pdf

AUTOR

Calachahui Luque - Mozo Escala

RECUENTO DE PALABRAS

**35267 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**184926 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**152 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jan 16, 2024 12:59 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jan 16, 2024 1:02 PM GMT-5**

### ● 1% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

## DEDICATORIAS

*A Dios, por ser mi guía, fortaleza y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.*

*A mis padres Elizabeth y Guido E., quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y apoyo me han impulsado para cumplir hoy una meta más.*

*A mis hermanos Kevin y Valeria, compañeros de vida en este camino de aprendizaje.*

*A mi abuelita Isabel y a toda mi familia, por sus oraciones, consejos y palabras de aliento de cada día.*

*A J. Eliud, por su constante apoyo, esmero, dedicación y ánimos durante todo este proceso de investigación.*

*A Kuski, mi mejor amigo y fiel compañero, que de tan solo verlo y sentir sus patitas me recargaba de energía en cada etapa de estudio.*

*A G. De Las Rocas por su constancia del día a día en llegar a esta meta.*

*Y a todas las personas que estuvieron a mi lado y me brindaron su ayuda de una u otra forma en este trayecto.*

*¡Querida familia, mil gracias!*

**Br. Yormeli Calachahui Luque**

*Dedico la presente tesis a Dios, por haberme dado la vida, por darme salud y bendición para alcanzar una de mis metas como persona y profesional.*

*A mis amados padres Jesús y Justina, por brindarme su cariño, amor y apoyo incondicional ya que son el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional.*

*A a mis queridos tíos, Ricardo y Albi, por todas sus palabras de aliento en cada paso que di, tío el día de hoy ya te puedo decir colega.*

*A mis primos/hermanos Sadith, Yanelly y Derlly por todos los momentos que compartimos juntos y porque siempre los llevo en mi corazón.*

*No puedo dejar de lado a la persona que estuvo allí apoyándome en todo momento, Guido, también va para ti.*

*¡Familia, lo logramos!*

**Br. Cinthia Mozo Escalante**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por la fortaleza y la vida que nos dio para alcanzar este objetivo.

A nuestros padres y familiares, por su apoyo, ánimos, consejos y motivación en toda nuestra etapa universitaria.

A nuestro asesor Ing. W. Julio Lechuga por las observaciones y recomendaciones, ya que gracias a su mentoría y orientación desarrollamos esta presente investigación.

Al Ing. Antonio Bueno, por facilitarnos el uso de equipos en el laboratorio de Hidrocarburos; al Ing. Atilio Mendigure, por ayudarnos con la mejora de la prensa hidráulica y brindarnos un área destinada en el laboratorio de Materiales; al Ing. Oswaldo Fuentes, por permitirnos hacer uso de las instalaciones de la Planta de Chocolates; a la Ing. Lurdes Lima, por facilitarnos los materiales necesarios para nuestra experimentación; a la Ing. Leci Romero, por compartir sus conocimientos y consejos en la redacción de la tesis.

A nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por sus enseñanzas, motivación y dedicación en nuestra formación académica.

Al señor Timoteo Taype, por presentar y exponer la labor desarrollada dentro del proyecto “Tunasol”.

A J. Eliud, por la colaboración en el montaje de la prensa hidráulica y el apoyo brindado en diferentes etapas durante la realización de esta investigación.

Br. Calachahui Luque, Yormeli

Br. Mozo Escalante, Cinthia

## PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química presentamos a vuestra consideración la tesis titulada:

**Evaluación del rendimiento en la extracción de aceite de tuna (*Opuntia ficus-indica*) obtenido mediante tres métodos y su caracterización fisicoquímica.**

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico.

## RESUMEN

La presente investigación ha sido realizada con el fin de dar mayor relevancia a las semillas de tuna, analizando las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído, dado que las semillas son residuos generados en la industrialización de la pulpa. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los procesos de extracción que presenten un mayor rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna (*Opuntia ficus-indica*), para lo cual se realizaron tres métodos de extracción: soxhlet, maceración y prensado en frío; de las cuales se realizaron 16 pruebas con sus respectivas replicas. Las variables independientes fueron, en soxhlet: tamaño de partícula (menor a 1000  $\mu\text{m}$ , mayor a 1000  $\mu\text{m}$ ) y solvente (etanol o éter de petróleo), en maceración: tamaño de partícula (menor a 1000  $\mu\text{m}$ , mayor a 1000  $\mu\text{m}$ ), condición de partícula (tostado y sin tostar) y solvente (éter de petróleo o mezcla de éter de petróleo con etanol 1:1), en prensado en frío: presión de trabajo (200 bar, 250 bar) y contenido de humedad (7-8%, 10-11%). Los resultados con mejores rendimientos en promedio para soxhlet: partícula de menor tamaño con éter de petróleo (14.07%), para maceración: partícula de menor tamaño, tostadas con la mezcla de solventes (18.34%), para prensado en frío: mayor presión de trabajo y menor contenido de humedad (14.12%). En cuanto a las propiedades fisicoquímicas básicas en los tres métodos estudiados se encontró bajos índices de peróxido y de acidez; estimando un buen porcentaje de ácido oleico para soxhlet 24.94%, maceración 23.82% y prensando en frío 22.84%; en la longitud de onda de 550 nm se encuentran los pigmentos: carotenoides, clorofila y  $\alpha$ -feofitina presentes en el aceite de semilla de tuna.

*Palabras clave:* semillas de tuna, aceite, extracción, soxhlet, maceración, prensado en frío, rendimiento, propiedades fisicoquímicas.

## ABSTRACT

The present research has been carried out in order to give greater relevance to prickly pear seeds, analyzing the physicochemical properties of the extracted oil, given that the seeds are waste generated in the industrialization of the pulp. This research aimed to evaluate the extraction processes that present a higher yield in obtaining prickly pear seed oil (*Opuntia ficus-indica*), for which three extraction methods were carried out: soxhlet, maceration and cold pressing; of which 16 tests were carried out with their respective replicas. The independent variables were, in soxhlet: particle size (less than 1000  $\mu\text{m}$ , greater than 1000  $\mu\text{m}$ ) and solvent (ethanol or petroleum ether), in maceration: particle size (less than 1000  $\mu\text{m}$ , greater than 1000  $\mu\text{m}$ ), particle condition (roasted and unroasted) and solvent (petroleum ether or mixture of petroleum ether with ethanol 1:1), in cold pressing: working pressure (200 bar, 250 bar) and moisture content (7- 8%, 10-11%). The results with the best average yields for soxhlet: smaller particle size with petroleum ether (14.07%), for maceration: smaller particle size, roasted with the mixture of solvents (18.34%), for cold pressing: higher pressure work and lower moisture content (14.12%). Regarding the basic physicochemical properties in the three methods studied, low peroxide and acidity indices were found; estimating a good percentage of oleic acid for soxhlet 24.94%, maceration 23.82% and cold pressing 22.84%; At the wavelength of 550 nm are the pigments: carotenoids, chlorophyll and  $\alpha$ -pheophytin present in prickly pear seed oil.

Keywords: prickly pear seeds, oil, extraction, soxhlet, maceration, cold pressing, yield, physicochemical properties.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	67
CAPÍTULO I .....	69
1. GENERALIDADES .....	74
1.1. Planteamiento del Problema .....	79
1.2. Formulación del Problema.....	80
1.2.1. Problema General .....	85
1.2.2. Problemas Específicos .....	11
1.3. Justificación e Importancia.....	14
1.4. Objetivos de Investigación .....	14
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos .....	16
CAPÍTULO II.....	17
2. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de Estudio.....	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	26
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	28
2.2. Bases Teóricas .....	29
2.2.1. Lípidos .....	31
2.2.2. El Nopal y la tuna .....	32
2.2.2.1. Clasificación taxonómica y origen.....	34
2.2.2.2. Composición de la tuna.....	35
2.2.2.3. Variedades de tuna .....	36
2.2.3. Semillas de la tuna .....	36
2.2.4. Aceite de semilla de tuna .....	52
2.2.4.1. Características fisicoquímicas del aceite de tuna .....	53
2.2.4.2. Usos del aceite de las semillas de tuna.....	54
2.2.5. Métodos de extracción .....	54
2.2.5.1. Métodos de extracción por solventes .....	55
2.2.5.2. Método de extracción mecánica.....	56
2.3. Hipótesis .....	58

2.3.1.	Hipótesis General.....	59
2.3.2.	Hipótesis Específicas .....	60
2.4.	Variables.....	61
2.4.1.	Identificación de Variables .....	63
2.4.1.1.	Variable Independiente .....	65
2.4.1.2.	Variables Dependientes.....	65
2.4.1.3.	Variable Interviniente.....	66
2.4.2.	Operacionalización de Variables .....	68
CAPÍTULO III.....		70
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	71
3.1.	Metodología.....	72
3.1.1.	Enfoque de la investigación.....	73
3.1.2.	Alcance de la investigación .....	76
3.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	77
3.2.1.	Diseño factorial para la extracción de aceite por el método soxhlet.....	77
3.2.2.	Diseño factorial para la extracción de aceite por el método de maceración .....	78
3.2.3.	Diseño factorial para la extracción de aceite por el método de prensado en frío.....	79
3.2.4.	Muestra, reactivos, materiales, equipos e instrumentos.....	81
3.2.5.	Método experimental .....	82
3.2.5.1.	Obtención de la muestra.....	83
3.2.5.2.	Obtención y acondicionamiento de las semillas de tuna.....	84
3.2.5.3.	Caracterización fisicoquímica de las semillas de tuna .....	40
3.2.5.4.	Extracción de aceite por método soxhlet.....	40
3.2.5.5.	Extracción de aceite por método de maceración .....	42
3.2.5.6.	Extracción de aceite por método de prensado en frío .....	44
3.2.5.7.	Análisis del aceite de semillas de tuna.....	47
CAPÍTULO IV .....		52
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	52
4.1.	Composición fisicoquímica de la semilla de tuna .....	52
4.2.	Rendimiento, análisis estadístico y propiedades fisicoquímicas .....	52
4.2.1.	Método soxhlet .....	52
4.2.2.	Método de maceración.....	63
4.2.3.	Método de prensado en frío .....	75

CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	88
APÉNDICE.....	89
ANEXOS .....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	130

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Diferencia entre grasas y aceites.....	11
<b>Tabla 2</b> Peso relativo de los componentes de la tuna.....	14
<b>Tabla 3</b> Características de las variedades de tuna .....	14
<b>Tabla 4</b> Composición de minerales presentes en la semilla de tuna .....	15
<b>Tabla 5</b> Composición de vitaminas presentes en el aceite de la semilla de tuna .....	16
<b>Tabla 6</b> Composición de ácidos grasos del aceite de la semilla de tuna (g/100 g de ácido graso total) .....	17
<b>Tabla 7</b> Características fisicoquímicas del aceite de semillas de tuna .....	18
<b>Tabla 8</b> Propiedades físicas y químicas del éter de petróleo y etanol .....	23
<b>Tabla 9</b> Ventajas y desventajas del método de extracción soxhlet.....	26
<b>Tabla 10</b> Ventajas y desventajas del método de extracción por maceración .....	28
<b>Tabla 11</b> Ventajas y desventajas del método de extracción por prensa hidráulica .....	29
<b>Tabla 12</b> Identificación de variables .....	31
<b>Tabla 13</b> Análisis y operacionalización de variables .....	32
<b>Tabla 14</b> Matriz de diseño experimental para el método soxhlet.....	34
<b>Tabla 15</b> Matriz de diseño experimental para el método de maceración .....	35
<b>Tabla 16</b> Matriz de diseño experimental para el método por prensado en frío .....	36
<b>Tabla 17</b> Muestra, reactivos, materiales, equipos e instrumentos utilizados para los tres procesos de extracción.....	36
<b>Tabla 18</b> Análisis fisicoquímico de la semilla de tuna de la variedad morada .....	52
<b>Tabla 19</b> Resultados del rendimiento obtenidos por el método soxhlet.....	53
<b>Tabla 20</b> Prueba de normalidad para rendimiento para el método soxhlet .....	54
<b>Tabla 21</b> Pruebas de homogeneidad de varianzas para el método soxhlet.....	54
<b>Tabla 22</b> Análisis de varianza para el rendimiento utilizado para el método soxhlet .....	55
<b>Tabla 23</b> Efecto de las variables sobre el rendimiento para el método soxhlet.....	56
<b>Tabla 24</b> Resultados de la densidad y viscosidad del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet .....	58
<b>Tabla 25</b> Resultados del índice de peróxido e índice de refracción del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet.....	59
<b>Tabla 26</b> Resultados de la acidez libre y del índice de acidez del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet.....	60
<b>Tabla 27</b> Resultados del índice de color fotométrico del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet .....	61
<b>Tabla 28</b> Resultados del rendimiento obtenidos por el método de maceración .....	63
<b>Tabla 29</b> Prueba de normalidad para rendimiento para el método de maceración.....	65

<b>Tabla 30</b> Pruebas de homogeneidad de varianzas para el método de maceración .....	65
<b>Tabla 31</b> Análisis de varianza para el rendimiento utilizado para el método de maceración .....	66
<b>Tabla 32</b> Efectos de las variables sobre el rendimiento para el método de maceración .....	68
<b>Tabla 33</b> Resultados de la densidad y viscosidad del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración.....	70
<b>Tabla 34</b> Resultados del índice de peróxido e índice de refracción del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración .....	71
<b>Tabla 35</b> Resultados de la acidez libre y del índice de acidez del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración .....	72
<b>Tabla 36</b> Resultados del índice de color fotométrico del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración.....	73
<b>Tabla 37</b> Resultados del rendimiento obtenidos de la extracción por prensado en frío.....	76
<b>Tabla 38</b> Prueba de normalidad para rendimiento para el método prensado en frío.....	77
<b>Tabla 39</b> Pruebas de homogeneidad de varianzas para el método de prensado en frío.....	77
<b>Tabla 40</b> Análisis de varianza para el rendimiento utilizado para el método de prensado en frío.....	78
<b>Tabla 41</b> Efectos de las variables sobre el rendimiento para el método de prensado en frío .....	79
<b>Tabla 42</b> Resultados de la densidad y viscosidad del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de prensado en frío .....	81
<b>Tabla 43</b> Resultados del índice de peróxido e índice de refracción del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el de prensado en frío.....	82
<b>Tabla 44</b> Resultados de la acidez libre y del índice de acidez del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de prensado en frío.....	83
<b>Tabla 45</b> Resultados del índice de color fotométrico del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de prensado en frío .....	84

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b>	Planta de nopal .....	12
<b>Figura 2</b>	Anatomía de la semilla de la tuna.....	15
<b>Figura 3</b>	Esquema del equipo de extracción por el método soxhlet.....	24
<b>Figura 4</b>	Montaje del equipo de extracción por el método soxhlet.....	25
<b>Figura 5</b>	Muestra en proceso de maceración.....	27
<b>Figura 6</b>	Montaje de la prensa hidráulica invertida.....	29
<b>Figura 7</b>	Diagrama de bloques para la obtención de las semillas de tuna.....	39
<b>Figura 8</b>	Diagrama de bloques para el proceso de extracción por el método soxhlet.....	42
<b>Figura 9</b>	Diagrama de bloques para el proceso de extracción por el método de maceración .....	44
<b>Figura 10</b>	Diagrama de bloques para el proceso de extracción por el método de prensado en frío....	46
<b>Figura 11</b>	Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento utilizando el método soxhlet .....	56
<b>Figura 12</b>	Gráfica de efectos principales para el rendimiento el utilizando método soxhlet .....	57
<b>Figura 13</b>	Absorbancia vs longitud de onda para el método soxhlet .....	62
<b>Figura 14</b>	Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento utilizando el método maceración.	67
<b>Figura 15</b>	Gráfica de efectos principales para el rendimiento utilizando método maceración .....	69
<b>Figura 16</b>	Absorbancia vs longitud de onda para el método de maceración.....	74
<b>Figura 17</b>	Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento utilizando el método prensado en frío .....	79
<b>Figura 18</b>	Gráfica de efectos principales para el rendimiento utilizando método prensado en frío....	80
<b>Figura 19</b>	Absorbancia vs longitud de onda para el método de prensado en frío .....	85

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, la pulpa de la tuna se emplea como materia prima para la producción de diferentes productos envasados; sin embargo, aún no se da énfasis a la utilización de las cáscaras y semillas como fuentes alternativas para la generación de nuevos productos, siendo estas semillas materia prima para la obtención del aceite mediante diferentes métodos de extracción (Millán Salamán, 2007).

Para generar un desarrollo socioeconómico en el país, en los valles interandinos se pretende aumentar las plantaciones de nopal e incentivar la producción de tuna, aprovechando las semillas con el fin de obtener el aceite de tuna (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009).

En el mercado internacional, México es un buen productor de aceite de semillas de tuna, mientras que Marruecos es el mayor productor y exportador por tener empresas dedicadas a la manufactura de este producto (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

El aceite de semillas de tuna contiene un alto nivel de Vitamina E a diferencia de otros aceites empleados en la industria cosmética para el cuidado de la piel (Daya, 2021). Tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antialérgicas, así como la capacidad de restaurar, humectar y restablecer la elasticidad de la piel (Cevallos Camacho, 2018).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el rendimiento en la extracción de aceite de tuna obtenido mediante tres métodos y su caracterización fisicoquímica.

## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1. Planteamiento del Problema

El Perú es considerado uno de los principales productores de tuna (*Opuntia ficus-indica*) (Tridge, 2023), pero debido a la falta de uso y manejo de nuevas tecnologías propician que las cadenas productivas e industriales no puedan aprovechar toda la morfología del fruto (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

Si bien la tuna ha ido generando gradualmente un desarrollo económico aún no se aprovecha otras potencialidades que esta pueda ofrecer, nuestro país se beneficia a través del aprovechamiento de pigmentos extraídos de la cochinilla que habita en el nopal (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009), y del consumo del fruto del cual se produce: néctares, jaleas, mermeladas y otros (Landázuri, 2013).

Las semillas obtenidas de la industrialización de la pulpa, son consideradas como residuos sin valor; en la actualidad son pocas las investigaciones realizadas sobre este subproducto (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009).

#### 1.2. Formulación del Problema

##### 1.2.1. Problema General

¿Cuál de los procesos de extracción tiene mayor rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna (*Opuntia ficus-indica*)?

##### 1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el efecto de la granulometría de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet?
- ¿Cuál es el efecto del tipo de solvente, condición y granulometría de las semillas sobre el rendimiento del aceite extraído por el método maceración?
- ¿Cuál es el efecto de la presión de trabajo y el porcentaje de humedad de las semillas sobre el rendimiento del aceite extraído por el método prensado en frío?
- ¿Cuál de los tres métodos da mejor rendimiento y calidad en la extracción del aceite de semilla de tuna?

- ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas básicas de los aceites extraídos por los tres métodos?

### **1.3. Justificación e Importancia**

#### **Justificación económico - comercial**

Los principales productores de aceite de semilla de tuna son Marruecos y Túnez, estos son países importantes en el crecimiento del sector de la cosmética natural y de su papel en el desarrollo socioeconómico ya que se convirtieron en países líderes en la producción de aceite de semilla de tuna. Las asociaciones locales marroquíes y tunecinas venden el aceite de tuna en bruto a las empresas importadoras a precios que oscilan entre 250 y 350 dólares por litro, y estas empresas lo comercializan a nivel internacional, a veces hasta triplicar su costo de extracción; así, el aceite se exporta a diferentes países como: Estados Unidos, Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudí, España, Portugal, Alemania y Australia. En Latinoamérica, México es el mayor productor y exportador de aceite de semilla de tuna (Sierra y Selva exportadora, 2021).

#### **Justificación ambiental**

El nopal es una planta xerofítica que crece en zonas áridas - semiáridas y no requiere grandes cantidades de agua para su cultivo; es una especie que se adapta a diferentes tipos de suelo, lo que reduce la necesidad de utilizar fertilizantes y pesticidas (Millán Salamán, 2007). El cultivo de este fruto frena la desertificación e impide la erosión del suelo, consume CO<sub>2</sub> por las noches en grandes cantidades por lo que disminuye significativamente la contaminación del aire (Programa Nacional de Innovación Agraria, 2020).

La reducción de las pérdidas y el desperdicio (residuos) de alimentos forman parte de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO que busca promover la sustentabilidad alimentaria y ambiental (Preciado-Saldaña et al., 2022). Por tanto, una de las formas de aprovechar el subproducto (semillas) de la industria alimentaria, es a partir de la producción del aceite de semillas de tuna (Ayala Bendezú, 2008).

#### **Justificación social**

Para aprovechar los residuos (semillas) que se obtienen de la transformación de la tuna; es necesario incentivar la producción del nopal por las diferentes aplicaciones agroindustriales; de esta manera se busca fomentar un mayor cultivo del nopal, con el

objetivo de mejorar el desarrollo socio-económico de los productores y las comunidades locales (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009).

El aceite de semillas de tuna es una fuente rica en los omega-3 y los omega-6, estos ácidos pueden ayudar a reducir la cantidad de enfermedades cardiovasculares, mejorar la salud cerebral y fortalecer el sistema inmunológico. La presencia de antioxidantes y vitamina E proporcionan propiedades antiinflamatorias, cicatrizantes y analgésicas que se utiliza para tratar numerosos problemas de la piel. Además, se ha demostrado que este aceite tiene propiedades antidiabéticas y hepatoprotectoras (Cevallos Camacho, 2018).

### **Justificación técnica y tecnológica**

Técnicamente el proceso de extracción del aceite de semilla de tuna ha sido optimizado para garantizar la máxima calidad del producto final, utilizando la extracción por solventes para obtener mayores cantidades de aceite y la extracción mecánica para evitar la degradación de nutrientes y preservar la mayor cantidad de propiedades beneficiosas del aceite (Angarita Ruiz, 2019). Dentro de los principios activos encontrados en la tuna, se destacan sus ácidos grasos esenciales del aceite de esta semilla, destacándose ante otros aceites por sus propiedades benéficas. El aceite de semilla de tuna también se destaca por su versatilidad en la aplicación ya que puede ser utilizado tanto en la industria cosmética, farmacéutica como en la industria alimentaria (Cevallos Camacho, 2018).

La presente tesis coadyuva a realizar futuras investigaciones, de esta forma se busca aportar conocimiento teórico y experimental a la industrialización; impulsando la producción a nivel regional y nacional, para lograr un crecimiento en las exportaciones, contribuir en la cadena productiva e industrializar la fruta de la tuna.

## **1.4. Objetivos de Investigación**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar los procesos de extracción que tienen mayor rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna (*Opuntia ficus-indica*).

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de la granulometría de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet.
- Determinar el efecto de la granulometría, condición de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración.
- Determinar el efecto de la presión de trabajo y el porcentaje de humedad de las semillas sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío.
- Comparar el rendimiento y la calidad del aceite de semilla de tuna extraído por los tres métodos.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas básicas de los aceites extraídos por los tres métodos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de Estudio

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Masson Salaue (2012) en su tesis titulada **“Semillas de frutos nativos y cultivados en Chile: su aceite como fuente de compuestos funcionales”** notó la necesidad de generar información del contenido de grasa, calidad nutricional y su aporte de componentes bioactivos de las semillas y frutos; por tanto busca generar información sobre la composición de diez semillas de frutos nativos (tuna, zarzamora, chañar, chirimoya, espino, rosa mosqueta, papaya, avellana chilena, peumo y coquito de palma chilena) especialmente de la calidad de su aceite desde el punto de vista nutricional y aporte de compuestos bioactivos. Para el estudio del aceite de semillas de la tuna se obtuvieron cuatro lotes de frutos de tuna, el contenido de materia grasa se determinó por extracción soxhlet con éter de petróleo a 40-60 °C empleando semillas secas y molidas. Los resultados obtenidos demuestran que el aceite de la semilla de tuna tuvo un rendimiento del 5.4%, el cual se caracteriza por ser preferentemente poliinsaturado con un promedio de 61% de ácido linoléico, 14.53% de ácido oleico, 12.43% de ácido palmítico, representando una buena fuente de este ácido graso esencial. Se concluye que el ácido linoleico está en mayor porcentaje, las especies de triglicérido presentes en el aceite de semilla de tuna son trilinoleína y oleildilinoleína; por lo tanto, representa una buena fuente de este ácido graso esencial ante las demás semillas evaluadas.

Al-Naqeb (2015) en su investigación titulada **“Efecto del aceite de semillas de nopal sobre el nivel de glucosa en sangre de ratas diabéticas inducidas por estreptozotocina y sus mecanismos moleculares”**, investigó el efecto hipoglucemiante del aceite de semillas de nopal. Para lo cual se utilizaron semillas de nopal que se molieron usando un molinillo eléctrico y se pasaron a través de un tamiz de 35 mm. Las muestras homogeneizadas y molidas se remojaron durante la noche en tres disolventes diferentes 1:5 (p/v): n-hexano, éter de petróleo y cloroformo-metanol (2:1 v/v) a temperatura ambiente y cubiertas con papel aluminio. Las mezclas se filtraron a través de un papel filtro. El procedimiento de extracción se repitió dos veces y el disolvente se eliminó usando un evaporador rotatorio a 50 °C y 90 rpm. Los resultados del rendimiento de aceite extraído con cloroformo: metanol produjo un rendimiento de 7.76 %, hexano 5.0 % y éter de petróleo

6.1 %. Por otro lado, los ácidos grasos insaturados tuvieron el mayor contenido de ácidos grasos, representando hasta 80.9 en el aceite. Sin embargo, los principales ácidos grasos insaturados fueron el ácido oleico (22.30 %) y el ácido linoleico (57.5 %). Mientras que, los principales ácidos grasos saturados fueron el ácido palmítico y el ácido esteárico. Por tanto, se concluye que el aceite de nopal es beneficioso para mejorar la hiperglucemia al aumentar la expresión genética del hígado.

Ramírez-Moreno et al. (2017) en su investigación titulada **“Propiedades antioxidantes y antimicrobianas de los aceites de semilla de nopal (*Opuntia ficus-indica*)”** evaluó la actividad antimicrobiana del aceite de semilla con mayor actividad antioxidante, a través de la extracción por maceración del aceite de semillas de dos variedades mexicanas de tuna con diferentes solventes. Para el estudio se emplearon semillas de nopal de fruto verde (*cv.* Reyna-GCPS) y rojo (*cv.* Rojo Pelón-RCPS) secas, molidas y tamizadas en malla de 1 mm de diámetro. Para la extracción del aceite se emplearon 25 g de semillas en polvo que se mezclaron con 500 ml de solventes de polaridad variable hexano, etanol o acetato de etilo. Todos los extractos se filtraron a través de papel de filtración y los extractos filtrados se recolectaron para su posterior secado y eliminación del solvente restante a 50°C usando un evaporador rotatorio. Todos los extractos se colocaron en botellas de plástico y luego se almacenaron a -20 °C hasta su uso. Los resultados de los rendimientos demostraron que la extracción de aceite con hexano fue poco mayor 11.83%, seguido del etanol que alcanzó un rendimiento del 10.13% para GCPS y 5.11% para RCPS, el acetato de etilo fue el disolvente menos eficaz. Finalmente se concluye que el aceite de semilla de tuna verde obtenido con etanol y acetato de etilo mostró mayor actividad antioxidante en comparación con el aceite de semilla de tuna roja, estos extractos de aceite de ambas variedades tienen una gran actividad antimicrobiana notable.

Regalado Rentería et al. (2018) en su estudio titulado **“Evaluación de los métodos de extracción y el valor biológico del aceite de semilla de ocho variantes de frutos de higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)”** observó que cada año se produce una gran cantidad de tuna en México; dejando una gran cantidad de residuos, entre ellos las semillas. Por lo tanto, uno de sus objetivos fue identificar y cuantificar los ácidos grasos presentes en las semillas de ocho variantes regionales de tuna, para estimar el rendimiento de aceite extraído a través de dos métodos: maceración-percolación (MP) y prensado en frío (CP). Para la extracción de aceite con prensado en frío, se envasan 100 g de semillas en un cilindro perforado (diámetro del orificio = 5 mm, longitud = 17 cm, diámetro = 6.5 cm) y se ajusta

con un pistón sólido, ambos son de acero inoxidable, con una prensa hidráulica se aplica 20 toneladas de fuerza de compresión al pistón. Para la extracción del aceite por maceración-percolación se trituraron semillas de higo chumbo, se acondicionaron en una columna de percolación, se agregó n-hexano como fase móvil y se dejó en maceración por 24 horas. Los resultados muestran que el rendimiento de aceite del método MP es 6.16% (Pico chulo) y 15.5 % (Rojo tapón), mientras que el rendimiento de aceite del método CP es 0.51% (variedad charola) y 6.68 % (Rojo tapón). En cambio, en el análisis de aceite de ocho variantes predomina el ácido linoleico (664.5-761.0 y 605.4-787.8 mg/g), seguido del ácido oleico (92.7-198.8 y 115.2-199.4 mg/g) y ácido palmítico (25.6-56.2 y 2,9-6.1 mg/g) para CP y MP respectivamente. Así, los autores señalan que este aceite se puede utilizar no solo como suplemento dietético, sino también como ingrediente en cosméticos y medicamentos.

Nounah et al. (2021) en su investigación titulada **“Efecto del tiempo de tostado de las semillas sobre las propiedades fisicoquímicas, la estabilidad oxidativa y la actividad antioxidante del aceite de semilla de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.)”** evaluaron las propiedades fisicoquímicas, la composición química, la actividad antioxidante y la estabilidad oxidativa del aceite de semilla de tuna preparado a partir de semillas sin tostar y se compararon con las del aceite preparado a partir de semillas tostadas en: 10, 20, 30 y 40 minutos. Los resultados mostraron que el tiempo de tostado prolongado no tuvo una influencia significativa sobre el contenido de proteína de las semillas; sin embargo, se observó que si hubo un aumento en los compuestos fenólicos totales después de 40 minutos de tostado a 110 °C. En consecuencia, se encontró un aumento en el poder antioxidante que inducirá una mejor resistencia a la oxidación. No se observaron cambios significativos en la composición de triacilglicéridos y ácidos grasos, mientras que los niveles de tocoferol y esteroides aumentaron. La estabilidad oxidativa aumentó notablemente de 3,1 a 7,6 horas después de 40 minutos de tueste. En conclusión, el estudio reveló que las semillas de tuna y el aceite resultante tienen excelentes cualidades nutricionales que se elevaron significativamente después del tostado.

Ettalibi et al. (2021) en su estudio titulado **“Evaluación comparativa de las características físicas y químicas del aceite de semilla de tuna de las variedades *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia megacantha*”**, informó que al caracterizar la composición química de esta planta se puede iniciar nuevas vías para aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y cosméticas. Por lo cual, examinó los parámetros físicos y químicos de los

aceites de semillas de frutos de dos especies de tuna de la zona de Rhamna-Marruecos: *Opuntia ficus-indica* (OFI), representada por las variedades “Safra” con pulpa de color amarillo anaranjado y “Aakria” con pulpa de color rojo carmín y *Opuntia megacantha* (OM), representada por la variedad “Derbana”. Para la extracción se recolectaron 45 g de semilla en polvo de cada variedad; luego, los aceites se extrajeron con hexano utilizando un sistema de extracción soxhlet durante 6 h a 65 °C. Los resultados del rendimiento de los aceites de semillas de las variedades OFI (“Safra” y “Aakria”) y OM (“Derbana”) fueron 8,09%, 8,74% y 8,04% respectivamente. La evaluación del contenido de pigmentos en los aceites obtenidos de las tres variedades estudiadas, reveló que hubo mayor contenido de  $\alpha$ -feofitina y carotenoides en comparación al de la clorofila. Se concluye que el aceite de la variedad “Aakria” se distinguió por tener el mayor contenido de  $\alpha$ -feofitina y clorofila. Por lo tanto, este estudio confirmó que estos aceites pueden ser un recurso interesante para desarrollar productos para la piel, destacando la importancia del aceite de semilla de tuna como una alternativa potencial a los aceites cosméticos comerciales existentes.

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Vilcarromero Chávez (2020) en su tesis “**Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas de aceites provenientes de Chía (*Salvia hispánica L.*), Linaza (*Linum usitatissimum*) y Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*)**”, debido a la creciente demanda del uso de grasas y aceites vegetales se ha generado un desarrollo en especies de plantas que contengan alta proporción de ácidos grasos. El cual conlleva como objetivo comparar las propiedades de aceites provenientes de chía, linaza y sachá inchi. Mediante el método soxhlet con arrastre de solvente orgánico se usa éter de petróleo y etanol para realizar la extracción del aceite de las semillas. Los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza para determinar las posibles diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas entre los aceites investigados al nivel de  $p < 0,05$ ; el rendimiento en el aceite de chía fue de 23,7% usando etanol; en el de linaza fue de 26,8% y para sachá inchi fue de 34,4%, usando éter de petróleo, referente a la densidad, los aceites muestran valores aproximados de 0,9 g/ml, el índice de refracción en los tres aceites en promedio fueron 1,48; los valores de saponificación reportados son mayores a 118,6 mg KOH/g; y peróxido estuvieron entre 1,9 a 2,6 meq de  $O_2$ /kg de aceite. En cuanto al uso de solventes, se concluye que utilizando etanol se logra una mayor producción a partir de las semillas de chía, mientras que usando éter de petróleo se obtiene un mayor rendimiento en

la obtención de aceite en las semillas de linaza y sachá inchi; también que el solvente y el tipo de semilla tienen efecto significativo en el rendimiento, índice de acidez y refracción de los aceites obtenidos.

Millones Isique (2020) en su investigación **“Efecto de la temperatura del tostado sobre el rendimiento del aceite obtenido a partir de las semillas de zapallo sin cáscara (*Cucurbita maxima*)”** busca el aprovechamiento de las semillas de zapallo con la extracción de su aceite. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la temperatura de tostado sobre el rendimiento del aceite obtenido de las semillas de zapallo sin cáscara. Las semillas fueron seleccionadas, lavadas, secadas, tostadas convencionalmente a temperaturas promedio de 100, 110 y 120 °C por un tiempo de 10 minutos y descascarilladas, acondicionadas mediante la reducción de tamaño; la extracción con el método Soxhlet fue con éter de petróleo, en una relación de semillas sin cáscara molidas/éter de petróleo (1/10) para cada tratamiento. El rendimiento del aceite de semillas de zapallo para cada tratamiento fue de 24.23%, 25.85% y 26.91% respectivamente. Los análisis químicos realizados dieron como resultado: índice de acidez 1.61, 2.38 y 2.36 % de ácido oleico, índice de peróxidos 8.9, 11.9 y 13.2 meq de O<sub>2</sub>/Kg respectivamente. Se concluye que, el efecto de la temperatura de tostado influye positivamente aumentando el rendimiento en la extracción, a la temperatura de tostado de 100 °C no se ve afectada la estabilidad oxidativa del aceite; sin embargo, al emplear temperaturas mayores a 100 °C la calidad del aceite disminuye.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Lípidos

Son denominados como grasas en su estado sólido y aceites cuando se encuentran líquidos a temperatura ambiente; sin embargo, con frecuencia, se usa el término grasas para referirse en general a los lípidos (Cabezas Zábala et al.,2016).

Para Díaz Velásquez et al. (2020) los lípidos hacen parte del grupo de macromoléculas, son ácidos grasos carboxílicos de cadena larga con un único grupo carboxílico y una cola hidrocarbonada. Se diferencian unos de otros por la longitud de la cadena, el número y la posición de sus enlaces dobles. Teniendo funciones como: almacenar gran cantidad de energía, ser constituyentes de membranas biológicas y dar protección mecánica en algunas partes del cuerpo.

#### Grasas y aceites

Las grasas están formadas por mezclas de triacilgliceroles que contienen un mayor número de saturaciones que de insaturaciones, lo que les confiere un mayor punto de fusión. Del mismo modo, los aceites, por tener un mayor número de insaturaciones, tienen un punto de fusión más bajo (Nunes, 2013). Las principales diferencias entre grasas y aceites se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Diferencia entre grasas y aceites*

Parámetros	Grasas	Aceites
Forma	Son sólidos a temperatura ambiente	Son líquidos a temperatura ambiente
Tipos	Grasas saturadas y grasas trans	Aceites monoinsaturados y aceites poliinsaturados
Fuente	En su mayoría derivados de animales	En su mayoría derivados de plantas.
Efecto en el cuerpo	Aumenta los niveles de colesterol	No aumenta los niveles de colesterol.
Origen	Se obtienen de los alimentos de origen animal pero también se pueden obtener del aceite vegetal mediante el proceso de hidrogenación	Se obtienen de plantas o pescado
Solubilidad	No se disuelve con agua	No se disuelve con agua
Ejemplo	Mantequilla, grasa de res	Aceite vegetal, aceite de pescado

Fuente: (Toppr, 2022)

### 2.2.2. El Nopal y la tuna

#### El nopal

El nopal es una planta suculenta y arborescente, se desarrolla bien hasta los 2000 metros de altura, se propaga vegetativamente por pencas y semilla. El fruto es una baya globosa, cilíndrica, de color verde cuando es tierna y después se torna blanco-verdoso, amarilla-rojiza hasta violácea. Las raíces del nopal son de desarrollo rápido y superficial, forman una red o malla que aprisiona el suelo evitando la erosión en aquellos lugares de fuerte pendiente y lluvias (Millán Salamán, 2007).

Algunas de las principales regiones del país que realizan cultivos de nopal en mayor producción son: Ayacucho, Cusco, Huancavelica y Apurímac (Sierra y Selva exportadora, 2021). La Figura 1 representa el cultivo de nopal en la región del Cusco.

#### Figura 1

*Planta de nopal*



El nopal es una cactácea que engloba a la penca, espinas, flor y su fruto es llamado comúnmente como tuna (Denopal, 2022).

Es una planta xerofítica que crece bien en terrenos pobres y escasos de agua, temperaturas entre 16° y 26° C y humedad relativa entre 55 y 85%. La producción de fruta se ve favorecida con una buena oscilación de temperatura del día a la noche y buena iluminación durante el día. La acumulación de los azúcares depende de las condiciones climáticas, siendo este un indicador de madurez. El exceso de humedad en el suelo reduce su producción, por lo tanto, se requiere de suelos con pH alcalino, ya que en terrenos húmedos y arcillosos no es favorable (Millán Salamán, 2007).

### **La tuna (*Opuntia ficus-indica*)**

Es originaria de América Latina y posee una gran variabilidad; desde Canadá hasta Tierra de Fuego (Argentina – Chile) se han reportado algo más de 300 especies. (Almanza & Fischer, 2012). Los frutos del nopal llamados cactus, higo chumbo o tunas, son bayas de forma ovalada con gloquidios (espinas foliares delgadas) que cubren una pulpa jugosa en su interior. Las frutas varían considerablemente en color, tamaño; por lo general crecen hasta alrededor de 2 a 3 pulgadas de largo dependiendo de la variedad (Wilson et al., 2019).

#### **2.2.2.1. Clasificación taxonómica y origen**

Según Gerencia Regional Agraria La Libertad (2009) la clasificación taxonómica de la tuna es la siguiente:

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Caryophyllales

**Familia:** Cactaceae

**Subfamilia:** Opuntioideae

**Género:** *Opuntia*

**Especie:** *ficus-indica*

**Nombre binomial:** *Opuntia ficus-indica*

**Nombre Común:** Tuna

El centro de origen se encuentra en la cima oeste de los Andes del Perú y Bolivia, y en la Meseta Central de México, de estos lugares se ha esparcido el cultivo a otros países, especialmente España, Italia y Australia (Sierra y Selva exportadora, 2021).

#### **2.2.2.2. Composición de la tuna**

La tuna se caracteriza por tener una pulpa carnosa y jugosa junto a numerosas semillas, rodeadas por una cáscara gruesa con pequeñas espinas (Manzur Valdespino, 2017), el peso proporcional aproximado del fruto se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2***Peso relativo de los componentes de la tuna*

Componentes	Peso Relativo (%)
Pulpa	28-58
Cáscara	37-67
Semillas	2-10

Fuente: (Manzur Valdespino, 2017)

**2.2.2.3. Variedades de tuna**

Para Huaranga Alvaro (2014) las variedades de tuna existentes en el Perú, se diferencian por la coloración del fruto, la Tabla 3 muestra las características de las variedades de tuna.

**Tabla 3***Características de las variedades de tuna*

Variedades	Altura de planta	Características
Blanca	1.50-2.50 m	-Buena consistencia, jugosa y aromática. -De color verde cristalino, contiene pocas semillas. -Recomendable para la infestación de Cochinilla del Carmín.
Amarilla	2.00-3.00 m	-De pulpa amarilla, jugosa, dulce, con bastantes semillas. -Es la mejor para la producción de Cochinilla del Carmín.
Morada	2.00-3.00 m	-Fruto de forma alargada, cáscara delicada. -Pulpa jugosa y dulce que varía de rojo claro a oscuro. -Preferible por la cantidad de antioxidantes. -Con gran cantidad de semillas.
Colorada	1.80-2.50 m	-Fruto grande, de cáscara delgada. -Pulpa que varía de anaranjado a rojo, arenoso. -Buena cantidad de semillas.

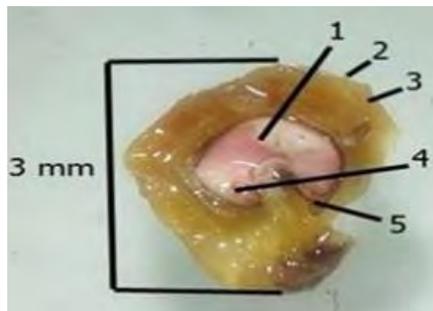
Fuente: (Huaranga Alvaro, 2014 &amp; Salas, 2020)

**2.2.3. Semillas de la tuna**

Álvares Castillo (2016) detalla que la semilla de tuna está formada por cinco partes: Embrión (1), Testa (2), Tegmen (3), Plúmula (4) y Radícula (5). La Figura 2 muestra la anatomía de la semilla de tuna.

## Figura 2

### *Anatomía de la semilla de la tuna*



Fuente: (Álvares Castillo, 2016)

Las semillas de la tuna tienen forma de lente o elipsoidales, de 4 a 5 mm de largo por 3 a 4 mm de ancho, y un espesor que varía de 1 a 2 mm (Blanco, 2019).

Estas constituyen alrededor del 10 a 15% de la pulpa comestible y generalmente se descartan como desperdicio después de la extracción de la pulpa (Ramadan & Mörsel, 2003).

### **Compuestos presentes en la semilla de tuna**

#### **a) Minerales**

Algunos minerales como Mg, K y Zn cumplen funciones importantes en la piel, actúan como catalizadores en los mecanismos de defensa y reparación de la misma. Son indispensables en la renovación celular y la estimulación cutánea (Cevallos Camacho, 2018). La Tabla 4 muestra la composición de los minerales presentes en la semilla de tuna.

**Tabla 4**

*Composición de minerales presentes en la semilla de tuna*

<b>Elemento</b>	<b>Semilla</b>
Minerales (mg/ 100 g)	
Na	14.09 ± 0.17
Mg	427.35 ± 76.17
K	214.36 ± 18.93
Oligoelementos esenciales (mg/kg)	
Mn	1.56 ± 0.06
Fe	4.99 ± 0.35
Cu	0.46 ± 0.12
Zn	31.58 ± 3.60

Fuente: (Albergamo, et al, 2022)

## b) Vitaminas

Para Ramírez Ortíz, (2017), las semillas de tuna contienen Vitamina K<sub>1</sub> (Filoquinona) y Vitamina E siendo ambas liposolubles. La Tabla 5 indica la composición de las vitaminas presentes en la semilla de tuna.

**Tabla 5**

*Composición de vitaminas presentes en el aceite de la semilla de tuna*

<b>Vitamina</b>	<b>Cantidad (mg/100g)</b>
Vitamina E	40.30 ± 4.00
Vitamina K <sub>1</sub>	52.50 ± 6.00

Fuente: (Silva, et al, 2021)

El aceite de semilla de este fruto contiene flavonoides y un alto nivel en tocoferoles (Vitamina E) en comparación a otros aceites disponibles en la industria de productos para el cuidado de la piel y el cabello, debido sus propiedades antioxidantes (Daya, 2021).

El aceite de tuna, contiene vitamina K, que ayuda a iluminar las áreas de hiperpigmentación, como las manchas oscuras, además de ser beneficioso para las ojeras (Daya, 2021).

## c) Compuestos bioactivos

- **Ácidos grasos**

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos monocarboxílicos que tienen una estructura de cadena lineal anfipática con un extremo polar “carboxilo” y una cadena apolar que finaliza con un grupo metilo (Argüeso Armesto et al., 2011).

En la Tabla 6 se muestran los ácidos grasos presentes en la semilla de la tuna, predominando el ácido linoléico en todas las variedades de tuna.

**Tabla 6**

*Composición de ácidos grasos del aceite de la semilla de tuna (g/100 g de ácido graso total)*

Ácido Graso	Nombre	Distribución relativa
C16:0	ácido palmítico	17.32 <sup>a</sup> ; 22.419 <sup>a</sup> ; 10.08 <sup>b</sup>
C18:0	ácido esteárico	3.49-2.97 <sup>b</sup>
C18:1n9	ácido oléico	17.6-25.3 <sup>c</sup> ; 12.8-17.0 <sup>d</sup> ; 12.92 <sup>b</sup>
C18:2n6	ácido linoléico	54.03-55.81 <sup>b</sup>
C18:3n3	ácido linolénico	0.63-0.24 <sup>b</sup>

Fuente: (<sup>a</sup>Kadda et al., 2022; <sup>b</sup>Brahmi et al., 2020; <sup>c</sup>Yeddes Chérif et al., 2012 & <sup>d</sup>Regalado Rentería et al., 2018)

El aceite de las semillas es rico en ácidos grasos insaturados cerca del 83% entre los cuales se incluye al ácido graso monoinsaturado (oléico) y ácidos grasos poliinsaturados (linoléico), también contienen ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico) (Ramírez Ortiz, 2017).

El aceite de semilla de tuna tiene un alto contenido de ácidos grasos esenciales que ayudan a calmar la inflamación y el enrojecimiento, especialmente en las personas propensas a la rosácea. El aceite se absorbe fácilmente en la piel y penetra rápidamente sin dejar ningún residuo graso. El perfil de ácidos grasos del ácido linoléico y el ácido oleico repone los lípidos perdidos dentro de la piel, lo que ayuda a hidratar y restaurar la elasticidad de la piel (Daya, 2021).

- **Aminoácidos**

Según Ramírez Ortiz (2017) los aminoácidos presentes en la semilla de la tuna son el ácido glutámico está presente en mayor cantidad con 21.68 mg/100 g, seguido del ácido aspártico con 10.42 mg/100 g.

El Ministerio de Producción y Trabajo, (2015) señala que el contenido de proteínas alcanza el 1% en la fruta de la tuna, destacándose entre sus aminoácidos con un alto contenido relativo de taurina, ésta es importante por sus propiedades antioxidantes debido a que participa en la protección frente al daño celular, este aminoácido no es común encontrar en la mayoría de plantas (Castillo Peralta, 2014).

### 2.2.4. Aceite de semilla de tuna

El aceite de semilla de tuna contiene altos valores de nutrientes importantes que hacen del aceite de *Opuntia ficus-indica* un excelente candidato para su inclusión en alimentos y productos saludables. Los ácidos grasos insaturados son el principal componente del aceite, representando hasta el 80.9%. Sin embargo, los principales ácidos grasos insaturados son los ácidos linoleico y oleico (Al-Naqeb et al., 2021).

Es fuente de alimento, pero también origen de productos y subproductos para uso industrial, médico y cosmético (Cevallos Camacho, 2018).

#### 2.2.4.1. Características fisicoquímicas del aceite de tuna

El contenido de aceite en las semillas de tuna es bajo en comparación con otras semillas y el aceite extraído se vende principalmente en el mercado cosmético debido a su alto costo y lento proceso de producción. Los análisis de las propiedades físicas y químicas del aceite de semilla de tuna de la Tabla 7 demostraron que es comestible y apto para el consumo humano (Al-Naqeb et al., 2021).

**Tabla 7**

*Características fisicoquímicas del aceite de semillas de tuna*

Parámetros	Características		
	soxhlet	maceración	prensado en frío
Estado físico a temperatura ambiente	Líquido <sup>e</sup>	Líquido <sup>e</sup>	Líquido <sup>e</sup>
Color	Amarillo verdoso <sup>e</sup>	Amarillo verdoso <sup>e</sup>	Amarillo verdoso <sup>e</sup>
Olor	Ligeramente afrutado <sup>e</sup>	Ligeramente afrutado <sup>e</sup>	Ligeramente afrutado <sup>e</sup>
Propiedad	Aceite seco <sup>e</sup>	Aceite seco <sup>e</sup>	Aceite seco <sup>e</sup>
Densidad a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0.907 <sup>f</sup>	0.919 <sup>a</sup>	0.941 <sup>j</sup>
Viscosidad a 20°C (mPa.s)	53 <sup>g</sup>	49 <sup>g</sup>	46 <sup>c</sup>
Índice de Peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg de aceite)	2.13 <sup>f</sup> - 6.0 <sup>a</sup>	5.97 <sup>a</sup>	12.0 <sup>b</sup>
Índice de Refracción a 20°C	1.4596 <sup>h</sup>	1.4760 <sup>a</sup>	1.473 <sup>i</sup>
Índice de Acidez (g/100 g)	5.854 <sup>a</sup>	5.667 <sup>a</sup>	1.952 <sup>j</sup>

Fuente: (<sup>a</sup>Kadda et al., 2022; <sup>b</sup>Brahmi et al., 2020; <sup>c</sup>Al-Naqeb et al., 2021; <sup>f</sup>Musa Özcan y Al Juhaimi, 2011; <sup>g</sup>Ennouri et al., 2005; <sup>h</sup>Sawaya y Khan, 1982; <sup>i</sup>Masmoudia et al., 2021 & <sup>j</sup>Khémiri y Bitri, 2019)

### **a) Rendimiento**

Es rendimiento porcentual sirve para medir la efectividad de un procedimiento de síntesis (Paredes Punina y Quinatoa Chicaiza, 2010).

El rendimiento de los aceites se define como la relación en gramos de aceite obtenido con respecto a la cantidad en gramos de material vegetal utilizado (Ovares Rodríguez, 2016).

### **b) Densidad**

La densidad de una sustancia, es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen (Sánchez Paz y Figueroa Barrera 2013).

A medida que aumenta la temperatura, la densidad del aceite o la grasa disminuye, debido a que el aceite y la grasa son más livianos que el agua (Leonardo Ramos y Veliz Gutarate, 2022).

### **c) Viscosidad**

Es una medida de la fricción interna entre moléculas. En general la viscosidad de los aceites desciende ligeramente con un incremento en la insaturación, por lo tanto, la viscosidad resulta incrementada ligeramente por la hidrogenación. Los aceites que contienen una gran proporción de ácidos grasos de peso molecular relativamente bajos son ligeramente menos viscosos que los de un grado de insaturación equivalente pero que contiene una proporción más elevada de ácidos grasos de elevado peso molecular. La viscosidad de los aceites altamente polimerizados es mucho más elevada que los aceites normales (Pérez Romero, 2008).

### **d) Índice de peróxidos**

Se define como los miliequivalentes de peróxido por 1000 g de muestra, que oxida el yoduro de potasio bajo las condiciones del ensayo. Para determinar el índice de peróxidos, se utiliza la cantidad calculada de yoduro de potasio necesaria para reaccionar con los peróxidos presentes (Acosta Gonzales y Torres Tintaya, 2015).

El índice de peróxido determina, que cuanto menor sea el nivel de peróxidos mayor es la calidad del aceite ya que el proceso de oxidación es negativo para el mismo y a largo plazo lleva a que los aceites se vuelvan rancios (Ortega, 2018).

### e) Índice de refracción

El índice de Refracción (IR) está relacionado con el grado de saturación y se define como la relación entre la velocidad de la luz en el aire y la velocidad de la luz en el aceite. El IR disminuye linealmente conforme disminuye el índice de yodo. Se utiliza también como una medida de la pureza y como un medio de identificación, debido a que cada sustancia presenta un IR característico (Florián García, 2014).

### f) Índice de acidez

- Índice de Acidez (%IA):

El índice de acidez se define como los miligramos de hidróxido de sodio necesarios para neutralizar los ácidos libres presentes en un gramo de aceite. (Florián García, 2014)

Cuanto mayor sea el índice de acidez y el contenido de ácidos grasos libres, menor será la calidad del aceite. El índice de acidez aumenta adicionalmente con la edad de un aceite ya que los triglicéridos se descomponen en ácidos grasos y glicerol como efecto del tiempo (Metrohm, 2020).

- Acidez libre (AL) o grado de acidez (GA):

Son los ácidos grasos libres contenidos en el aceite, que puede expresarse generalmente como porcentaje (Kirk et al.,2011).

Para convertir el porcentaje de acidez libre (como oleico) a índice de acidez se multiplica 1.99 (Anexo 5) y con el factor de conversión a porcentaje de AL (Rivera et al., 2022).

### g) Color

El color es una percepción de la visión a distintas longitudes de onda, que se produce cuando la luz incide sobre un objeto y es reflejada o absorbida por éste. Estas ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y los 700 nanómetros (De los Santos, 2010).

Florián García (2014) indica que los aceites y las grasas de diferentes procedencias difieren en su color, pero si el aceite refinado es más oscuro de lo esperado esto es señal de un refinado inadecuado. El método espectrofotométrico permite medir el color de las grasas y los aceites.

- **Pigmentos presentes en el aceite de semillas de tuna**

Los pigmentos presentes en el aceite de semilla de tuna son: carotenoides, clorofila y  $\alpha$ -feofitina. Los carotenoides se analizaron a longitudes de onda de 460 nm y 550 nm, y las de clorofila y  $\alpha$ -feofitina a 620 nm y 670 nm (Ettalibi et al., 2021). Estos pigmentos son parámetros importantes para determinar su calidad, ya que están involucrados en los mecanismos de autooxidación y fotooxidación (Bermejo Román, 2015).

Bermejo Román. (2015), considera que los factores que influyen en la presencia de pigmentos en el aceite de semilla de tuna son: factores agronómicos (variedad de tuna, estado de maduración del fruto, condiciones de cultivo, época de recolección, riego, plagas y enfermedades) y factores tecnológicos (condiciones de molienda, extracción y conservación).

**a) Carotenoides:**

Los carotenoides son moléculas liposolubles presentes en todos los organismos fotosintéticos, estos pigmentos presentan importantes propiedades como colorantes, antioxidantes. La cantidad de carotenoides en el aceite pueden influir en su color que va del amarillo al rojo (Bermejo Román, 2015).

**b) Clorofila y  $\alpha$ -feofitina:**

Las clorofilas y feofitinas tienen un efecto prooxidante sobre los lípidos en presencia de la luz, mientras que en la oscuridad actúan como antioxidantes. Por ello, el aceite de semilla de tuna, debe ser protegido de la luz durante su almacenamiento para minimizar los efectos de la oxidación, estos pigmentos son los responsables del color verde (Bermejo Román, 2015).

#### **2.2.4.2. Usos del aceite de las semillas de tuna**

Además de sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antialérgicas, tiene numerosos beneficios como: absorción rápida, restauración, humectación y cierra los poros de la piel; previene líneas de expresión, envejecimiento prematuro de la piel, protege de radicales libres y reduce las manchas de la piel ocasionadas por el sol (Cevallos Camacho, 2018).

#### **2.2.5. Métodos de extracción**

Las tecnologías tradicionales relacionadas con el procesamiento de aceites son de gran importancia y todavía se utilizan en muchas partes del mundo. En la industria se han

empleado diversos mecanismos de extracción, los cuales pueden ser físicos o químicos; la aplicación de cada uno de los métodos depende estrictamente del tipo de material vegetal, de la estabilidad del aceite contenido en ella y de las facilidades operacionales con las cuales se cuentan (Angarita Ruiz, 2019).

#### **a) Solventes**

Un solvente orgánico es un compuesto químico que contiene carbono y se utiliza para disolver otras sustancias como pinturas, barnices, grasa y aceite. Estos se caracterizan por ser volátiles lo cual significa que son disolventes que se evaporan a temperatura y presión ambiental generando vapores. De manera simple se puede definir un solvente como un material (generalmente es líquido) que tiene la capacidad de disolver a otro formando una solución (Mora Barrantes et al., 2022).

#### **b) Tamaño de partícula**

Se ha verificado que la mayor parte del aceite fácilmente extraíble proviene de las células que se rompen durante la operación de trituración, mientras que la fracción más difícil de extraer proviene de las células enteras (Benavente Calizaya, 2019).

#### **c) Tostación**

El tostado es un tratamiento térmico que tiene un fuerte impacto en la calidad de los alimentos en cuanto a sabor, color, textura, apariencia y también en su composición. Por un lado, destruye microorganismos no deseados e inactiva enzimas que promueven el deterioro del producto durante el almacenamiento, pero también es responsable de la formación de compuestos antioxidantes formados durante las reacciones (Nounah et al., 2021)

#### **d) Humedad**

La mayoría de los productos naturales pueden contener cierta cantidad de agua y los aceites no son una excepción. Pueden absorber humedad en el mismo almacenamiento, por lo que es casi imposible mantener seco el producto (Leonardo Ramos y Veliz Gutarate, 2022).

#### **2.2.5.1. Métodos de extracción por solventes**

Para Hayqui Betancurt (2016) la extracción con solvente es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceite vegetal y puede extraer el contenido de aceite de las semillas hasta poco más en comparación a otros métodos convencionales.

De acuerdo a Florián García (2014) para el proceso de extracción con solvente, la semilla pre-tratada se somete a la acción de un solvente para extraer el aceite. Existen dos tipos de solventes que permiten la extracción del aceite, tales como:

- Solvente polar: Es una sustancia cuya molécula presenta un polo positivo y otro negativo separados por una cierta distancia. Ejemplo: agua, etanol y ácido acético, acetona, tetrahidrofurano.
- Solvente no polar: Es una sustancia orgánica que carece de polo positivo y negativo en sus moléculas. Algunos solventes de este tipo son el dietil éter, cloroformo, benceno, tolueno, xileno, cetonas, hexano, éter de petróleo, ciclohexano, tetracloruro de carbono (Florián García, 2014).

La Tabla 8 describe las propiedades físicas y termodinámicas de los solventes a utilizar en esta investigación en los métodos soxhlet y maceración.

**Tabla 8**

*Propiedades físicas y químicas del éter de petróleo y etanol*

<b>Propiedades físicas y químicas</b>	<b>Éter de petróleo</b>	<b>Etanol 96°</b>	<b>Hexano</b>	<b>Cloroformo</b>	<b>Metanol</b>
Punto de ebullición a 1 atm	40 - 70 °C (35 °C a 0.7 atm)	78 °C (54.6 °C a 0.7 atm)	69 °C	61.26 °C	64.7 °C
Punto de fusión	No se determina	-117 °C	-95 °C	-63.5 °C	-97.8 °C
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) a 20 °C	0.785	0.805-0.812	0.66	1.484	0.79-0.8
Punto de inflamación	< -45 °C	17 °C	-22 °C	-	9.7 °C

*Nota.* 0.7 atm equivale a la presión atmosférica en la ciudad del Cusco. Fuente: (ThermoFisher, 2023; Merck, 2023; Scharlau, 2013; QuimicaUNAM, 2016 & CHEMOS Solutions through service, 2019)

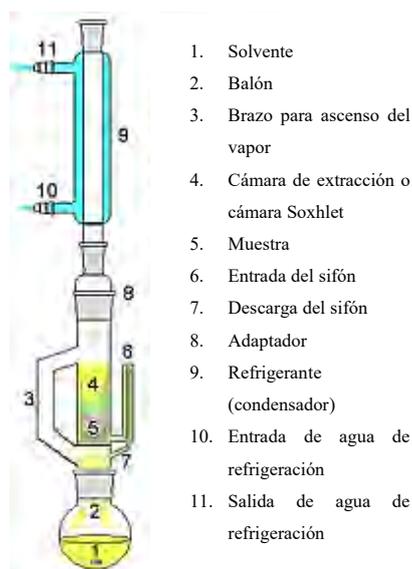
#### **a) Método de extracción soxhlet**

La extracción viene a ser una operación que se utiliza para separar una porción específica de una muestra con un determinado líquido (solvente), ejemplo el método soxhlet en la que se obtienen principios activos de tejidos vegetales y semillas (Gabriel Gaspar, 2019).

Angarita Ruiz (2019) menciona que la extracción soxhlet implica el contacto sólido - líquido para la remoción de uno o varios compuestos de un sólido por disolución en una fase líquida de reflujo, la Figura 3 presenta el esquema del proceso de extracción por este método.

### Figura 3

*Esquema del equipo de extracción por el método soxhlet*



Fuente: (Campos, 2009)

#### • Fundamento del montaje del método soxhlet

La tesis de Paternina Zapa (2020), indica que es una técnica de separación en matrices sólidas, que se basa en la extracción absoluta con porciones frescas de disolvente orgánico (éter de petróleo o etanol) recirculado hacia la muestra por medio de un dedal de vidrio (d: sifón); esta técnica emplea mucho disolvente y tiempo; además, requiere de un paso extra de limpieza y concentración.

Su fundamento radica en llenar el solvente requerido en la cámara de extracción hasta la altura del sifón, por el cual el solvente desciende hacia el balón, la ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo (c: refrigerante), el condensado que cae sobre el recipiente que posee un cartucho de contextura porosa (b: empaquetamiento con papel filtro) con la muestra (semillas) en su interior, el ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que regresa el solvente con el respectivo material extraído al balón; esto ocurre la cantidad de veces que sean

necesarias para que la muestra quede agotada, y finalmente lo extraído se va concentrando en el balón del solvente (Paternina Zapa, 2020).

La Figura 4 representa el montaje de extracción del aceite por el método soxhlet. Teniendo como variables de operación: tamaño de partícula (mayor a 1000  $\mu\text{m}$  o menor 1000  $\mu\text{m}$ ) y solvente (etanol o éter de petróleo)

#### **Figura 4**

*Montaje del equipo de extracción por el método soxhlet*



*Nota.* a: balón, b: cámara de extracción con el empaquetamiento de semillas, c: refrigerante o condensador, d: sifón o brazo para el ascenso del vapor.

- **Ventajas y Desventajas del método soxhlet**

La eficiencia de extracción cuando es a escala de laboratorio es mucho mejor a cuando se hace de manera piloto o industrial debido a las grandes cantidades de solvente que se utiliza con respecto al aceite obtenido (Torres Meléndez, 2018).

La Tabla 9 describe las ventajas y desventajas de la aplicación del método soxhlet.

**Tabla 9***Ventajas y desventajas del método de extracción soxhlet*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– La muestra está en contacto repetidas veces con porciones continuas de disolvente, asegurando la concentración del producto.</li> <li>– Altos rendimientos en la obtención del aceite.</li> <li>– La extracción se realiza con el disolvente caliente, así se favorece la solubilidad de los analitos.</li> <li>– No es necesaria realizar una filtración después de la extracción.</li> <li>– La metodología empleada es muy simple.</li> <li>– Se obtienen excelentes recuperaciones del solvente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El tiempo requerido para la extracción normalmente está entre 2-24 horas dependiendo de la cantidad de materia prima agotada.</li> <li>– Alto costo de los solventes a emplear y su toxicidad de estos.</li> <li>– La descomposición térmica de los analitos termolábiles, ya que la temperatura del disolvente orgánico está próxima a su punto de ebullición.</li> <li>– Es necesaria una etapa final de evaporación del disolvente para la concentración de los analitos.</li> <li>– Esta técnica no es fácilmente automatizable.</li> <li>– Provoca pérdidas ligeras de antioxidantes.</li> <li>– La emisión de vapores de estos solventes podría resultar una contaminación atmosférica.</li> </ul>

Fuente: (Hayqui Betancurt, 2016; Martínez López y Zúniga Herrera, 2018 & Torres Meléndez, 2018)

### **b) Método de extracción por maceración**

Huayhua Carlos y Moya Torres (2018) indican que es una extracción sólido - líquido, que se realiza a temperatura ambiente. Donde la muestra posee una serie de compuestos solubles los que se pretende extraer. Consiste en macerar el material vegetal debidamente fragmentado en un solvente preestablecido (agua, éter de petróleo, diclorometano, etanol, etc.) hasta que éste penetre y disuelva las porciones solubles. Se puede utilizar cualquier recipiente con tapa que no entre en contacto con el disolvente; en éste se coloca el material vegetal con el disolvente y tapado, se deja en reposo por un período de dos a 14 días con agitación esporádica. Luego se filtra el líquido, se exprime el residuo, se recupera el solvente en un evaporador rotatorio y se obtiene el extracto.

El proceso tiene como resultado el equilibrio entre la especie y el solvente, dependiendo de factores relacionados con la especie como: naturaleza, tamaño de partícula, contenido de humedad y cantidad (López Salazar, 2009).

- **Fundamento de la extracción por maceración**

Golam Rasul (2018) señala que, en este proceso, los materiales sólidos fragmentados se colocan en un recipiente cerrado y se agrega el solvente a emplear (éter de petróleo y mezcla de éter de petróleo con etanol). Se deja reposar durante un tiempo (15 días) con agitación ocasional. Después de días, el líquido se filtra, pero el residuo sólido de este proceso de extracción se comprime para recuperar una gran cantidad de solvente posible. Durante el proceso de maceración, la agitación ocasional permite que el solvente se difunda a través de la pared celular para solubilizar el constituyente presente en la muestra, facilitando la extracción y la eliminación de la solución concentrada de la superficie de la muestra para llevar la nueva solución a un proceso que permita obtener un mayor rendimiento de extracción.

La Figura 5 muestra la maceración de las semillas de tuna en el solvente, teniendo como variables de operación: tamaño de partícula (mayor a 1000  $\mu\text{m}$  o menor a 1000  $\mu\text{m}$ ), condición de partícula (semillas tostadas o sin tostar) y solvente (éter de petróleo o mezcla de los solventes).

**Figura 5**

*Muestra en proceso de maceración*



Fuente: (Huayhua Carlos & Moya Torres, 2018)

- **Ventajas y desventajas del método de extracción por maceración**

En la tabla 10 se muestran las ventajas y desventajas de emplear este tipo de método (Huayhua Carlos & Moya Torres, 2018).

**Tabla 10***Ventajas y desventajas del método de extracción por maceración*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
– Los extractos son útiles en pequeñas escalas.	– No se logra extraer en su totalidad los compuestos.
– Es un proceso de bajo costo que depende del solvente a emplear.	– El proceso de extracción es lento.
– Sencillo de manejar (agitación).	– Para que el proceso sea óptimo se necesita repetir la extracción dos o tres veces, extrayendo el solvente o utilizando diferentes solventes.
– No se requiere de un operador calificado.	– La utilización de solventes orgánicos genera gases contaminantes para el medio ambiente.
– Proceso de ahorro de energía.	
– No utiliza utensilios ni equipos complicados.	

Fuente: (Huayhua Carlos y Moya Torres, 2018 & Golam Rasul, 2018)

### **2.2.5.2. Método de extracción mecánica**

El prensado es uno de los procesos más antiguos y usados en la extracción de aceites vegetales a partir de semillas; al ser sometidas a presión, las gotas de aceite y las partículas de grasa se separan de la masa (Pantoja Arévalo y Maldonado Muñoz, 2012).

#### **Método de extracción por prensa hidráulica o prensado en frío (discontinuo)**

La investigación de De La Cruz Crispín (2021) define que no se utilizan productos químicos para la extracción de aceite y; por lo tanto, el aceite está libre de residuos. Actualmente, estas prensas se utilizan únicamente para obtener grasas y aceites producidos en pequeñas cantidades.

- **Fundamento de la extracción por prensa hidráulica**

Este proceso utiliza un sistema de presión hidráulica para extraer el aceite. El material se coloca en un cilindro con orificios. La presión se aplica a las semillas que están contenidas en el cilindro mediante el pistón, forzando el paso de la parte líquida (aceite) a través de los orificios. La presión se aplica lentamente al principio ya que el aceite tiene un alto contenido en la muestra (semillas) y se elimina más fácilmente. A medida que se extrae el aceite, la presión aumenta para permitir una extracción más profunda. El aceite se drena a través de una salida en la parte inferior del equipo (Nunes, 2013).

La Figura 6 muestra el montaje de la prensa hidráulica invertida, teniendo como variables de operación: presión de trabajo (250 bar o 200 bar) y el porcentaje de humedad (7-8% o 10-11%).

### Figura 6

*Montaje de la prensa hidráulica invertida*



#### • Ventajas y desventajas de la extracción por prensa hidráulica

El método de extracción por prensado en frío es seguro, fácil de instalar, no requiere espacios físicos demasiado grandes. El aceite extraído mantiene la calidad y un completo valor nutricional y no hay refinación en el proceso. La Tabla 11 muestra las ventajas y desventajas del método de extracción por prensa hidráulica (Gonzales Iquira, 2021).

**Tabla 11**

*Ventajas y desventajas del método de extracción por prensa hidráulica*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
-No requiere de personal especializado.	-Sistema de lotes.
-Proporciona aceites de buena calidad.	-El rendimiento del proceso de extracción de aceites depende de: la humedad, la cocción y la composición química.
-Adecuada producción.	-Tiempo de producción alto, rendimiento bajo.
-Simplicidad económica.	-Emplea presiones altas en el proceso.
-No requiere de mucha tecnología	
- Es un método amigable con el medio ambiente.	

Fuente: (De La Cruz Crispín, 2021; Gonzales Iquira, 2021)

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis General

Los métodos de extracción influyen en el rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna (*Opuntia ficus-indica*).

### 2.3.2. Hipótesis Específicas

- La granulometría y el tipo de solvente empleado tienen efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet.
- La granulometría de las semillas, condición de las semillas y el tipo de solvente empleado tienen efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración.
- La presión de trabajo y el porcentaje de humedad tienen efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío.
- El método de maceración da mejor rendimiento en la extracción del aceite de semilla de tuna.

## 2.4. Variables

### 2.4.1. Identificación de Variables

#### 2.4.1.1. Variable Independiente

##### **Método soxhlet**

- Tamaño de la partícula
- Solvente

##### **Método de maceración**

- Tamaño de la partícula
- Tostación de la partícula (condición)
- Solvente

##### **Método prensado en frío**

- Presión de trabajo
- Porcentaje de humedad de la partícula

### 2.4.1.2. Variables Dependientes

#### Método soxhlet, maceración y prensado en frío

- Rendimiento
- Propiedades fisicoquímicas: (densidad, viscosidad, índice de peróxido, índice de refracción, índice de acidez y color fotométrico)

### 2.4.1.3. Variable Interviniente

- Tiempo

En la Tabla 12 se identifican las variables independientes, dependientes e intervinientes para cada método de extracción.

**Tabla 12**

*Identificación de variables*

<b>Variables/Métodos</b>	<b>Soxhlet</b>	<b>Maceración</b>	<b>Prensado en frío</b>
<b>Independientes</b>	-Tamaño de partícula	-Tamaño de partícula	-Presión de trabajo
	-Tipo de solvente	-Tostación de la partícula (condición) -Tipo de solvente	-Porcentaje de humedad de la partícula
<b>Dependientes</b>	-Rendimiento	-Rendimiento	-Rendimiento
	-Propiedades fisicoquímicas	-Propiedades fisicoquímicas	-Propiedades fisicoquímicas
<b>Interviniente</b>	Tiempo	Tiempo	Tiempo

En la Tabla 13 se muestra la operacionalización de variables para esta investigación.

## 2.4.2. Operacionalización de Variables

**Tabla 13**

*Análisis y operacionalización de variables*

<b>Tipo</b>	<b>Variables</b>	<b>Operacionalización</b>	<b>Dimensiones</b>
Independientes	Tamaño de la partícula	Tamaño de la semilla que es seleccionada para ser utilizada en cada método.	mm
	Condición de la partícula	Condición de la semilla que se somete a tostado a cierta temperatura.	-
	Tipo de solvente	Cantidad de solvente (etanol y/o éter de petróleo) a emplear según las condiciones requeridas para cada método.	cm <sup>3</sup>
	Presión de trabajo	Fuerza que ejerce la prensa hidráulica a través del pistón sobre un área.	bar
	Porcentaje de humedad	Contenido de humedad que se expresa como la pérdida de masa referida a 100 gramos de muestra original.	-
Dependientes	Rendimiento	Relación del peso del aceite obtenido respecto al peso inicial de la semilla.	%
	Densidad ( $\rho$ )	Cantidad de masa de semilla que hay en determinado volumen de aceite.	g/cm <sup>3</sup>
	Viscosidad ( $\mu$ )	Resistencia del aceite de semilla durante su fluidez.	mPa.s
	Índice de Peróxido	Concentración de oxígeno activo en el aceite expresado en miliequivalentes por kilogramo.	meqO <sub>2</sub> /kg
	Índice de Refracción	Razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado.	-
	Índice de acidez	Cantidad de miligramos de NaOH necesario para neutralizar 1 gramo de aceite.	mg NaOH/g
Color Fotométrico	Absorbancia del aceite de semilla en función de su longitud de onda.	-	
Interviniente	Tiempo	Tiempo empleado en cada método de extracción.	hrs.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Metodología

##### 3.1.1. Enfoque de la investigación

La investigación está basada en un enfoque cuantitativo, secuencial y probatorio ya que cada etapa precede a la siguiente, con un orden riguroso. La presente tesis parte de una idea que se delimita, generando objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis, se determinan las variables de estudio y se miden; se analizan los resultados obtenidos, utilizando métodos estadísticos y se extraen las conclusiones (Hernández Sampieri et al., 2014).

##### 3.1.2. Alcance de la investigación

La tesis titulada “Evaluación del rendimiento en la extracción de aceite de semillas de tuna (*Opuntia ficus-indica*) obtenido mediante tres métodos y su caracterización fisicoquímica”, es de tipo explicativo y aplicada, puesto que tiene como propósito analizar el efecto entre las variables o resultados. Los estudios explicativos pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. Está investigación se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández Sampieri et al., 2014).

#### 3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El software STATGRAPHICS Centurion XVI, permitió efectuar el análisis estadístico de la presente investigación, para lo cual se hicieron 3 diseños factoriales para cada uno de los métodos empleados.

##### 3.2.1. Diseño factorial para la extracción de aceite por el método soxhlet

Para el análisis de resultados de la investigación se hizo el diseño factorial 2<sup>2</sup>. En la Tabla 14 se especifican los factores y niveles considerados.

- FACTOR 1: Tamaño de partícula (mm)

Dos niveles:

(-) u [<1000 micrómetros]

(+) U [ $>1000$  micrómetros]

- FACTOR 2: Solvente orgánico (ml)

Dos niveles:

(+) Etanol

(-) Éter de Petróleo

**Tabla 14**

*Matriz de diseño experimental para el método soxhlet*

Diseño factorial 2 <sup>2</sup>							
Nº	Factor 1	Factor 2	Nº Prueba	Factores		Rendimiento	
				Tamaño de partícula	Solvente	R1	R2
1	+	+	1	U	Etanol	A1	A2
2	+	-	2	U	Éter de Petróleo	B1	B2
3	-	+	3	u	Etanol	C1	C2
4	-	-	4	u	Éter de Petróleo	D1	D2

*Nota.* U: tamaño de partícula mayor a 1000  $\mu\text{m}$ , u: menor a 1000  $\mu\text{m}$ .

Para la investigación se consideró el porcentaje de rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído de las semillas de tuna. Para ello se realizaron 4 pruebas y sus respectivas replicas, teniendo un total de 8 pruebas.

### 3.2.2. Diseño factorial para la extracción de aceite por el método de maceración

Para el análisis de resultados de la investigación se usó el diseño factorial 2<sup>3</sup>. En la Tabla 15 se especifican los factores y niveles considerados.

- FACTOR 1: Tamaño de partícula (mm)

Dos niveles:

(-) u [ $<1000$  micrómetros]

(+) U [ $>1000$  micrómetros]

- FACTOR 2: Condición de la partícula

Dos niveles:

(+) tostado

(-) sin tostar

- FACTOR 3: Solvente orgánico (ml)

Dos niveles:

(+) Éter de petróleo

(-) Mezcla etanol y éter de petróleo [1:1]

**Tabla 15**

*Matriz de diseño experimental para el método de maceración*

Diseño factorial 2 <sup>3</sup>									
Nº	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Nº Prueba	Factores			Rendimiento	
					Tamaño de partícula	Condición	Solvente	R1	R2
1	+	+	+	1	U	Tostado	Éter de petróleo	E1	E2
2	+	+	-	2	U	Tostado	Éter-etanol (1:1)	F1	F2
3	+	-	+	3	U	Sin tostar	Éter de petróleo	G1	G2
4	+	-	-	4	U	Sin tostar	Éter-etanol (1:1)	H1	H2
5	-	+	+	5	u	Tostado	Éter de petróleo	I1	I2
6	-	+	-	6	u	Tostado	Éter-etanol (1:1)	J1	J2
7	-	-	+	7	u	Sin tostar	Éter de petróleo	K1	K2
8	-	-	-	8	u	Sin tostar	Éter-etanol (1:1)	L1	L2

*Nota.* U: tamaño de partícula mayor a 1000 µm, u: menor a 1000 µm.

Para la investigación se consideró el porcentaje de rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído de las semillas de tuna. Para ello se realizaron 8 pruebas y respectivas replicas, teniendo un total de 16 pruebas.

### 3.2.3. Diseño factorial para la extracción de aceite por el método de prensado en frío

Para el análisis de resultados de la investigación se usó el diseño factorial 2<sup>2</sup>. En la Tabla 16 se especifican los factores y niveles considerados.

- FACTOR 1: Presión de trabajo

Dos niveles:

(+) 250 bar

(-) 200 bar

- FACTOR 2: Porcentaje de humedad

Dos niveles:

(-) 7-8%

(+) 10-11%

**Tabla 16**

*Matriz de diseño experimental para el método por prensado en frío*

Diseño factorial 2 <sup>2</sup>							
Nº	Factor 1	Factor 2	Nº de prueba	Factores		Rendimiento	
				Presión de trabajo (bar)	%Humedad	R1	R2
1	+	-	1	250	7-8	M1	M2
2	+	+	2	250	10-11	N1	N2
3	-	-	3	200	7-8	O1	O2
4	-	+	4	200	10-11	P1	P2

*Nota.* U: tamaño de partícula mayor a 1000 µm, u: menor a 1000 µm.

Para la investigación se consideró el porcentaje de rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído de las semillas de tuna. Para ello se realizaron 4 pruebas y sus respectivas replicas, teniendo un total de 8 pruebas.

### 3.2.4. Muestra, reactivos, materiales, equipos e instrumentos

La Tabla 17 indica la muestra, reactivos, materiales, equipos e instrumentos para esta investigación.

**Tabla 17**

*Muestra, reactivos, materiales, equipos e instrumentos utilizados para los tres procesos de extracción*

<b>Muestra</b>	- Tuna ( <i>Opuntia ficus - indica</i> )
<b>Reactivos</b>	- Agua potable
	- Agua destilada
	- Hipoclorito de sodio
	- Etanol 96% (Marca Hersil, Lote 2204773)
	- Éter de petróleo (Marca Honeywell, Cat. LP317-4 Lote EE314-PE)
	- Alcohol isopropílico (Marca FERREQUIM, Lote 100421)
<b>Materiales</b>	- Fenolftaleína 1% (LABQUIM, 140523)
	- Hidróxido de sodio 1N (LABQUIM, 250423)
	- Recipientes de acero inoxidable
	- Cuchillo/ espátula
	- Cernidor
	- Cubetas de poliestireno transparente
	- Tamiz N° 18 (malla 1000 micrómetros) ASTM 11-61
- Papel filtro de paso rápido 5B Advantec (125mm)	
- Mangueras (10 m)	

---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probetas de 50 ml</li> <li>- Embudos de vidrio</li> <li>- Recipientes de vidrio</li> <li>- Papel aluminio</li> <li>- Cilindros y pistones de acero inoxidable</li> <li>- Vasos de precipitados</li> <li>- Tela organza</li> <li>- Recipientes de color ámbar de 15 ml y 20 ml</li> <li>- Jeringas de 5 ml</li> <li>- Papel tisú</li> <li>- Gotero</li> <li>- Bureta de 50 ml</li> <li>- Matraz de Erlenmeyer de 250 ml</li> <li>- Soporte universal</li> <li>- Elementos de seguridad personal</li> </ul>
<b>Equipos e Instrumentos</b>	<hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Licuadora (Marca IMACO, Modelo BL888V)</li> <li>- Cocina eléctrica</li> <li>- Molino manual</li> <li>- Equipo soxhlet</li> <li>- Agitador magnético</li> <li>- Prensa hidráulica invertida</li> <li>- Manómetro de Bourdon INOX con glicerina (Marca AST, Modelo 830.002.9999, Rango 0-10000 psi)</li> <li>- Viscosímetro (Marca ANTON PAAR, Modelo SUM 300, Serie N° 669191)</li> <li>- Refractómetro (Marca Mettler Toledo, Modelo REFRACTO 30GS, Serie LXCI576)</li> <li>- Espectrofotómetro (Marca Thermo, Modelo Genesys 10 UV)</li> <li>- Balanza analítica (Marca OHAUS, Modelo AR2140)</li> </ul> <hr/>

### 3.2.5. Método experimental

El desarrollo experimental de la investigación tuvo 7 etapas, en la primera etapa se realizó la obtención de la muestra, en la segunda etapa se hizo la obtención y acondicionamiento de las semillas de tuna, la tercera etapa estuvo destinada a la caracterización fisicoquímica de las semillas de tuna, la cuarta etapa consistió en aplicar el método soxhlet para la obtención del aceite, la quinta etapa estuvo destinada a la obtención del aceite por el método de maceración, en la sexta etapa se aplicó el método de prensado en frío y por último en la séptima etapa se efectuó el análisis de los aceites obtenidos por los métodos soxhlet, maceración y prensado en frío.

### 3.2.5.1. Obtención de la muestra

Para el presente estudio se empleó la variedad de “tuna morada”, este fruto fue recolectado entre los meses de Enero a Marzo del 2023 del Centro Poblado de Moccocjahua, ubicado a una altitud de 3161 m.s.n.m. (coordenadas geográficas: 14°0'21.4"S 72°1'34.4"O) perteneciente al Distrito de Ccapacmarca, Provincia de Chumbivilcas – Cusco (DePerú, 2024).

### 3.2.5.2. Obtención y acondicionamiento de las semillas de tuna

En el laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental se realizó la obtención y acondicionamiento de las semillas de tuna para lo cual, se adquirieron 6 cajas equivalente a 400 unidades aproximadamente del fruto de tuna que se utilizaron en los tres métodos de extracción.

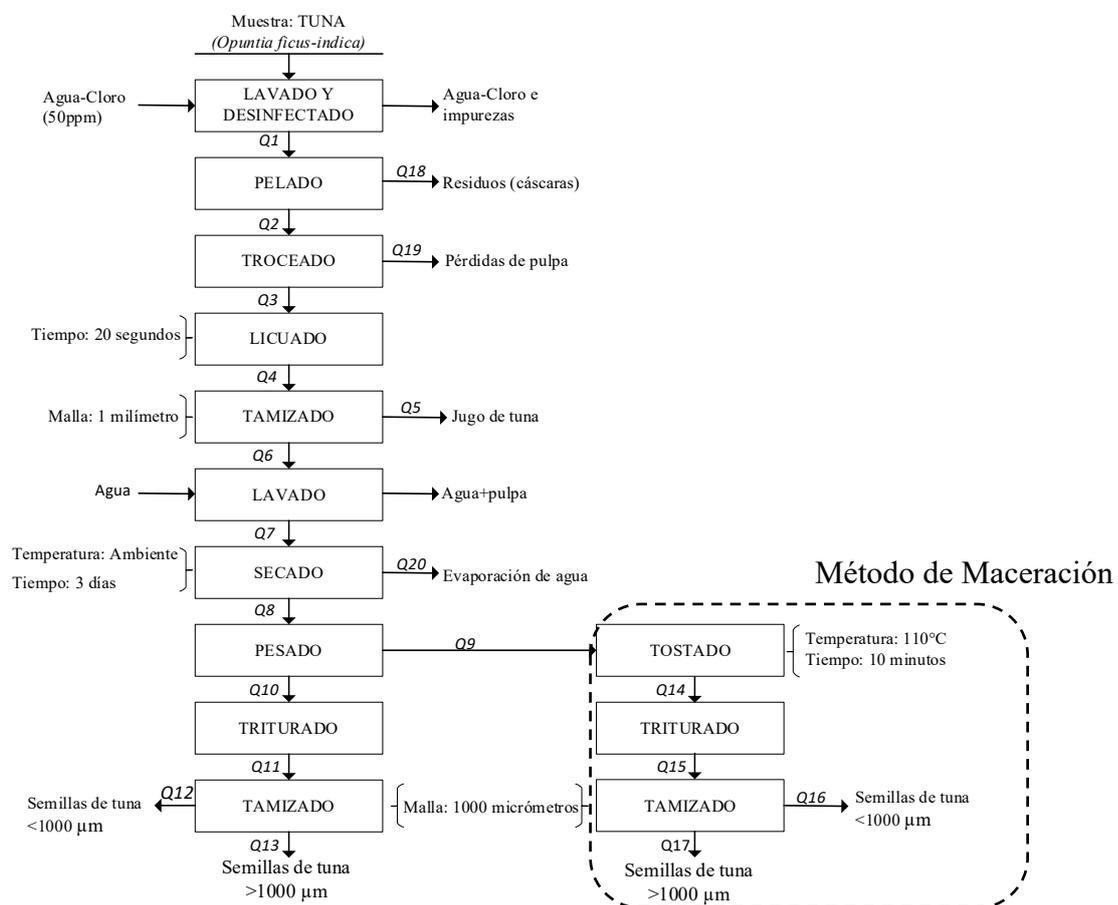
La obtención de las semillas de tuna inició desde el lavado y desinfectado del fruto terminando en el almacenado, referenciado por Torres Meléndez (2018). El diagrama de este procedimiento se muestra en la Figura 7.

- a. **Lavado y desinfectado:** con una solución de cloro (50 ppm) se procedió a lavar y desinfectar manualmente la muestra.
- b. **Pelado:** se realizó el corte en ambos extremos (superior e inferior), así como también un corte por la mitad a lo largo del eje mayor, esto permitió separar la cáscara de la pulpa.
- c. **Troceado:** se procedió a trocear la pulpa manualmente en partes pequeñas.
- d. **Licuada:** se colocó la pulpa troceada en una licuadora y se procedió a licuar durante aproximadamente 20 segundos.
- e. **Tamizado:** en un cernidor se vertió el licuado anterior removiendo ligeramente para separar la semilla de tuna del licuado.
- f. **Lavado:** las semillas obtenidas fueron lavadas con abundante agua para retirar los restos de pulpa adheridas a las semillas, seguidamente fueron enjuagadas con agua destilada.
- g. **Secado:** las semillas lavadas fueron puestas sobre paños absorbentes en una superficie plana para eliminar la humedad presente, a una temperatura ambiente durante tres días.

- h. Pesado:** en una balanza analítica se determinó el peso de las semillas secas.
- i. Tostado:** se separó una cantidad de semillas, las cuales fueron tostadas a una temperatura 110 °C durante 10 minutos aproximadamente (Chbani et al., 2020).
- j. Triturado:** se colocó las semillas tostadas y sin tostar independientemente en un molino manual con el objetivo de fragmentar las semillas.
- k. Tamizado:** se hizo pasar las semillas fragmentadas en un tamiz malla N° 18 (1000 micrómetros) con el fin de separar los fragmentos pequeños y medianos.

**Figura 7**

*Diagrama de bloques para la obtención de las semillas de tuna*



*Nota.* F1: tuna lavada, F2: tuna pelada, F3: tuna troceada, F4: tuna licuada, F5: jugo de tuna, F7: semillas lavadas, F8: semillas secas, F9: semillas pesadas a tostar, F10: semillas

pesadas sin tostar, F11: semillas trituradas, F14: semillas tostadas enteras, F15: semillas tostadas y triturada.

Los balances de materia de la Figura 7 se muestra en el Apéndice C inciso c1.

### **3.2.5.3. Caracterización fisicoquímica de las semillas de tuna**

En la caracterización fisicoquímica de las semillas de tuna se emplearon 20 g de semillas de este fruto que fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. La composición fisicoquímica de las semillas de tuna se muestra en el Anexo 1.

### **3.2.5.4. Extracción de aceite por método soxhlet**

En el laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental se realizó la extracción del aceite de semillas de tuna mediante el método soxhlet; para lo cual se utilizaron las semillas previamente acondicionadas, se inició el proceso con el pesado de las semillas finalizando en el almacenado del aceite de semillas de tuna y el pesado de los residuos, referenciado por Hayqui Betancurt (2016). El esquema de este procedimiento se encuentra en la Figura 8.

- a. Pesado de semillas:** en una balanza analítica se pesó 30 gramos de semillas de tuna de acuerdo al factor 1 de la Tabla 14 en referencia a Ramírez-Moreno et al. (2017), seguidamente se envolvió en un empaque de papel filtro con pabilo para ser puesto dentro de la cámara de extracción.
- b. Extracción:** se midió 190 ml del solvente requerido de acuerdo al factor 2 de la Tabla 14, se vertió dentro de la cámara de extracción con el empaque presente, el solvente desciende por el sifón hasta el balón, quedando una cantidad de solvente dentro de la cámara de extracción que permitió hidratar la muestra. La ebullición del solvente evapora hasta el refrigerante, este cae sobre la cámara de extracción que posee el empaque con las semillas en su interior, el solvente cubre el empaque hasta un punto en que se produce el reflujo (el solvente con el respectivo material extraído) por el sifón hacia el balón; esto ocurrió en un tiempo determinado (2-4 horas) recirculando 10 veces el solvente con el material extraído, finalmente la extracción obtenida se va concentrando en el balón.

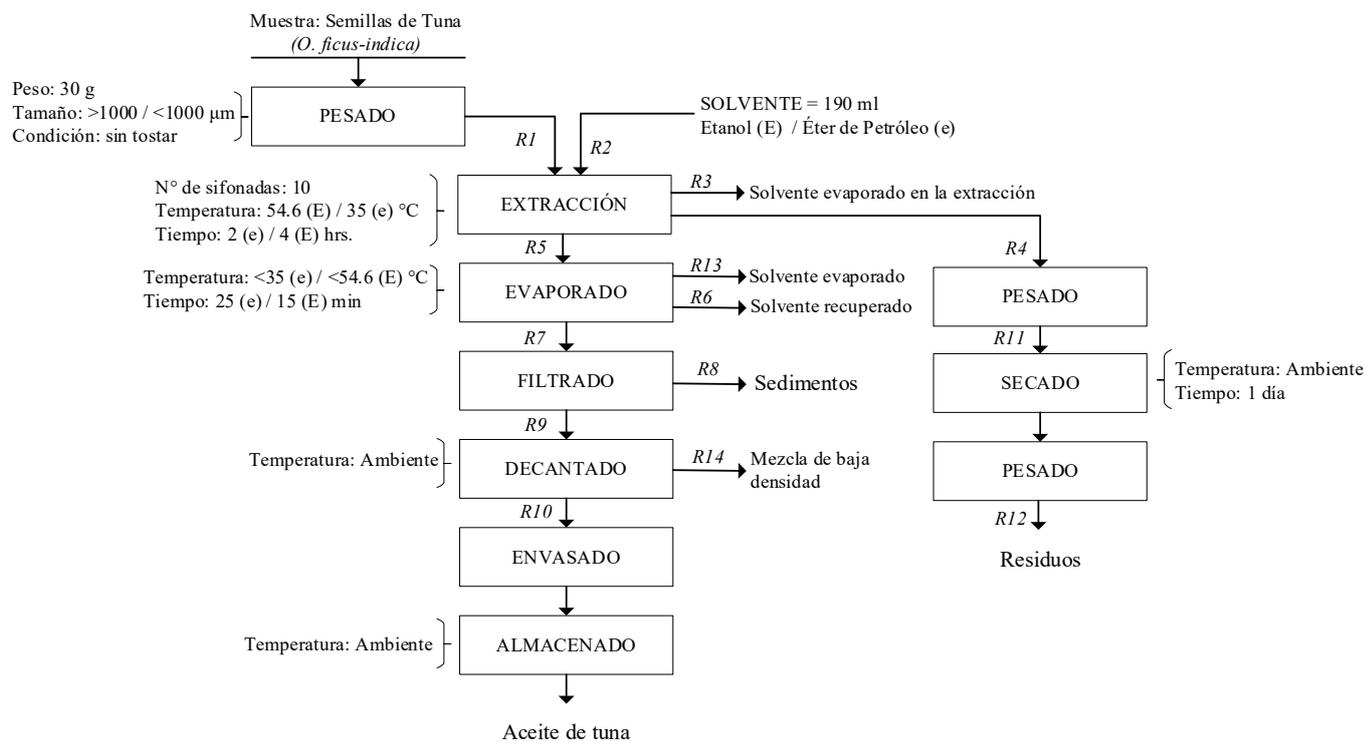
- c. **Evaporado:** de la extracción obtenida concentrada en el balón se realizó una evaporación, utilizando el equipo soxhlet para recuperar el excedente del solvente empleado a una temperatura menor a 54.6 °C durante 25 minutos para el etanol y una temperatura menor a 35 °C durante 15 minutos para el éter de petróleo a las condiciones de 0.7 atm (ciudad del Cusco) para ambos solventes.
- d. **Filtrado:** la muestra obtenida se filtró a una probeta utilizando un embudo cubierto en papel filtro de paso rápido para eliminar los sedimentos.
- e. **Decantado:** la muestra filtrada fue llevada a una pera de decantación y pasó por un proceso de separación por gravedad.
- f. **Envasado:** el aceite obtenido de la decantación fue envasado en un recipiente de vidrio de color ámbar esterilizado.
- g. **Almacenado:** los productos envasados se almacenaron a temperatura ambiente alejados de toda fuente de calor.

**Residuos:**

- h. **Pesado:** las semillas contenidas en el empaque se pesaron en una balanza analítica para determinar por diferencia de pesos el contenido de solvente absorbida por las semillas.
- i. **Secado:** estas semillas se extendieron en una superficie plana sobre paños absorbentes a temperatura ambiente por 24 horas.
- j. **Pesado:** las semillas secas se pesaron para determinar la cantidad de material extraído y de solvente perdido.

**Figura 8**

Diagrama de bloques para el proceso de extracción por el método soxhlet



Nota. E: etanol, e: éter de petróleo, F1: muestra pesada, F4: solvente en el empaque húmedo, F5: solución extraída, F7: solución evaporada, F9: solución filtrada, F10: aceite, F11: residuo pesado.

Los balances de materia de la Figura 8 se muestra en el Apéndice C inciso c2.

### 3.2.5.5. Extracción de aceite por método de maceración

En el laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental se realizó la extracción del aceite de semillas de tuna mediante el método de maceración; para lo cual se utilizaron las semillas previamente acondicionadas, se inició el proceso con el pesado de las semillas finalizando en el almacenado del aceite de semilla de tuna y el pesado de los residuos, referenciado por Gonzalez Villa (2004). El diagrama de este procedimiento se encuentra en la Figura 9.

- a. **Pesado de semillas:** en una balanza analítica se pesaron 30 gramos de semillas de tuna de acuerdo a los factores 1 y 2 de la Tabla 15.
- b. **Maceración:** en un recipiente de vidrio se colocaron las semillas con 150 ml del solvente requerido de acuerdo al factor 3 de la Tabla 15; el envase se cerró

herméticamente con teflón y se cubrió con papel aluminio durante 15 días a temperatura ambiente realizando agitación ocasional.

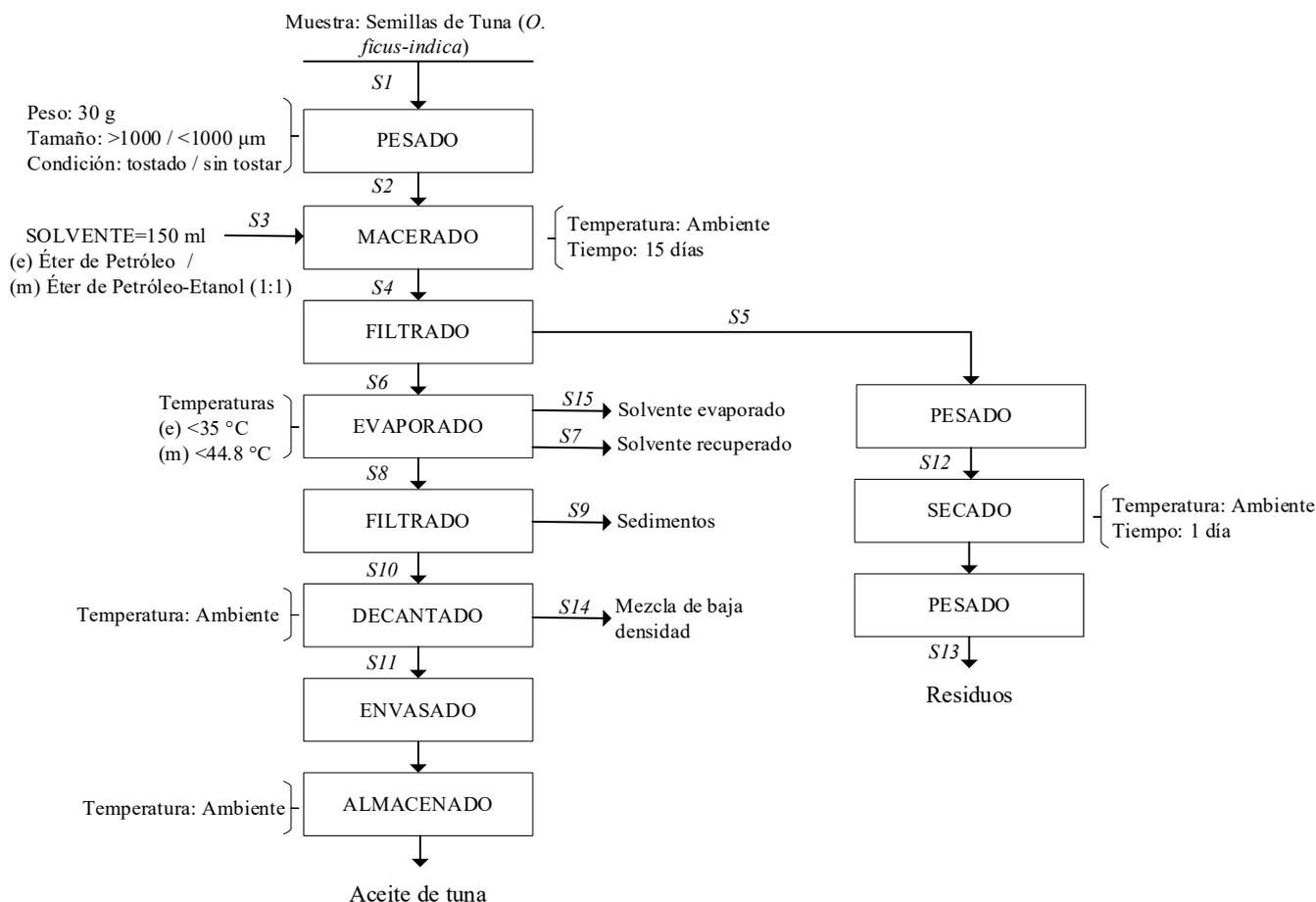
- c. **Filtrado:** los extractos se filtraron en un embudo recubierto de papel filtro de paso rápido hacia un balón, los residuos filtrados fueron recolectados.
- d. **Evaporado:** la muestra se evaporó para recuperar el solvente utilizando el equipo soxhlet, empleando una temperatura menor a 35°C durante 15 minutos para el éter de petróleo y de 44.8°C durante 20 minutos para la mezcla de éter de petróleo con etanol a las condiciones de 0.7 atm (ciudad del Cusco) para ambos solventes.
- e. **Filtrado:** la muestra obtenida se filtró a una probeta utilizando un embudo cubierto en papel filtro de paso rápido para no dejar pasar los sedimentos.
- f. **Decantado:** la muestra filtrada se llevó a una pera de decantación, pasando por un proceso de separación por gravedad.
- g. **Envasado:** el aceite obtenido se colocó en un recipiente esterilizado de color ámbar.
- h. **Almacenado:** estas muestras de aceite se almacenaron a una temperatura ambiente alejadas de toda fuente de calor.

#### **Residuos:**

- i. **Pesado:** los residuos recolectados del filtrado se pesaron en una balanza analítica para determinar por diferencia de pesos el contenido de solvente absorbido por las semillas.
- j. **Secado:** los residuos secaron a temperatura ambiente en una superficie plana sobre un paño absorbente por 24 horas.
- k. **Pesado:** en una balanza analítica se pesaron las semillas secas para determinar la cantidad de material extraído y de solvente perdido.

Figura 9

Diagrama de bloques para el proceso de extracción por el método de maceración



Nota. e: éter de petróleo, m: mezcla de éter de petróleo y etanol (1:1), F1: muestra, F2: muestra pesada, F4: solución macerada, F5: semilla húmeda + filtro + evaporado, F6: solución filtrada, F8: solución evaporada, F10: solución filtrada, F11: aceite, F12: residuo húmedo pesado.

Los balances de materia de la Figura 9 se muestra en el Apéndice C inciso c3.

### 3.2.5.6. Extracción de aceite por método de prensado en frío

En el laboratorio de Materiales, se realizó la extracción del aceite de semillas de tuna mediante el método de prensado en frío; para lo cual se utilizaron las semillas previamente acondicionadas, iniciando el proceso con el pesado de las semillas finalizando en el almacenado del aceite de semillas de tuna y el pesado de los residuos. El diagrama de este procedimiento se encuentra en la Figura 10.

- a. **Pesado de semillas:** en una balanza analítica se pesaron 30 gramos de semillas fragmentadas de tuna.

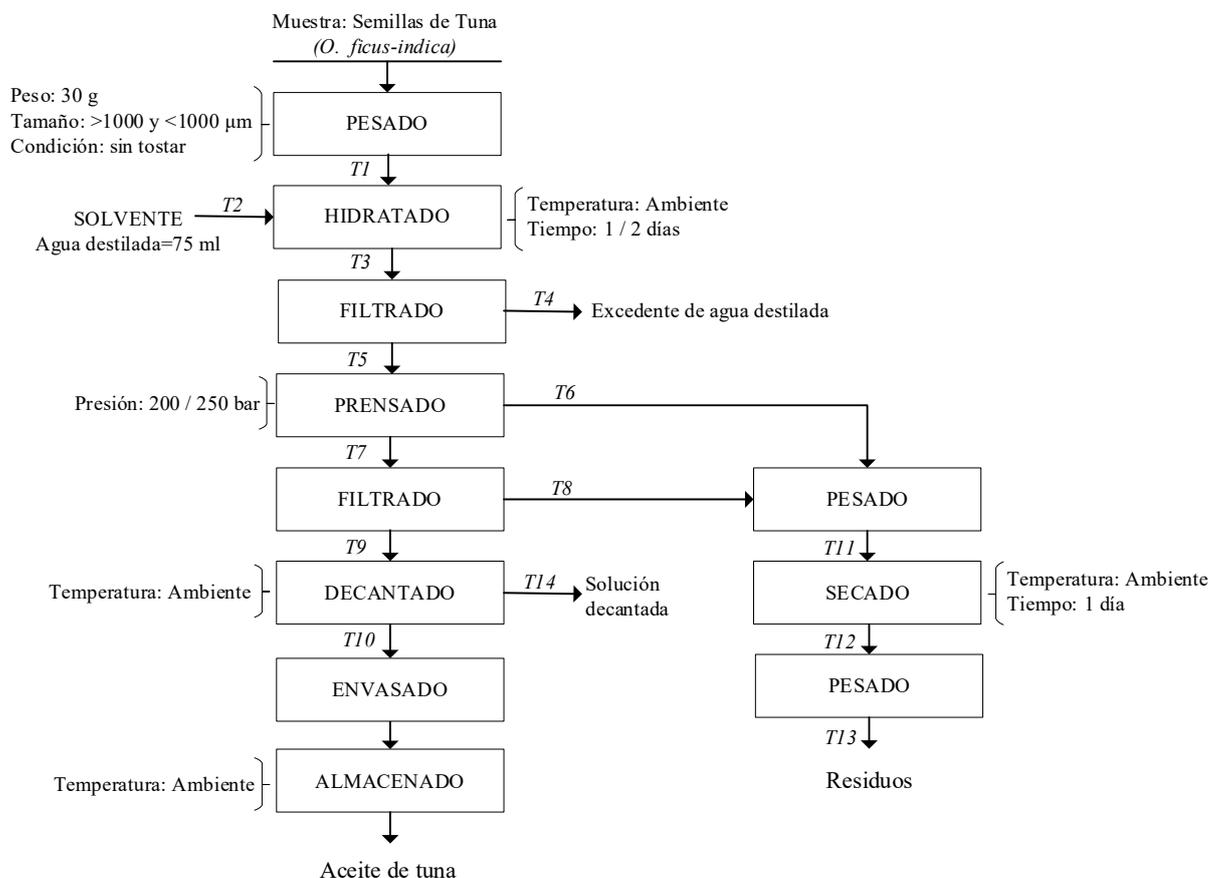
- b. Hidratado:** las semillas se colocaron dentro de un recipiente de vidrio con 75 ml de agua destilada; siendo hidratadas por un periodo de 1 y 2 días a temperatura ambiente, con el objetivo de alcanzar un porcentaje de humedad del 7% y 10% respectivamente.
- c. Filtrado:** las semillas hidratadas pasaron por un proceso de filtración con una tela organza para extraer el excedente de agua destilada y medir el porcentaje de humedad a utilizar según la Tabla 16 que muestra el diseño experimental para este método.
- d. Prensado:** se colocó el pistón requerido (factor 1 según la Tabla 16) al tornillo de extensión de la prensa hidráulica invertida. Las semillas hidratadas fueron puestas dentro del cilindro a emplear (factor 1 de la Tabla 16) y se realizó el montaje según la Figura 6. Seguidamente se ejerció una presión inicial para extraer la solución a través de los orificios del cilindro; a medida que se extraía la solución la presión aumentaba, lo que permitía una mejor extracción.
- e. Filtrado:** la muestra prensada se filtró con tela organza, para separar los residuos de la solución obtenida.
- f. Decantado:** la solución filtrada fue llevada a una pera de decantación, a través de un proceso de separación por gravedad, para separar el aceite del solvente.
- g. Envasado:** el aceite obtenido es envasado en recipientes de vidrio esterilizados de color ámbar.
- h. Almacenado:** estas muestras obtenidas de aceite se almacenaron a temperatura ambiente alejada de toda fuente de calor.

#### **Residuos:**

- i. Pesado:** los residuos recolectados del prensado y filtrado se pesaron en una balanza analítica.
- j. Secado:** los residuos secaron a temperatura ambiente en una superficie plana sobre un paño absorbente por 24 horas.
- k. Pesado:** en una balanza analítica se pesaron las semillas secas.

**Figura 10**

Diagrama de bloques para el proceso de extracción por el método de prensado en frío



Nota. F1: muestra pesada, F3: solución hidratada, F5: solución filtrada, F6: residuo húmedo (torta), F7: solución prensada, F8: sedimentos en organza, F9: solución filtrada, F10: aceite, F11: residuo húmedo pesado, F12: residuo seco.

Los balances de materia de la Figura 10 se muestra en el Apéndice C inciso c4.

#### • Porcentaje de humedad de las semillas hidratadas

La determinación de humedad de las semillas de tuna se realizó dentro del laboratorio de Control de la Contaminación ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Para la extracción del aceite mediante el método de prensado en frío, se requiere que la semilla alcance un porcentaje de humedad del 7% o 10% aproximadamente, según Torres Meléndez (2018). El porcentaje de humedad, expresa el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total.

El porcentaje de humedad se determinó con la Ecuación 1 del Anexo 2.

$$\%H = \frac{M-M_1}{M} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%H: contenido de humedad en masa de la muestra original

M: masa de la muestra original en gramos

M<sub>1</sub>: masa de la muestra seca en gramos

Procedimiento:

Se pesó 30 gramos de semillas fragmentadas y se colocaron en un recipiente de vidrio, seguidamente se vertió 75 ml de agua destilada para hidratar las semillas durante un periodo de 1 y 2 días a temperatura ambiente, con el propósito de alcanzar un porcentaje de humedad del 7% y 10% respectivamente. Después de este periodo la muestra se filtró para retirar el excedente de agua. Se volvieron a pesar las semillas hidratadas en una balanza analítica (Torres Meléndez, 2018). Para determinar el porcentaje de humedad presente en las semillas de tuna se utilizó la Ecuación 1.

### 3.2.5.7. Análisis del aceite de semillas de tuna

La aplicación de los métodos soxhlet, maceración y prensado en Frío, permitió obtener el aceite de las semillas de tuna, las mismas que a través del análisis demostraron las propiedades fisicoquímicas del aceite obtenido.

La determinación del rendimiento y la acidez libre del aceite de las semillas de tuna se realizó dentro del laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental. La determinación de la densidad, viscosidad, refracción y color fotométrico se realizaron en el laboratorio de Hidrocarburos; ambos laboratorios pertenecientes a la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. La determinación del índice de peróxido se llevó al Laboratorio Louis Pasteur (Urb. Velazco Astete D-18, distrito de Wánchaq en la provincia y región del Cusco) para su análisis respectivo.

#### a) Determinación del rendimiento

Para obtener el porcentaje de rendimiento en cada método de extracción se utilizó la Ecuación 2, propuesta por Florián García (2014).

$$R (\%) = \frac{\text{Peso del aceite extraído}}{\text{Peso de la semilla alimentada}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

R (%): porcentaje de rendimiento

Aceite extraído = Peso (gotero + aceite) – (peso gotero vacío)

#### Procedimiento:

Para determinar el rendimiento del aceite extraído se realizó una diferencia de peso del gotero con el aceite obtenido y del gotero vacío (Florián García, 2014). El rendimiento se calcula con la Ecuación 2 mencionada anteriormente.

### **b) Determinación de la densidad y la viscosidad dinámica**

#### **Densidad**

Para calcular la densidad se utilizó la Ecuación 3 mencionado por Sánchez Paz & Figueroa Barrera (2013).

$$D = \frac{w-w^1}{v} \quad (3)$$

Donde:

D: Densidad (g/ml)

w - w<sup>1</sup>: Diferencia entre el peso del picnómetro vacío y el picnómetro con muestra (gramos)

v: medida de volumen del picnómetro (ml a 20°C)

Para los líquidos y los sólidos, la densidad de referencia habitual es la del agua líquida a la presión de 1 atm y la temperatura de 4 °C. En esas condiciones, la densidad absoluta del agua destilada es de 1000 kg/m<sup>3</sup>, es decir, 1 kg/L. Para determinar la densidad de una sustancia se utilizó el picnómetro, de tal manera que puede obtenerse un volumen con gran precisión (Sánchez Paz & Figueroa Barrera, 2013).

#### **Viscosidad dinámica**

#### Procedimiento:

La determinación de la densidad y la viscosidad se realizó a través del viscosímetro, a una temperatura de 20°C. Con una jeringa se extrajo la muestra de aceite para colocar dentro del equipo por medio de un conducto, en el cual se realizan rotaciones, el equipo muestra los resultados de viscosidad dinámica (mPa.s) y

densidad ( $\text{g/cm}^3$ ). La muestra analizada se bombea hacia el exterior mediante una manguera fina, posteriormente el equipo se limpia con alcohol isopropílico.

### c) Determinación del índice de peróxido

Para el cálculo del índice de peróxido se utilizó la Ecuación 4 mencionada en el Anexo 3.

$$IP = \frac{S \times N \times 1000}{P} \quad (4)$$

Donde:

IP: Índice de peróxido (meq de peróxido / 100g de muestra)

N: Normalidad del tiosulfato de sodio, 0,01 N

S: ml de solución de tiosulfato de sodio usando en la titulación

P: Peso de la muestra (g)

El análisis del índice de peróxido se realizó en el Laboratorio Louis Pasteur mencionado anteriormente.

### d) Determinación del índice de refracción (nD)

La fórmula de Abbé dará las correcciones aproximadas de temperatura, la Ecuación 5 se muestra en el Anexo 4.

$$R = R' + K(T' - T) \quad (5)$$

Donde:

R: Lectura a la temperatura T

R': Lectura a la temperatura T'

T: Temperatura estándar

T': Temperatura a la cual se efectúa la lectura

K: 0.000385 para aceites (Abbé)

### Procedimiento:

Se añadió 5 gotas de agua destilada al área de muestreo del refractómetro con el objetivo de calibrar el equipo, una vez calibrado se retiró el agua destilada y con

papel tisú se limpió y secó el área de muestreo. Se colocaron de 5 a 7 gotas del aceite a analizar, se esperó 1 minuto aproximadamente para obtener los resultados del índice de refracción (Florián García, 2014). Después del análisis realizado se limpia el área de muestreo con agua destilada.

#### e) Determinación del índice de acidez

La acidez libre expresada como ácido oleico en porcentaje se halló con la ecuación 6 mencionada en el Anexo 5.

$$\% IA_O = \frac{V \times N \times 28.2}{W} \quad (6)$$

La acidez libre expresada como ácido palmítico en porcentaje se halló con la ecuación 7 mencionada en el Anexo 5.

$$\% IA_P = \frac{V \times N \times 25.0}{W} \quad (7)$$

Donde:

% IA: Índice de acidez (g/100g)

V: Gasto de NaOH 0,1 N (mL)

N: Normalidad de NaOH 0,1 N

28.2: Peso equivalente del ácido oleico

25.0: Peso equivalente del ácido palmítico

W: Masa de la muestra (g)

#### Procedimiento:

En una balanza analítica se colocó el matraz de Erlenmeyer, agregando de 7 a 9 gotas de aceite (2 gramos aproximadamente). La muestra se disolvió y calentó en 50 ml de etanol 95%. Seguidamente se añadió 4 gotas de fenolftaleína al 1% a la muestra y se tituló con una solución valorada de NaOH 1 N, hasta que el viraje del indicador cambie de incoloro a rosado. Para la determinación de acidez libre se utilizaron las siguientes ecuaciones: para el ácido oleico la Ecuación 6, y para el ácido palmítico la Ecuación 7, indicada en el Anexo 5.

**f) Determinación de color fotométrico**

El índice de color fotométrico se calculó con la ecuación 8 indicada por Giacomelli et al. (2006):

$$\text{ICF} = 1.29 (A_{460}) + 69.7 (A_{550}) + 41.2 (A_{620}) - 56.4 (A_{670}) \quad (8)$$

Donde:

ICF: Índice de color fotométrico

A: Absorbancia de longitud de onda (nm)

**Procedimiento:**

El espectrofotómetro se ajustó al rango de longitudes de onda requeridas a la teoría: 460, 550, 620 y 670 nm. Para medir el blanco se agregó agua destilada en una cubeta, se limpió con papel tisú antes de introducir al portacelda; una vez leído el blanco se retiró y se colocó otra cubeta con la muestra de aceite (Florián García, 2014). Los resultados registraron la absorbancia a las longitudes de onda mencionadas.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar las propiedades (densidad, viscosidad, color fotométrico) del aceite obtenido de las semillas de tuna se empleó el software de los equipos mencionados anteriormente en la Tabla 17. Los resultados de los índices de peróxidos fueron analizados en el laboratorio Louis Pasteur.

#### 4.1. Composición fisicoquímica de la semilla de tuna

La Tabla 18 muestra la composición fisicoquímica porcentual de las semillas de tuna de la variedad morada, estas semillas secaron a temperatura ambiente durante 7 días para su posterior análisis se aplicaron los métodos AOAC 964.22, AOAC 9550.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 964.05. Los resultados fueron obtenidos en el Laboratorio de Análisis Químico - UNSAAC (Anexo 1)

**Tabla 18**

*Análisis fisicoquímico de la semilla de tuna de la variedad morada*

Componentes	Semilla de tuna (%)
Humedad	10.67
Proteína	7.86
Grasa	3.60
Ceniza	1.53
Fibra	47.70
Carbohidratos	79.34

#### 4.2. Rendimiento, análisis estadístico y propiedades fisicoquímicas

##### 4.2.1. Método soxhlet

###### a) Rendimiento

En la Tabla 19 se muestran los resultados de rendimiento (%) obtenidos durante el proceso de extracción del aceite de semilla de tuna mediante el método soxhlet. Teniendo las 4 pruebas y sus respectivas replicas, con los factores de estudio: tamaño de la partícula ( $>1000 \mu\text{m}$  o  $<1000 \mu\text{m}$ ) y solvente (éter de petróleo o etanol).

En cada prueba se empleó aproximadamente 30 gramos de semillas de tuna con 190 ml de solvente. El peso de la partícula y el peso del aceite extraído permitió calcular el porcentaje de rendimiento utilizando la Ecuación 2.

**Tabla 19***Resultados del rendimiento obtenidos por el método soxhlet*

<b>EXTRACCIÓN SOXHLET</b>					
N° Prueba	FACTORES		Peso de la partícula (g)	Peso del aceite extraído (g)	RENDIMIENTO (%R)
	Tamaño (µm)	Solvente			
A1	>1000	Etanol	30.0022	2.5603	<b>8.5337</b>
A2	>1000	Etanol	30.0041	2.4422	8.0749
B1	>1000	Éter de Petróleo	30.0017	2.6618	8.8722
B2	>1000	Éter de Petróleo	30.0131	2.8691	<b>9.5595</b>
C1	<1000	Etanol	30.0041	3.5553	<b>11.8494</b>
C2	<1000	Etanol	30.0019	3.1676	10.5580
D1	<1000	Éter de Petróleo	30.0026	4.2202	<b>14.0661</b>
D2	<1000	Éter de Petróleo	30.0035	3.9034	13.0098

Como se muestra en la Tabla 19, se obtuvo un mayor rendimiento en la prueba D1 (14.07%  $\pm$ 2.358) al utilizar un menor tamaño de partícula y éter de petróleo como solvente; sin embargo, al cambiar el solvente por etanol se obtuvo un rendimiento en la prueba C1 de 11.85%  $\pm$ 2.883. Mientras que a un mayor tamaño de partícula y con etanol de solvente se obtuvo un rendimiento en la prueba A1 de 8.53%  $\pm$ 1.024, no obstante, al cambiar el solvente por éter de petróleo se obtuvo un mayor rendimiento en la prueba B2 (9.56%  $\pm$ 1.534).

Probablemente la variedad de la tuna tuvo un efecto en el rendimiento, dado que Masson Salaue (2012) en su investigación utilizó la variedad blanca obteniendo un rendimiento de 5.4% de aceite de semilla de esta variedad mediante la extracción soxhlet usando semillas trituradas de menor tamaño y éter de petróleo como solvente; sin embargo, para este estudio se empleó la semilla de tuna de variedad morada, utilizando el mismo solvente con un menor tamaño de partícula alcanzando un mejor rendimiento de 14.06% (Tabla 19).

La Tabla 19 muestra que para la extracción de aceite de semillas de tuna el solvente que genera mayor rendimiento es el éter de petróleo; sin embargo, de acuerdo al estudio realizado por Vilcarromero Chávez (2020) demostró que al emplear etanol se logra un mayor rendimiento (23.7%) a diferencia del éter de petróleo (21.8%) en la extracción por el método soxhlet, esto prueba que en su investigación no solo se obtiene altos rendimientos con éter de petróleo sino también con etanol.

### b) Análisis estadístico

La Tabla 20 muestra el resultado de la prueba de normalidad realizada para determinar si el rendimiento puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

**Tabla 20**

*Prueba de normalidad para rendimiento para el método soxhlet*

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor-P</b>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.927253	0.496244

Teniendo el test de Shapiro-Wilk para el método soxhlet con las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución sigue una distribución normal.

H<sub>1</sub>: La muestra no sigue una distribución normal.

Ya que el valor-P obtenido ( $P = 0.4962 > \alpha = 0.05$ ), entonces no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Este resultado confirma que los datos experimentales siguen una distribución normal con un 95% de confianza.

**Tabla 21**

*Pruebas de homogeneidad de varianzas para el método soxhlet*

	<b>Prueba</b>	<b>Valor-P</b>
De Bartlett		
Tamaño de partícula	1.25712	0.278002
Solvente	1.00352	0.89307

Teniendo el test de Bartlett en la Tabla 21 para el método soxhlet con las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: Las varianzas son homogéneas.

H<sub>1</sub>: Las varianzas no son homogéneas.

La prueba de Bartlett muestra que los valores de  $P = 0.278002$  y  $P = 0.89307$  para el tamaño de partícula y solvente respectivamente son mayores que  $\alpha = 0.05$ , por lo que se acepta la hipótesis nula donde las varianzas son homogéneas, ya que no

existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar con un nivel de confianza del 95%.

Con el análisis de comparación de varianzas (ANOVA) del diseño factorial 2<sup>2</sup> se analizó el rendimiento del aceite extraído mediante el método soxhlet. La Tabla 22 muestra el análisis de varianzas.

**Tabla 22**

*Análisis de varianzas para el rendimiento utilizado para el método soxhlet*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: tamaño de partícula	26.075	1	26.075	60.18	0.0015
B: solvente	5.26761	1	5.26761	12.16	0.0252
AB: tamaño de partícula - solvente	1.01204	1	1.01204	2.34	0.2012
Error total	1.73318	4	0.433295		
Total (corr.)	34.0879	7			

El análisis de varianzas determinó que las variables significativas son el tamaño de partícula y el solvente empleado; esto está determinado por los estadísticos F (60.18 y 12.16) que son mayores al valor crítico  $F=7.7086$  (Anexo 7) y los valores de P (0.0015 y 0.0252) son menores a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

La Tabla 22, muestra el ANOVA con los factores independientes (A, B) que tienen influencia significativa sobre la interacción de estas variables (AB). En consecuencia, el efecto A, acepta la hipótesis alterna: “La granulometría de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet” y el efecto B, acepta la hipótesis alterna: “El tipo de solvente empleado tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet”.

El modelo matemático del rendimiento del aceite es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 10.5654 - 1.80537 * \text{tamaño de partícula} - 0.81145 \\ & * \text{solvente} + 0.355675 * \text{tamaño de partícula} * \text{solvente} \end{aligned}$$

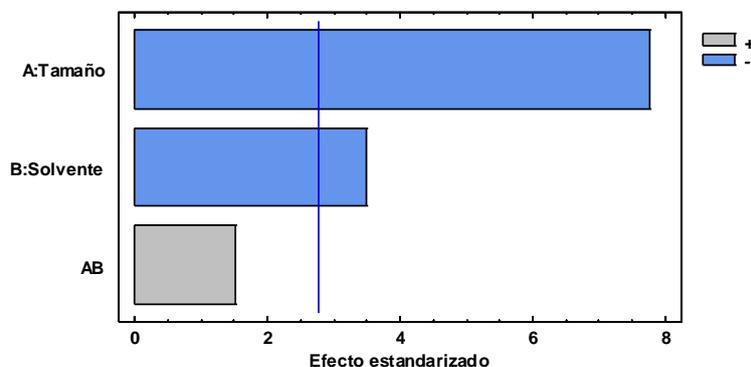
Con un  $R^2 = 94.9155$

El valor del  $R^2$  indica que la variación total de la variable respuesta (rendimiento) está en relación a las variables independientes y está dada en un 94.91% por el modelo ajustado, siendo una medida corregida de bondad de ajuste; por lo cual,

el modelo es ajustable a los datos experimentales y es utilizado para predecir el rendimiento del aceite en la extracción soxhlet en función a los factores mencionados.

**Figura 11**

*Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento utilizando el método soxhlet*



*Nota.* Donde; A: tamaño de partícula, B: solvente, AB: interacción del tamaño de partícula – solvente.

La Figura 11 muestra el efecto estandarizado que tienen las variables independientes (A: tamaño de partícula, B: solvente) y la interacción entre ellas (AB).

Los efectos A y B sobrepasan el nivel de significancia, siendo estos los de mayor efecto en cuanto a la interacción de AB, debido a que estas superan la línea del valor crítico tienen un valor significativo.

**Tabla 23**

*Efecto de las variables sobre el rendimiento para el método soxhlet*

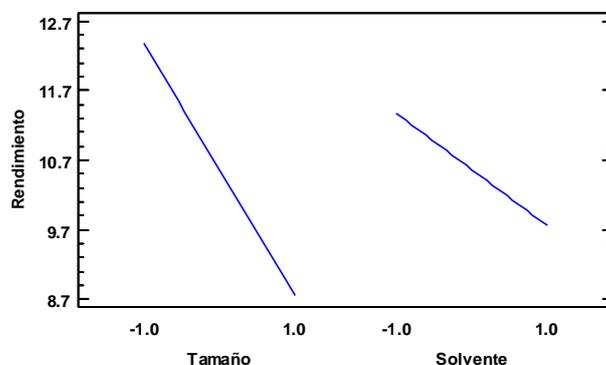
<b>Factores</b>	<b>Efecto</b>
Promedio	10.5654
A: Tamaño de partícula	-3.61075
B: Solvente	-1.6229
AB: Tamaño de partícula-solvente	0.71135

La Tabla 23 muestra los factores y el efecto de las variables y sus interacciones. El efecto del tamaño de partícula es negativo, esto se debe a que se incrementó el tamaño de partícula por lo que el rendimiento de la extracción del aceite disminuyó en un promedio de 3.61%. El efecto de la variable solvente es negativo, ya que al cambiar el solvente de éter de petróleo por etanol el rendimiento del aceite se redujo en 1.62%, lo cual se ve reflejado en la Figura 12. Por otro lado, en el caso de

la interacción tamaño de partícula-solvente (AB) el efecto es positivo, ya que el rendimiento del aceite incrementó en un promedio de 0.71%.

### Figura 12

*Gráfica de efectos principales para el rendimiento el utilizando método soxhlet*



La Figura 12 indica el resultado del rendimiento respecto al tamaño de partícula (-1.0: <1000  $\mu\text{m}$ , 1.0: >1000  $\mu\text{m}$ ) y solvente (-1.0: éter de petróleo, 1.0: etanol) utilizado en el método soxhlet.

En la línea de tendencia de rendimiento – tamaño, muestra que al emplear un menor tamaño de partícula se obtuvo mejor rendimiento que con mayor tamaño de partículas. Mientras que, en la línea de tendencia rendimiento – solvente, indica que al utilizar éter de petróleo se obtuvo mayor rendimiento que al emplear etanol como solvente.

En la Figura 12 se tienen mayores rendimientos con los factores: partículas de menor tamaño y éter de petróleo como solvente. Este análisis se ve reflejado en los resultados del rendimiento en la Tabla 19. Por otro lado, se muestra que al aumentar el tamaño de las partículas de menor tamaño (1000  $\mu\text{m}$ ) a mayor tamaño (1000  $\mu\text{m}$ ) el rendimiento se ve afectado con una reducción del 3.6 %.

Masson Salaue (2012) empleó la variedad blanca para su estudio y obtuvo 5.4%, a pesar de tener factores en común: tamaño de partícula (<1000  $\mu\text{m}$ ) y solvente (éter de petróleo) como las del autor, existe una diferencia en el resultado de esta investigación ya que con la variedad morada se obtuvo un rendimiento de 14.07% (Tabla 19).

### c) Propiedades fisicoquímicas

De las 4 pruebas realizadas con sus respectivas replicas se obtuvieron 8 resultados, de estos se seleccionaron aquellas pruebas que tuvieron mejor rendimiento (A1, B2, C1 y D1) para su respectivo análisis fisicoquímico.

**Tabla 24**

*Resultados de la densidad y viscosidad del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet*

<b>N° prueba</b>	<b>DENSIDAD <math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>VISCOSIDAD 20 °C <math>\mu</math> (mPa.s)</b>
A1	0.8706	43.296
B2	0.9099	45.302
C1	0.8787	43.586
D1	0.9179	45.515

La Tabla 24 indica los resultados de densidad y viscosidad obtenidos por el viscosímetro a una temperatura de 20 °C.

De las cuatro pruebas analizadas se tiene que las pruebas B2 y D1 presentan una densidad de 0.9099 g/cm<sup>3</sup> y 0.9179 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, estas pruebas extraídas con éter de petróleo están cerca a la densidad teórica de 0.907 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C obtenida por Musa Özcan & Al Juhaimi (2011), debido a que los autores utilizaron éter dietílico como solvente y otras condiciones indicadas en el Apéndice E; sin embargo, las pruebas A1 y C1 muestran resultados que están por debajo del valor teórico mencionado, puesto que en estas pruebas se empleó etanol como solvente.

Por otro lado, las viscosidades obtenidas en las cuatro pruebas A1, B2, C1 y D1 están por debajo de la viscosidad teórica de 53 mPa.s a 20 °C indicada por Ennouri et al. (2005), donde su alta viscosidad se debe a que los autores utilizaron n-hexano como solvente y otras condiciones de extracción (Apéndice E), mientras que en este estudio el tamaño de las semillas y los solventes empleados para la extracción fueron diferentes.

**Tabla 25**

*Resultados del índice de peróxido e índice de refracción del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet*

N° Prueba	ÍNDICE DE PERÓXIDO meq O <sub>2</sub> /kg de aceite	ÍNDICE DE REFRACCIÓN		
		T (°C)	nD	nD (20 °C)
A1	2.19	17.5	1.4701	1.4691
B2	8.95	18.0	1.4647	1.4639
C1	6.24	18.5	1.4660	1.4654
D1	3.43	18.8	1.4706	1.4701

La Tabla 25 muestra los resultados para cada prueba de índice de peróxido obtenidos en el Laboratorio Louis Pasteur. Los índices de refracción hallados por el refractómetro están a temperatura ambiente, los resultados obtenidos son corregidos a una temperatura de 20 °C utilizando la Ecuación 5 del Anexo 4.

El índice de peróxido muestra las pruebas A1 y D1 con 2.19 meq O<sub>2</sub>/kg y 3.43 meq O<sub>2</sub>/kg respectivamente, tienen resultados que son próximos a 2.13 meq O<sub>2</sub>/kg obtenido por Musa Özcan & Al Juhaimi (2011) que trabajaron con éter dietílico como solvente (Apéndice E). Las pruebas B2 y C1 con 8.95 meq O<sub>2</sub>/kg y 6.24 meq O<sub>2</sub>/kg respectivamente tienen resultados cercanos a 6.0 meq O<sub>2</sub>/kg obtenido por Kadda et al. (2022) donde empleó n-hexano como solvente (Apéndice E). La diferencia de los resultados obtenidos en esta investigación con respecto a los autores mencionados puede deberse al tiempo de extracción-evaporación, solvente utilizado y tamaño de las semillas. Por tanto la prueba A1 al tener un menor el índice de peróxido presenta una mejor calidad de aceite.

Para el índice de refracción los resultados obtenidos de las cuatro pruebas A1, B2, C1 y D1 son cercanos al valor teórico de 1.4596 obtenido por Sawaya & Khan (1982), la proximidad de estos resultados puede deberse al tamaño de las semillas y/o solvente empleado (Apéndice E).

**Tabla 26**

*Resultados de la acidez libre y del índice de acidez del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet*

N° Prueba	ACIDEZ LIBRE		ÍNDICE DE ACIDEZ (mg NaOH/g)
	Ácido oleico (%)	Ácido palmítico (%)	
A1	17.670	15.664	3.516
B2	24.554	21.768	4.886
C1	24.945	22.114	4.964
D1	23.808	21.106	4.738

La Tabla 26 señala los resultados obtenidos de acidez libre (ácido oleico y ácido palmítico) utilizando las Ecuaciones 6 y 7 e índice de acidez con el Anexo 5.

Para el ácido oleico, los resultados obtenidos en las pruebas A1, B2, C1 y D1 se encuentran dentro del rango teórico de 17.6% - 25.3% obtenido por Yeddes et al. (2012), la semejanza de estos resultados se debe a que los autores emplearon la variedad de tuna blanca-espinosa (Apéndice E), mientras que en este estudio se utilizó la variedad de tuna morada con otros factores de extracción (tamaño de semilla y solvente).

Para el ácido palmítico, los resultados de A1, B2, C1 y D1 se encuentran lejanos al valor teórico de 17.32% obtenido por Kadda et al. (2022); debido a que los autores utilizaron n-hexano como solvente y otras condiciones indicadas en el Apéndice E; mientras que en este estudio para las pruebas A1 y C1 se empleó etanol y para las pruebas B2 y D1 se utilizó éter de petróleo como solvente.

El índice de acidez muestra que los resultados de las pruebas A1, B2, C1 y D1 se encuentran por debajo del valor teórico de 5.854 mg NaOH/g obtenido por Kadda et al. (2022); este alto índice de acidez se debe a que los autores emplearon n-hexano como solvente (Apéndice E); por tanto la prueba A1 con 3.516 mg NaOH/g muestra una mejor calidad del aceite con respecto a las demás pruebas.

**Tabla 27**

*Resultados del índice de color fotométrico del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método soxhlet*

N° Prueba	COLOR FOTOMÉTRICO				ICF
	$\lambda 460$ (nm)	$\lambda 550$ (nm)	$\lambda 620$ (nm)	$\lambda 670$ (nm)	
A1	1.556	0.511	0.214	0.200	35.161
B2	2.154	0.611	0.530	0.732	25.917
C1	2.445	0.955	0.644	0.605	62.128
D1	1.725	0.300	0.264	0.482	6.827

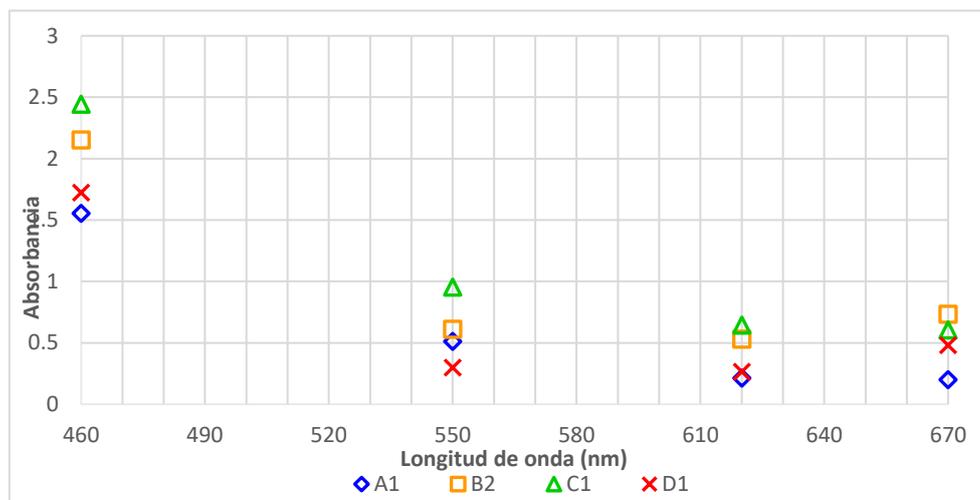
En la Tabla 27 se muestran las pruebas A1, B2, C1 y D1 con sus respectivos valores de absorbancia para las longitudes de onda ( $\lambda 460$ ,  $\lambda 550$ ,  $\lambda 620$  y  $\lambda 670$ ), mientras que el ICF se calculó con la Ecuación 8.

Para las pruebas A1, B2, C2 y D1 se tienen los valores más altos (1.556, 2.154, 2.445 y 1.725) de absorbancia en la longitud de onda de 460 nm, esto quiere decir que las pruebas absorben una mayor cantidad de luz en la región azul del espectro (Anexo 8), además se aprecia que a medida que avanza la longitud de onda la absorbancia disminuye.

A mayor valor del índice de color fotométrico (ICF), la presencia de pigmentos en el aceite extraído es mayor; cuanto más oscuro sea el aceite menor es la cantidad de luz que pasa a través de él (Rettig K. & Ah-Hen, 2014). En esta investigación la prueba C1 indica mayor presencia de pigmentos ante las demás pruebas; mientras que la prueba D1 presenta una menor cantidad de pigmentos.

**Figura 13**

*Absorbancia vs longitud de onda para el método soxhlet*



La Figura 13 muestra los valores de absorbancia en las longitudes de onda (460 ,550, 620 y 670 nm) para las pruebas A1, B2, C2 y D1.

Los puntos A1 y C1 presentan un perfil similar entre sí, dado que emplean etanol como solvente; sin embargo, difieren en el tamaño de la partícula (A1: >1000  $\mu\text{m}$ ), (C1: <1000  $\mu\text{m}$ ).

Los puntos B2 y D1 muestran un perfil similar análogo, puesto que emplean éter de petróleo como solvente; sin embargo, difieren en el tamaño de la partícula (B2: >1000  $\mu\text{m}$ ), (D1: <1000  $\mu\text{m}$ ).

Los resultados de las pruebas A1, B2, C1 y D1 para las longitudes de onda de 460 nm y 550 nm están representados con los puntos en la Figura 20, las cuales corresponden a la presencia del pigmento carotenoide como se referencia en el Anexo 9; mientras que en los puntos para las longitudes de onda de 620 nm y 670 nm manifiestan la presencia pigmentos de  $\alpha$ -feofitina y clorofila presentes en el aceite de semilla de tuna de acuerdo con Ettalibi et al. (2021).

Los resultados del contenido de pigmentos de los aceites obtenidos para las cuatro pruebas muestran mayor presencia de carotenoides que los de  $\alpha$ -feofitina y clorofila. La prueba C1 presenta mayor cantidad de carotenoides en la longitud onda de 460 nm y 550 nm, este pigmento asegura la estabilidad y resistencia a la oxidación del aceite durante el almacenamiento. La prueba B2 presenta mayores pigmentos de  $\alpha$ -feofitina y clorofila que las demás pruebas en la longitud de onda de 670 nm,

indicando que la presencia de estos pigmentos tiene efectos prooxidantes en la luz y una actividad antioxidante como indica Ettalibi et al. (2021). Por tanto, el aceite de las pruebas B2 y C1 se distinguen por presentar más carotenoides,  $\alpha$ -feofitina y clorofila ante las demás pruebas; lo que le dio a estos aceites una coloración amarilla (Anexo 8).

#### 4.2.2. Método de maceración

##### a) Rendimiento

En la Tabla 28 se muestran los resultados de rendimiento (%) obtenidos durante el proceso de extracción del aceite de semilla de tuna mediante el método de maceración. Teniendo las 8 pruebas y sus respectivas replicas, con los factores de estudio: tamaño de la partícula ( $>1000 \mu\text{m}$  o  $<1000 \mu\text{m}$ ), condición (tostado o sin tostar) y solvente (éter de petróleo o mezcla de éter de petróleo y etanol (1:1)).

En cada prueba se empleó aproximadamente 30 gramos de semillas de tuna con 150 ml de solvente. El peso de la partícula y el peso del aceite extraído permitió calcular el porcentaje de rendimiento utilizando la Ecuación 2.

**Tabla 28**

*Resultados del rendimiento obtenidos por el método de maceración*

MACERACIÓN						
N° Prueba	FACTORES			Peso de la partícula (g)	Peso del aceite extraído (g)	RENDIMIENTO (%R)
	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	Condición	Solvente			
E1	>1000	Tostado	Éter de petróleo	30.0253	1.7146	<b>5.7105</b>
E2	>1000	Tostado	Éter de petróleo	30.0224	1.6259	5.4008
F1	>1000	Tostado	Éter de petróleo-etanol	30.0010	5.4469	<b>18.1557</b>
F2	>1000	Tostado	Éter de petróleo-etanol	30.0288	5.3518	17.8222
G1	>1000	Sin tostar	Éter de petróleo	30.0208	1.3278	4.4229
G2	>1000	Sin tostar	Éter de petróleo	30.0729	1.4376	<b>4.7804</b>
H1	>1000	Sin tostar	Éter de petróleo-etanol	30.0445	3.9202	<b>13.0480</b>
H2	>1000	Sin tostar	Éter de petróleo-etanol	30.0044	3.8748	12.9141
I1	<1000	Tostado	Éter de petróleo	30.0062	3.0820	10.2712
I2	<1000	Tostado	Éter de petróleo	30.0615	3.2613	<b>10.8488</b>
J1	<1000	Tostado	Éter de petróleo-etanol	30.0371	5.4422	18.1183
J2	<1000	Tostado	Éter de petróleo-etanol	30.0283	5.1083	<b>18.3437</b>
K1	<1000	Sin tostar	Éter de petróleo	30.0021	2.8145	9.3810
K2	<1000	Sin tostar	Éter de petróleo	30.0041	2.8935	<b>9.6437</b>
L1	<1000	Sin tostar	Éter de petróleo-etanol	30.0512	4.8637	<b>16.1847</b>
L2	<1000	Sin tostar	Éter de petróleo-etanol	30.0031	4.7448	15.8144

Como se muestra en la Tabla 28, se obtuvieron mejores rendimientos utilizando la mezcla de solventes (1:1) de éter de petróleo y etanol.

Con una partícula de menor tamaño, tostado y utilizando la mezcla de solventes se obtuvo el más alto rendimiento ( $J_2=18.34\% \pm 0.503$ ); sin embargo, al utilizar los factores de: partícula de mayor tamaño, sin tostar y éter de petróleo como solvente se obtuvo el rendimiento más bajo ( $G_2=4.78\% \pm 0.798$ ). Por tanto, se deduce que las pruebas que solo emplearon éter de petróleo como solvente independientemente de los factores de tamaño y condición de la partícula obtuvieron los menores rendimientos.

Al-Naqeb (2015) en su investigación obtuvo 6.1% de rendimiento, debido a que sus factores de estudio fueron: semillas de tuna molidas menores a 35 mm, éter de petróleo como solvente y un tiempo de maceración de 24 horas; sin embargo, en este estudio al emplear el mismo solvente con tamaño de partícula menor a 1000  $\mu\text{m}$  y con un tiempo de maceración de 15 días, se obtuvo un rendimiento de 9.64% superior al del autor.

Para Ramírez-Moreno et al. (2017) los resultados demostraron que la maceración con etanol y 25 gramos de semillas menores a 1mm, alcanzó un rendimiento del 10.13% para la variedad verde y 5.11% para la variedad roja; tomando en cuenta la sugerencia de estos autores, para este estudio se hizo la extracción por maceración con una mezcla de solventes apolar y polar en la proporción de 1:1 (éter de petróleo: etanol) y se logró obtener mayores rendimientos, siendo del 16.18% para semillas sin tostar de menor tamaño mostradas en la Tabla 28.

Millones Isique (2020) evaluó que al tostar las semillas (trituras y éter de petróleo como solvente) logró obtener mejores rendimientos que al emplear semillas sin tostar. En esta investigación se obtuvo un rendimiento de 10.85% con semillas tostadas y del 9.64% con semillas sin tostar empleando las mismas condiciones de tamaño y solvente aplicadas por la autora.

#### **b) Análisis estadístico**

La Tabla 29 muestra el resultado de la prueba de normalidad realizada para determinar si el rendimiento puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

**Tabla 29**

*Prueba de normalidad para rendimiento para el método de maceración*

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor-P</b>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.902568	0.0896788

Teniendo el test de Shapiro-Wilk para el método de maceración con las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución sigue una distribución normal.

H<sub>1</sub>: La muestra no sigue una distribución normal.

Ya que el valor-P obtenido ( $P = 0.0897 > \alpha = 0.05$ ), entonces no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Este resultado confirma que los datos experimentales siguen una distribución normal con un 95% de confianza.

**Tabla 30**

*Pruebas de homogeneidad de varianzas para el método de maceración*

<b>De Bartlett</b>	<b>Prueba</b>	<b>Valor-P</b>
Tamaño de partícula	1.03333	0.512754
Condición de partícula	1.03393	0.509082
Solvente	1.05849	0.388773

Teniendo el test de Bartlett en la Tabla 30 para el método soxhlet con las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: Las varianzas son homogéneas.

H<sub>1</sub>: Las varianzas no son homogéneas.

La prueba de Bartlett muestra que los valores de  $P = 0.512754$ ,  $P = 0.509082$  y  $P = 0.388373$  para el tamaño de partícula, condición de partícula y solvente respectivamente son mayores que  $\alpha = 0.05$ , por lo que se acepta la hipótesis nula donde las varianzas son homogéneas, ya que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar con un nivel de confianza del 95%.

Con el análisis de comparación de varianza (ANOVA) del diseño factorial 2<sup>3</sup> se analizó el rendimiento del aceite extraído mediante el método de maceración. La Tabla 31 muestra el análisis de varianza.

**Tabla 31***Análisis de varianza para el rendimiento utilizado para el método de maceración*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: tamaño de partícula	43.3991	1	43.3991	736.02	0.0000
B: condición de partícula	21.349	1	21.349	362.07	0.0000
C: solvente	305.741	1	305.741	5185.17	0.0000
AB: tamaño de partícula – condición de partícula	1.79935	1	1.79935	30.52	0.0006
AC: tamaño de partícula – solvente	11.0706	1	11.0706	187.75	0.0000
BC: condición de la partícula – solvente	6.85838	1	6.85838	116.31	0.0000
ABC: tamaño de partícula – condición de partícula – solvente	2.05937	1	2.05937	34.93	0.0004
Error total	0.471716	8	0.471716		
Total (corr.)	392.748	15			

El análisis de varianza determinó que todas las variables son significativas; esto está determinado por los estadísticos F (736.02, 362.07, 5185.17, 30.52, 187.75, 116.31, 34.93) que son mayores al valor crítico  $F = 5.3177$  (Anexo 7), y los valores de P (0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0006, 0.0000, 0.0000, 0.0004) son menores a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

La Tabla 31, muestra el ANOVA con los factores independientes y sus interacciones (A, B, C, AB, AC, BC, ABC) que tienen influencia significativa. En consecuencia, el efecto A acepta la hipótesis alterna: “La granulometría de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración”, el efecto B acepta la hipótesis alterna: “La condición de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración” y el efecto C acepta la hipótesis alterna: “El tipo de solvente empleado tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración”.

El modelo matemático del rendimiento del aceite es el siguiente:

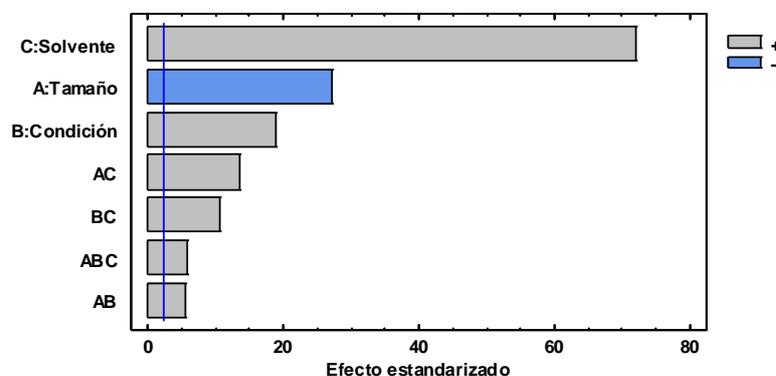
$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} = & 11.9288 - 1.64695 * \text{tamaño de partícula} + 1.15512 \\
 & * \text{condición de la partícula} - 4.37136 * \text{solvente} + 0.33535 \\
 & * \text{tamaño de partícula} * \text{condición de la partícula} - 0.831813 \\
 & * \text{tamaño de partícula} * \text{solvente} - 0.654713 \\
 & * \text{condición de la partícula} * \text{solvente} \\
 & - 0.358762 \text{tamaño de partícula} * \text{condición de la partícula} \\
 & * \text{solvente}
 \end{aligned}$$

Con un  $R^2 = 99.8799$

El valor del  $R^2$  indica que la variación total de la variable respuesta (rendimiento) está en relación a las variables independientes y está dada en un 99.87% por el modelo ajustado, siendo una medida corregida de bondad de ajuste; por lo cual, el modelo es ajustable a los datos experimentales y es utilizado para predecir el rendimiento del aceite en la extracción por maceración en función a los factores mencionados.

#### Figura 14

Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento utilizando el método maceración



La Figura 14 muestra el efecto estandarizado que tienen las variables independientes (A: tamaño de partícula, B: condición de partícula, C: solvente y la interacción entre ellas (AB, AC, BC, ABC)

Todos las variables y sus interacciones sobrepasan el nivel de significancia, siendo estos los de mayor efecto, debido a que estas superan la línea del valor crítico tienen un valor significativo.

**Tabla 32***Efectos de las variables sobre el rendimiento para el método de maceración*

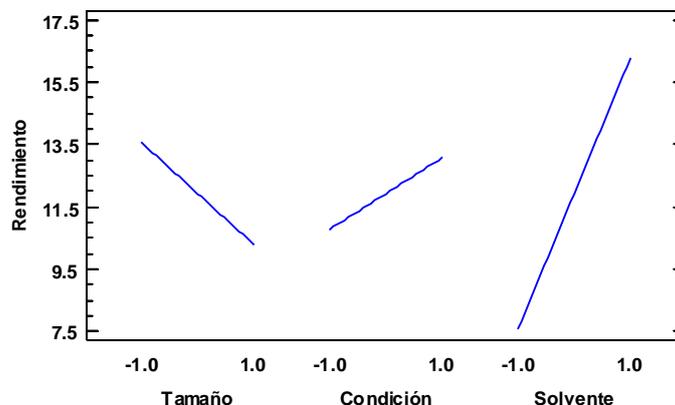
<b>Factores</b>	<b>Efecto</b>
Promedio	11.9288
A: Tamaño de partícula	-3.2939
B: Condición de partícula	2.31025
C: solvente	-8.74272
AB: tamaño de partícula – condición de partícula	0.6707
AC: tamaño de partícula – solvente	-1.66363
BC: condición de la partícula – solvente	-1.30942
ABC: tamaño de partícula – condición de partícula – solvente	-0.717525

La Tabla 32 muestra los factores y el efecto de las variables y sus interacciones. El efecto del tamaño de partícula es negativo, esto se debe al incrementar el tamaño de partícula el rendimiento de la extracción del aceite disminuyó en promedio 3.29%, el efecto de la variable condición es positivo, ya que al cambiar la condición de sin tostar a tostado el rendimiento de la extracción del aceite aumentó en un 2.31%, el efecto de la variable solvente es negativo, ya que al cambiar el solvente de la mezcla (éter de petróleo y etanol) por éter de petróleo el rendimiento del aceite se redujo en 8.74%, lo cual se ve reflejado en la Figura 15.

Por otro lado, en el caso de la interacción tamaño de partícula-condición de partícula (AB) el efecto es positivo, ya que el rendimiento del aceite se incrementó en un promedio de 0.67%. En la interacción tamaño de partícula-solvente (AC) el efecto es negativo, ya que el rendimiento del aceite disminuyó en un promedio de 1.66%. En la interacción condición de partícula-solvente (BC) el efecto es negativo, ya que el rendimiento del aceite disminuyó en un promedio de 1.31%. En la interacción del tamaño de partícula-condición de la partícula-solvente (ABC) el efecto es negativo, ya que el rendimiento del aceite disminuyó en un promedio de 0.72%.

**Figura 15**

*Gráfica de efectos principales para el rendimiento utilizando método maceración*



La Figura 15 indica el resultado del rendimiento respecto al tamaño de partícula (-1.0: <math>1000\ \mu\text{m}</math>, 1.0: >1000  $\mu\text{m}</math>), condición (-1.0: sin tostar, 1.0: tostado) y solvente (-1.0: éter de petróleo, 1.0: mezcla de éter de petróleo y etanol) utilizado en el método de maceración.$

La línea de tendencia de rendimiento – tamaño, muestra que al emplear partículas de menor tamaño se obtuvo mejor rendimiento que con partículas de mayor tamaño.

La línea de tendencia rendimiento – condición, indica que al utilizar semillas sin tostar se tuvo menor rendimiento que con semillas tostadas.

La línea de tendencia rendimiento – solvente, muestra que al emplear éter de petróleo se obtuvo menor rendimiento que al emplear la mezcla éter de petróleo y etanol.

En la Figura 15 se tienen mayores rendimientos con los factores: partículas de menor tamaño, tostadas y mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol). Este análisis se ve reflejado en los resultados del rendimiento en la Tabla 28.

Por otro lado, se muestra que al aumentar el tamaño de las partículas de menor tamaño (1000  $\mu\text{m}</math>) a mayor tamaño (1000  $\mu\text{m}</math>) el rendimiento se ve afectado con una reducción del 3.2 %.$$

Ramírez-Moreno et al. (2017) recomienda combinar solventes en la maceración, ya que podría aumentar el rendimiento en la extracción del aceite. Por

ello, en esta investigación se logró obtener rendimientos altos al mezclar solventes (éter de petróleo y etanol) a diferencia de utilizar un único solvente (éter de petróleo).

### c) Propiedades fisicoquímicas

De las 8 pruebas realizadas con sus respectivas replicas se obtuvieron 16 resultados, de estos se seleccionaron aquellas pruebas que tuvieron mejor rendimiento (E1, F1, G2, H1, I2, J2, K2 y L1) para su respectivo análisis fisicoquímico.

**Tabla 33**

*Resultados de la densidad y viscosidad del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración*

Nº Prueba	DENSIDAD $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	VISCOSIDAD $\mu$ (mPa.s)
E1	0.8983	48.382
F1	0.8631	44.274
G2	0.9138	46.391
H1	0.8880	43.022
I2	0.9156	48.291
J2	0.8799	43.445
K2	0.9086	45.573
L1	0.8792	43.223

La Tabla 33 indica los resultados de densidad y viscosidad obtenidos por el viscosímetro a una temperatura de 20 °C.

De las ocho pruebas analizadas se tiene que las pruebas G2, I2 y K2 presentan densidades de 0.9138 g/cm<sup>3</sup>, 0.9156 g/cm<sup>3</sup> y 0.9086 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, estas pruebas extraídas con éter de petróleo están próximas a la densidad teórica de 0.919 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C obtenida por Kadda et al., (2022); ya que utilizaron n-hexano como solvente (Apéndice E); sin embargo, las pruebas E1, F1, H1, J2 y L1 tienen resultados que están por debajo del valor teórico debido a que en este estudio se empleó la mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol) con otras características de la semilla (tamaño y condición).

Por otro lado, las viscosidades obtenidas en las pruebas E1 (48.382 mPa.s) e I2 (48.291 mPa.s) donde se empleó solamente éter de petróleo como solvente con la condición de tostado están próximas a la viscosidad teórica de 49 mPa.s a 20 °C

indicada por Ennouri et al. (2005), donde su alta viscosidad se debe a que los autores emplearon n-hexano como solvente y otras condiciones de extracción (Apéndice E).

**Tabla 34**

*Resultados del índice de peróxido e índice de refracción del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración*

N° Prueba	ÍNDICE DE PERÓXIDO meq O <sub>2</sub> /kg de aceite	ÍNDICE DE REFRACCIÓN		
		T (°C)	nD	nD (20 °C)
E1	4.98	17.4	1.4218	1.4208
F1	4.46	18.7	1.4683	1.4678
G2	3.99	19.7	1.4603	1.4602
H1	6.57	19.8	1.4617	1.4616
I2	9.95	19.9	1.4365	1.4365
J2	4.23	20.8	1.4675	1.4678
K2	8.98	19.5	1.4376	1.4374
L1	2.45	19.3	1.4611	1.4608

En la Tabla 34 se muestran los resultados para cada una de las pruebas de índice de peróxido obtenidos en el Laboratorio Louis Pasteur. Los índices de refracción hallados por el refractómetro están a temperatura ambiente, los resultados obtenidos son corregidos a una temperatura de 20 °C utilizando las Ecuación 5 del Anexo 4.

El índice de peróxido de la prueba H1 extraída con una mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol) con resultado de 6.57 meq O<sub>2</sub>/kg está cerca al valor teórico de 5.97 meq O<sub>2</sub>/kg indicado por Kadda et al. (2022); debido a que los autores utilizaron n-hexano como solvente y otras condiciones indicadas en el Apéndice E. Por otro lado, las pruebas I2 y K2 se encuentran por encima del valor teórico mencionados por la autora, en este estudio para estas pruebas se emplearon únicamente éter de petróleo como solvente; mientras que las pruebas E1, F1, G2, J2 y L1 tienen resultados que están por debajo del valor teórico que puede deberse a las diferentes características utilizadas por los autores como el tamaño, condición de la semilla y el tipo de solvente. En este estudio la prueba L1 muestra un menor nivel de peróxidos, indicando que esta prueba presenta una mejor calidad de aceite ante las demás.

De las ocho pruebas analizadas para el índice de refracción se tiene que las pruebas F1, G2, H1, J2 y L1 presentan resultados próximos al valor teórico de 1.4760 obtenido por Kadda et al. (2022), puesto que los autores utilizaron n-hexano como solvente (Apéndice E); mientras que en esta investigación se realizó con diferentes factores como el tamaño, condición de la semilla y tipo de solvente; entre tanto las pruebas E1, I2 y K2 presentan resultados por debajo del valor teórico mencionado, puesto que para las pruebas se utilizó éter de petróleo como solvente.

**Tabla 35**

*Resultados de la acidez libre y del índice de acidez del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración*

N° Prueba	ACIDEZ LIBRE		ÍNDICE DE ACIDEZ (mg NaOH/g)
	Ácido oleico (%)	Ácido palmítico (%)	
E1	17.751	15.737	3.532
F1	11.440	10.142	2.277
G2	23.373	20.721	4.651
H1	23.828	21.124	4.742
I2	22.678	20.105	4.513
J2	22.354	19.818	4.449
K2	22.578	20.016	4.493
L1	18.288	16.213	3.639

La Tabla 35 señala los resultados obtenidos de acidez libre (ácido oleico y ácido palmítico) utilizando las Ecuaciones 6 y 7 e índice de acidez con el Anexo 5.

Para el ácido oleico, los resultados obtenidos en las pruebas E1 y F1 se encuentran próximos al rango teórico de 12.8% - 17.0% obtenidos por Regalado Rentería et al. (2018); mientras que las pruebas G2, H1, I2, J2, K2 y L1 presentan resultados más altos que el valor teórico mencionado por los autores; estos altos resultados pueden deberse a que en este estudio se empleó la variedad de tuna morada a diferencia de las variedades y condiciones de maceración empleado por los autores.

Para el ácido palmítico, las pruebas E1, F1, G2, H1, I2, J2, K2 y L1 se encuentran por debajo del valor teórico de 22.419% obtenido por Kadda et al. (2022), este resultado se debe a que los autores emplearon n-hexano como solvente mientras que en esta investigación se utilizó otros solventes con características diferentes en la semilla.

El índice de acidez de las ocho pruebas E1, F1, G2, H1, I2, J2, K2 y L1 muestra que los resultados se encuentran por debajo del valor teórico de 5.667 mg NaOH/g obtenido por Kadda et al. (2022); este elevado índice de acidez se debe a que los autores emplearon n-hexano como solvente (Apéndice E); la prueba F1 con un índice de acidez de 2.277 mg NaOH/g muestra una mejor calidad del aceite ante las demás pruebas.

**Tabla 36**

*Resultados del índice de color fotométrico del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de maceración*

N° Prueba	COLOR FOTOMETRICO				ICF
	$\lambda 460$ (nm)	$\lambda 550$ (nm)	$\lambda 620$ (nm)	$\lambda 670$ (nm)	
E1	1.130	0.438	0.293	0.332	25.333
F1	1.559	0.680	0.758	0.871	31.512
G2	0.979	0.253	0.209	0.299	10.644
H1	2.180	1.461	1.354	1.711	63.928
I2	1.055	0.353	0.267	0.306	19.707
J2	2.472	1.306	1.500	1.670	61.829
K2	0.900	0.213	0.187	0.281	7.863
L1	1.742	0.858	0.613	0.915	35.699

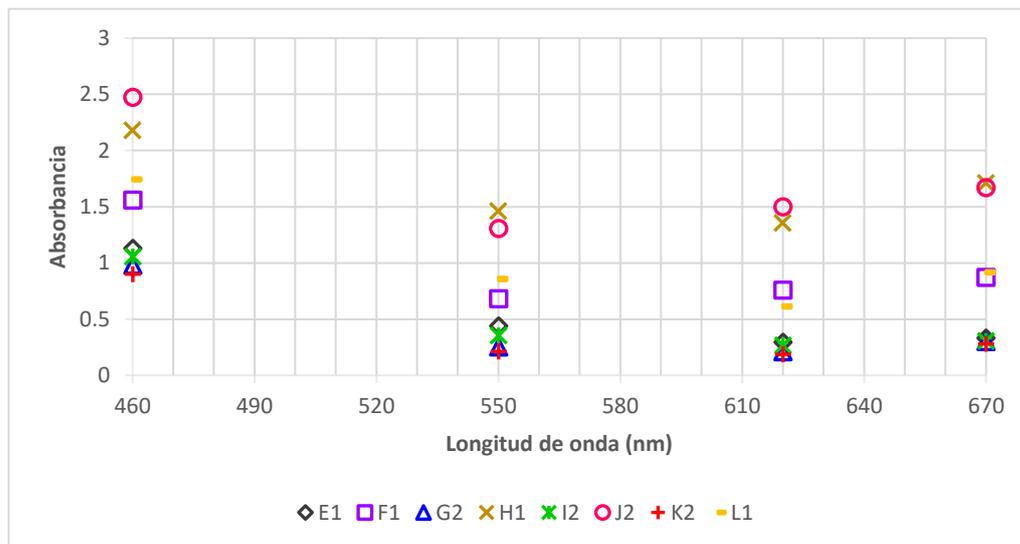
En la Tabla 36 se muestran las pruebas E1, F1, G2, H1, I2, J2, K2 y L1 con sus respectivos valores de absorbancia para las longitudes de onda ( $\lambda 460$ ,  $\lambda 550$ ,  $\lambda 620$  y  $\lambda 670$ ), mientras que el ICF se calculó con la Ecuación 8.

Para las pruebas E1, F1, G2, H1, I2, J2, K2 y L1 se tienen los valores más altos (1.130, 1.159, 0.592, 2.080, 1.055, 2.472, 0.900, 1.742) de absorbancia en la longitud de onda de 460 nm, esto quiere decir que las pruebas absorben una mayor cantidad de luz en la región azul del espectro (Anexo 8); además, se aprecia que a medida que avanza la longitud de onda la absorbancia disminuye.

A mayor valor del índice de color fotométrico (ICF), la presencia de pigmentos en el aceite extraído es mayor; cuanto más oscuro sea el aceite menor es la cantidad de luz que pasa a través de el (Rettig K. y Ah-Hen, 2014). En esta investigación la prueba H1 indica mayor presencia de pigmentos ante las demás pruebas; mientras que la prueba K2 presenta una menor cantidad de pigmentos.

**Figura 16**

*Absorbancia vs longitud de onda para el método de maceración*



La Figura 16 muestra los valores de absorbancia en las longitudes de onda (460 ,550, 620 y 670 nm) para las pruebas E1, F1, G2, H1, I2, J2, K2 y L1.

Los puntos F1 y J2 presentan un perfil similar entre sí, dado que emplean la misma mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol) con la condición de partícula tostada; sin embargo, difieren en el tamaño de la partícula (F1: >1000  $\mu\text{m}$ ), (J2: <1000  $\mu\text{m}$ ).

Los puntos H1 y L1 muestran un perfil similar entre sí, puesto que emplean la misma mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol) con la condición de partícula sin tostar; sin embargo, difieren en el tamaño de la partícula (H1: >1000  $\mu\text{m}$ ), (L1: <1000  $\mu\text{m}$ ).

Los puntos E1 y I2 presentan un perfil similar entre sí, dado que emplean el mismo solvente (éter de petróleo) con la condición de partícula tostada; sin embargo, difieren en el tamaño de la partícula (E1: >1000  $\mu\text{m}$ ), (I2: <1000  $\mu\text{m}$ ).

Los puntos G2 y K2 presentan un perfil similar entre sí, puesto que emplean el mismo solvente (éter de petróleo) con la condición de partícula sin tostar; sin embargo, difieren en el tamaño de la partícula (G2: >1000  $\mu\text{m}$ ), (K2: <1000  $\mu\text{m}$ ).

Los resultados de las ocho pruebas para las longitudes de onda de 460 nm están representados con los puntos en la Figura 21, las cuales corresponden a la presencia del pigmento carotenoide como se referencia en el Anexo 9; mientras que en los puntos para las longitudes de onda de 620 nm y 670 nm manifiestan la presencia

pigmentos de  $\alpha$ -feofitina y clorofila presentes en el aceite de semilla de tuna de acuerdo con Ettalibi et al. (2021).

Los resultados del contenido de pigmentos de los aceites obtenidos para las ocho pruebas muestran que existe presencia de carotenoides,  $\alpha$ -feofitina y clorofila; resaltando a los carotenoides por encima de los demás pigmentos. La prueba J2 presenta mayor cantidad de carotenoides en la longitud onda de 460 nm, este pigmento tiene un efecto protector contra la fotooxidación. Las pruebas H1 y J2 presentan mayores pigmentos de  $\alpha$ -feofitina y clorofila que las demás pruebas para las longitudes de onda de 620 nm y 670 nm, indicando que la presencia de estos pigmentos tiene efectos prooxidantes en la luz y una actividad antioxidante como indica Ettalibi et al. (2021). Por tanto, el aceite de la prueba H1 se distingue por presentar más carotenoides,  $\alpha$ -feofitina y clorofila ante las demás pruebas; lo que le da a este aceite una coloración amarillo-verdoso (Anexo 8).

Las pruebas E1, F1, I2 y J2 tienen como factor en común la condición de ser semillas tostadas, de las cuales la prueba J2 manifiesta un ligero incremento en la longitud de onda de 460 nm, debido a que los factores de extracción fueron: semillas pequeñas ( $<1000 \mu\text{m}$ ) y la mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol); por lo cual, el aceite de la prueba J2 muestra un color amarillo-intenso (Anexo 8).

#### **4.2.3. Método de prensado en frío**

##### **a) Rendimiento**

En la Tabla 37 se muestran los resultados de rendimiento (%) obtenidos durante el proceso de extracción del aceite de semilla de tuna mediante el método de prensado en frío. Teniendo las 4 pruebas y sus respectivas replicas, con los factores de estudio: presión de trabajo (200 bar y 250 bar) y el porcentaje de humedad (7-8% y 10-11%).

En cada prueba se empleó aproximadamente 30 gramos de semillas de tuna fragmentadas e hidratadas con 75 ml de agua destilada. El peso de la partícula y el peso del aceite extraído permitió calcular el porcentaje de rendimiento utilizando la Ecuación 2.

**Tabla 37***Resultados del rendimiento obtenidos de la extracción por prensado en frío*

<b>PRENSADO</b>						
<b>N° Prueba</b>	<b>FACTORES</b>		<b>Peso de Partícula (g)</b>	<b>Peso de Partícula húmeda (g)</b>	<b>Peso del aceite extraído (g)</b>	<b>RENDIMIENTO (%R)</b>
	<b>Presión de trabajo (bar)</b>	<b>Humedad (%)</b>				
M1	250	7-8	30.0153	42.8153	4.2378	<b>14.1188</b>
M2	250	7-8	30.0120	43.1120	3.6551	12.1788
N1	250	10-11	30.0520	42.2520	2.9914	<b>9.9541</b>
N2	250	10-11	30.0154	42.5154	2.9715	9.8999
O1	200	7-8	30.0995	42.3995	2.1978	<b>8.1097</b>
O2	200	7-8	30.0144	43.5144	2.2210	7.5291
P1	200	10-11	30.0062	42.4062	2.4334	<b>7.3998</b>
P2	200	10-11	30.0180	43.2180	2.2601	7.3018

Como se muestra en la Tabla 37, se obtuvo un mayor rendimiento en la prueba M1 (14.12%  $\pm$ 0.331) al ejercer una mayor presión con el menor porcentaje de humedad; sin embargo, al aumentar el porcentaje de humedad se obtuvo un 9.95%  $\pm$ 0.121 de rendimiento en la prueba N1.

Mientras que a una menor presión de trabajo y con un porcentaje mayor de humedad se obtuvo un rendimiento en la prueba P1 de 7.40%  $\pm$ 0.219; no obstante, al disminuir el porcentaje de humedad se obtuvo un mayor rendimiento para O1 (8.11%  $\pm$ 1.296).

En la investigación de Regalado Rentería et al. (2018) se alcanzó un rendimiento de hasta 6.68% empleando el método de prensado en frío con semillas de tuna de la variedad rojo tapón; mientras que, en esta experimentación (Tabla 38) se hidrataron previamente las semillas de la variedad morada, esta condición (hidratado) permitió obtener un mejor rendimiento de 14.12%.

#### **b) Análisis estadístico**

La Tabla 38 muestra el resultado de la prueba de normalidad realizada para determinar si el rendimiento puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

**Tabla 38**

*Prueba de normalidad para rendimiento para el método prensado en frío*

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor-P</b>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.865594	0.139152

Teniendo el test de Shapiro-Wilk para el método de prensado en frío con las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: La distribución sigue una distribución normal.

H<sub>1</sub>: La muestra no sigue una distribución normal.

Ya que el valor-P obtenido ( $P = 0.1392 > \alpha = 0.05$ ), entonces no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Este resultado confirma que los datos experimentales siguen una distribución normal con un 95% de confianza.

**Tabla 39**

*Pruebas de homogeneidad de varianzas para el método de prensado en frío*

	<b>Prueba</b>	<b>Valor-P</b>
De Bartlett		
Presión de trabajo	1.01437	0.78649
Porcentaje de humedad	1.00437	0.880983

Teniendo el test de Bartlett en la Tabla 39 para el método soxhlet con las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: Las varianzas son homogéneas.

H<sub>1</sub>: Las varianzas no son homogéneas.

La prueba de Bartlett muestra que los valores de  $P = 0.78649$  y  $P = 0.880983$  para la presión de trabajo y el porcentaje de humedad respectivamente son mayores que  $\alpha = 0.05$ , por lo que se acepta la hipótesis nula donde las varianzas son homogéneas, ya que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar con un nivel de confianza del 95%.

Con el análisis de comparación de varianza (ANOVA) del diseño factorial 2<sup>2</sup> se analizó el rendimiento del aceite extraído mediante el método de prensado en frío. La Tabla 40 muestra el análisis de varianza.

**Tabla 40**

*Análisis de varianza para el rendimiento utilizado para el método de prensado en frío*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: presión de trabajo	31.2493	1	31.2493	60.78	0.0015
B: porcentaje de humedad	6.80953	1	6.80953	13.24	0.0220
AB: presión de trabajo – porcentaje de humedad	3.79006	1	3.79006	7.37	0.0533
Error total	2.05662	4	0.514155		
Total (corr.)	43.9055	7			

El análisis de varianza determinó que las variables significativas son el tamaño de partícula y el solvente empleado; esto está determinado por los estadísticos F (60.18 y 13.24) que son mayores al valor crítico  $F=7.7086$  (Anexo 7) y los valores de P (0.0015, 0.0220 y 0.0533) son menores a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

La Tabla 40, muestra el ANOVA con los factores independientes (A, B) que tienen influencia significativa sobre la interacción de estas variables (AB). En consecuencia, el efecto A acepta la hipótesis alterna: “La presión de trabajo tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío” y el efecto B acepta la hipótesis alterna: “El porcentaje de humedad de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío”.

El modelo matemático del rendimiento del aceite es el siguiente:

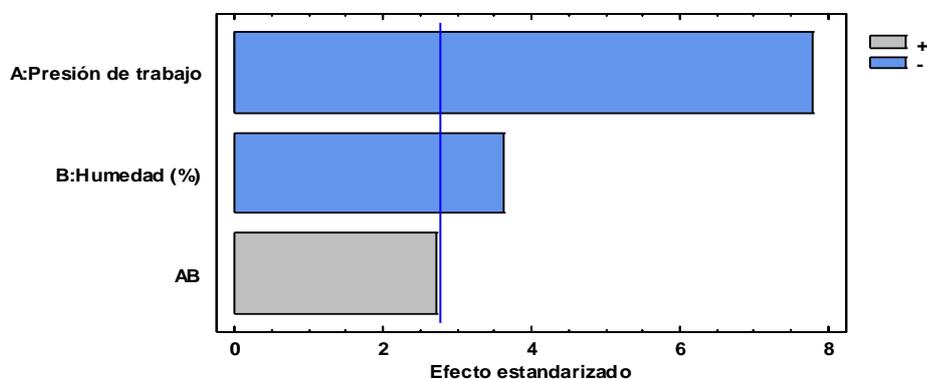
$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} = & 9.5615 + 1.9764 * \text{presión de trabajo} - 0.9226 \\
 & * \text{porcentaje de humedad} - 0.6883 * \text{presión de trabajo} \\
 & * \text{porcentaje de humedad}
 \end{aligned}$$

Con un  $R^2 = 95.3158$

El valor del  $R^2$  indica que la variación total de la variable respuesta (rendimiento) está en relación a las variables independientes y está dada en un 95.31% por el modelo ajustado, siendo una medida corregida de bondad de ajuste; por lo cual, el modelo es ajustable a los datos experimentales y es utilizado para predecir el rendimiento del aceite en la extracción por prensado en frío en función a los factores mencionados.

**Figura 17**

*Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento utilizando el método prensado en frío*



*Nota.* Donde; A: presión de trabajo, B: humedad, AB: interacción de la presión de trabajo – porcentaje de humedad.

La Figura 17 muestra el efecto estandarizado que tienen las variables independientes (A: presión de trabajo, B: humedad) y la interacción entre ellas (AB).

Los efectos A y B sobrepasan el nivel de significancia, siendo estos los de mayor efecto en cuanto a la interacción de AB, debido a que estas superan la línea del valor crítico tienen un valor significativo.

**Tabla 41**

*Efectos de las variables sobre el rendimiento para el método de prensado en frío*

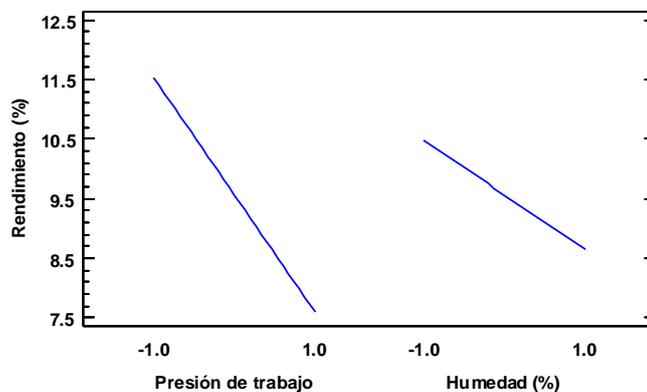
Factores	Efecto
Promedio	9.5615
A: presión de trabajo	3.9528
B: porcentaje de humedad	-1.8452
AB: presión de trabajo - porcentaje de humedad	-1.3766

La Tabla 41 muestra los factores y el efecto de las variables y sus interacciones. El efecto de la presión de trabajo es positivo, esto se debe a que se incrementó la presión de trabajo de 200 bar a 250 bar por lo que el rendimiento de la extracción del aceite aumentó en un promedio de 3.95%. El efecto de la variable del porcentaje de humedad es negativo, ya que al cambiar el porcentaje de humedad de 7-8% al 10-11% el rendimiento del aceite se redujo en 1.84%, lo cual se ve reflejado en la Figura 16. Por otro lado, en el caso de la interacción presión de trabajo-

porcentaje de humedad (AB) el efecto es negativo, ya que el rendimiento del aceite disminuyó en un promedio de 1.37%.

### Figura 18

*Gráfica de efectos principales para el rendimiento utilizando método prensado en frío*



La Figura 18 indica el resultado del rendimiento respecto a la presión de trabajo (-1.0: 250 bar, 1.0: 200 bar) y el porcentaje de humedad (-1.0: 7-8%, 1.0: 10-11%) utilizado en el método de prensado en frío.

En la línea de tendencia de rendimiento – presión de trabajo, se muestra que al emplear una mayor presión se obtuvo un mayor rendimiento. Sin embargo, al utilizar una menor presión se tiene un rendimiento más bajo. En la línea de tendencia de rendimiento – porcentaje de humedad, se muestra que al emplear menor porcentaje de humedad se obtuvo un mayor rendimiento. Por otro lado, al utilizar mayor porcentaje de humedad se tiene un rendimiento más bajo.

En la Figura 18 se tienen mayores rendimientos con los factores: mayor presión de trabajo (250 bar) y menor porcentaje de humedad (7-8%). Este análisis se ve reflejado en los resultados del rendimiento en la Tabla 27.

Torres Meléndez (2018) en su investigación, para alcanzar un mejor rendimiento de aceite, resaltó que se requiere un nivel de humedad óptimo en las semillas para su posterior extracción por prensado en frío, este porcentaje de humedad oscila entre 7-10%.

Por otro lado, se muestra que al aumentar la presión de trabajo de 200 bar a 250 bar el rendimiento se ve afectado con una reducción del 3.9%.

En la investigación de Hernández y Mieres Pitre (2013) utilizaron partículas menores a 0.75 mm, empleando presiones de 139.87 bar (2000 psi) y 275.79 bar (4000 psi), teniendo como resultados para el rendimiento de 5.79% y 9.24% respectivamente. Por tanto, en este estudio al emplear una presión de 250 bar con un porcentaje de humedad de 7-8% se obtuvo un rendimiento de 14.12%; mientras que, con una presión de 200 bar y con el mismo porcentaje de humedad se obtuvo un rendimiento menor de 8.11% (Tabla 28).

### c) Propiedades fisicoquímicas

De las 4 pruebas realizadas con sus respectivas replicas se obtuvieron 8 resultados, de estos se seleccionaron aquellas pruebas que tuvieron mejor rendimiento (M1, N1, O2 y P1) para su respectivo análisis fisicoquímico.

**Tabla 42**

*Resultados de la densidad y viscosidad del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de prensado en frío*

Nº prueba	DENSIDAD $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	VISCOSIDAD 20 °C $\mu$ (mPa.s)
M1	0.9411	46.549
N1	0.9407	45.647
O2	0.9531	46.255
P1	0.9550	45.629

La Tabla 42 indica los resultados de densidad y viscosidad obtenidos por el viscosímetro a una temperatura de 20°C.

La densidad de las cuatro pruebas analizadas, M1, N1, O2 y P1 presentan resultados que son similares a la densidad teórica de 0.941 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C obtenida por Masmoudia et al. (2021), esta proximidad se debe a que los autores utilizaron la variedad de tuna espinosa (amarillo-anaranjado) con las condiciones del Apéndice E, en tanto esta investigación empleó la variedad morada.

Para la viscosidad, en las pruebas M1, N1, O2 y P1 se tuvieron resultados que fueron similares al de la viscosidad teórica de 46 mPa.s a 20 °C indicada por la fuente Nutraceites (2017), la similitud en los resultados puede deberse ya que la fuente empleó la variedad de tuna roja (Apéndice E), mientras que en este estudio se utilizó la variedad de tuna morada.

**Tabla 43**

*Resultados del índice de peróxido e índice de refracción del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el de prensado en frío*

N° Prueba	ÍNDICE DE PERÓXIDO meq O <sub>2</sub> /kg de aceite	ÍNDICE DE REFRACCIÓN		
		T (°C)	nD	nD (20 °C)
M1	5.59	19.4	1.4674	1.4672
N1	3.63	17.7	1.4742	1.4733
O2	6.99	18.9	1.4748	1.4744
P1	6.06	19.1	1.4643	1.4640

La Tabla 43 muestra los resultados para cada prueba de índice de peróxido obtenidos en el Laboratorio Louis Pasteur. Los índices de refracción hallados por el refractómetro están a temperatura ambiente, los resultados obtenidos son corregidos a una temperatura de 20 °C utilizando las Ecuación 5 del Anexo 4.

Las pruebas M1, N1, O2 y P1 muestran resultados del índice de peróxido que están por debajo del valor teórico de 12.0 meq O<sub>2</sub>/kg indicado por Brahmi et al. (2020), donde su alto índice de refracción se debe a que los autores emplearon la variedad de tuna amarilla y otras condiciones de prensado (Apéndice E), mientras que en esta investigación se empleó la variedad de tuna morada con otros factores como humedad y presión; la prueba N1 con 3.63 meq O<sub>2</sub>/kg de aceite presenta el menor resultado, lo que indica que tiene una mejor calidad de aceite ante las demás.

Para el índice de refracción los resultados obtenidos de las cuatro pruebas M1, N1, O2 y P1 son similares al valor teórico de 1.473 obtenido por Masmoudia et al. (2021), la similitud de estos resultados puede deberse a que los autores emplearon la variedad de tuna espinosa (Apéndice E), mientras que en este estudio se utilizó la variedad de tuna morada.

**Tabla 44**

*Resultados de la acidez libre y del índice de acidez del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de prensado en frío*

N° Prueba	ACIDEZ LIBRE		ÍNDICE DE ACIDEZ (mg NaOH/g)
	Ácido oleico (%)	Ácido palmítico (%)	
M1	22.843	20.251	4.546
N1	12.331	10.931	2.454
O2	12.445	11.033	2.477
P1	17.365	15.394	3.456

La Tabla 44 señala los resultados obtenidos de acidez libre (ácido oleico y ácido palmítico) utilizando las Ecuaciones 6 y 7 e índice de acidez con el Anexo 5.

Para el ácido oleico, los resultados obtenidos de M1 y P1 con 22.843% y 17.365% respectivamente se encuentran por encima del valor teórico de 12.92% obtenido por Brahmí et al. (2020), este resultado se debe a que los autores una molienda previa con la variedad de tuna amarilla (Apéndice E), mientras que en esta investigación se utiliza la variedad de tuna morada con otras condiciones de prensado. Por otro lado, las pruebas N1 y O2 están próximas al valor teórico mencionado por los autores.

Para el ácido palmítico, los resultados obtenidos de las pruebas M1, N1, O2 y P1 se encuentran por encima del valor teórico de 10.08% obtenido por Brahmí et al. (2020); sin embargo, el resultado de la prueba N1 es el más próximo al valor teórico. La diferencia de los resultados se debe a que los autores emplearon una molienda previa con la variedad de tuna amarilla (Apéndice E), mientras que en esta investigación se utiliza la variedad de tuna morada con otras condiciones de prensado.

Los índices de acidez de las pruebas M1, N1, O2 y P1 muestra que los resultados se encuentran por encima del valor teórico 1.952 mg NaOH/g obtenido por Khémiri & Bitri (2019); este bajo índice de acidez se debe a que los autores emplearon semillas obtenidas en los meses de Julio y Agosto, mientras que en este estudio se obtuvieron las semillas del primer trimestre del año. La prueba N1 con 2.454 mg NaOH/g presente el índice de acidez más bajo, lo que demuestra que es el aceite de mejor calidad ante las demás pruebas bajo las condiciones de este estudio.

**Tabla 45**

*Resultados del índice de color fotométrico del aceite de semilla de tuna obtenido mediante el método de prensado en frío*

N° Prueba	COLOR FOTOMÉTRICO				ICF
	$\lambda 460$ (nm)	$\lambda 550$ (nm)	$\lambda 620$ (nm)	$\lambda 670$ (nm)	
M1	1.347	0.536	0.448	0.418	33.979
N1	1.318	0.609	0.435	0.426	38.043
O2	1.741	0.735	0.582	0.566	45.644
P1	1.587	0.829	0.618	0.595	51.732

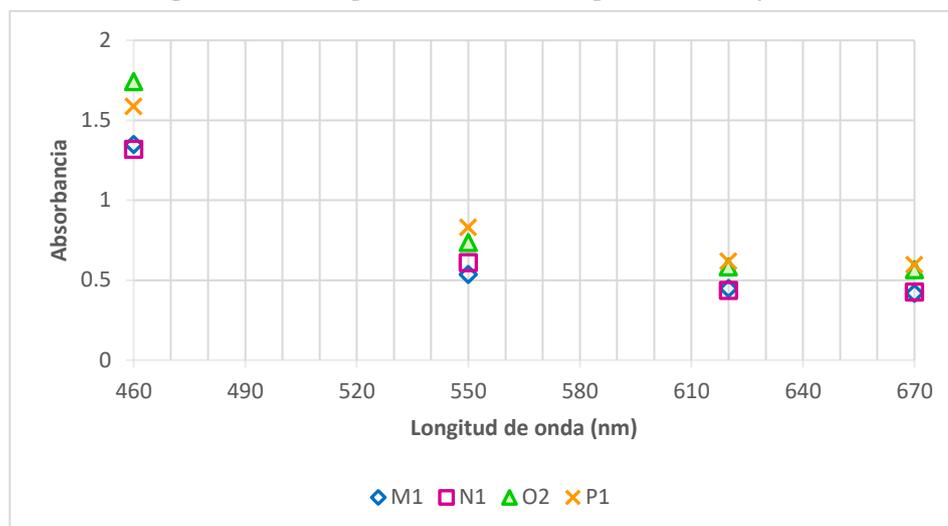
En la Tabla 45 se muestran las pruebas M1, N1, O2 y P1 con sus respectivos valores de absorbancia para las longitudes de onda (460, 550, 620 y 670 nm), mientras que el ICF se calculó con la Ecuación 8.

Para las pruebas M1, N1, O2 y P1 se tienen los valores más altos (1.347, 1.318, 1.741 y 1.587) de absorbancia en la longitud de onda de 460 nm, esto quiere decir que las pruebas absorben una mayor cantidad de luz en la región azul del espectro (Anexo 8); además, se aprecia que a medida que avanza la longitud de onda la absorbancia disminuye.

A mayor valor del índice de color fotométrico (ICF), la presencia de pigmentos en el aceite extraído es mayor; cuanto más oscuro sea el aceite menor es la cantidad de luz que pasa a través de el (Rettig K. & Ah-Hen, 2014). En esta investigación la prueba P1 indica mayor presencia de pigmentos ante las demás pruebas; mientras que la prueba M1 presenta una menor cantidad de pigmentos.

**Figura 19**

*Absorbancia vs longitud de onda para el método de prensado en frío*



La Figura 19 muestra los valores de absorbancia en las longitudes de onda (460 ,550, 620 y 670 nm) para las pruebas M1, N1, O2 y P1.

Los puntos M1 y O2 presentan un perfil similar entre sí, dado que emplean el mismo porcentaje de humedad (7-8%); sin embargo, difieren en la presión de trabajo (M1: 250 bar), (O2: 200 bar).

Los puntos N1 y P1 muestran un perfil similar entre sí, puesto que emplean el mismo porcentaje de humedad (10-11%); sin embargo, difieren en la presión de trabajo (N1: 250 bar), (P1: 200 bar).

Los resultados de las pruebas M1, N1, O2 y P1 para las longitudes de onda de 460 nm y 550 nm están representados con los puntos en la Figura 22, las cuales corresponden a la presencia del pigmento carotenoide como se referencia en el Anexo 9; mientras que en los puntos para las longitudes de onda de 620 nm y 670 nm manifiestan la presencia pigmentos de  $\alpha$ -feofitina y clorofila presentes en el aceite de semilla de tuna de acuerdo con Ettalibi et al. (2021).

Los resultados del contenido de pigmentos de los aceites obtenidos para las cuatro pruebas muestran mayor presencia de carotenoides que los de  $\alpha$ -feofitina y clorofila. La prueba O2 presenta mayor cantidad de carotenoides en la longitud onda de 460 nm, este pigmento asegura la estabilidad y resistencia a la oxidación del aceite durante el almacenamiento. La prueba P1 presenta mayores pigmentos de  $\alpha$ -feofitina y clorofila que las demás pruebas en la longitud de onda de 620 nm y 670 nm,

indicando que la presencia de estos pigmentos tiene efectos prooxidantes en la luz y una actividad antioxidante como indica Ettalibi et al. (2021). Por tanto, el aceite de las pruebas O2 y P1 se distinguen por presentar más carotenoides,  $\alpha$ -feofitina y clorofila ante las demás pruebas; lo que le dio a estos aceites una coloración amarilla (Anexo 8).

## CONCLUSIONES

- Para el método soxhlet se ha determinado que, la granulometría de las semillas y el tipo de solvente tienen efecto sobre el rendimiento del aceite extraído, con un promedio de 13.54%  $\pm$ 2.358 empleando partículas menores a 1000  $\mu$ m con éter de petróleo como solvente.
- Para el método de maceración se ha determinado que, la granulometría, condición de las semillas y el tipo de solvente tienen efecto sobre el rendimiento del aceite extraído, con un promedio de 18.23%  $\pm$ 0.503 empleando partículas menores a 1000  $\mu$ m, tostadas y con una mezcla de solventes (éter de petróleo y etanol).
- Para el método de prensado en frío se ha determinado que, la presión de trabajo y el porcentaje de humedad tienen efecto en el rendimiento, con un promedio de 13.15%  $\pm$ 4.33 empleando una presión de 250 bar con 7-8% de humedad de semillas.
- Se evaluaron los tres procesos de extracción para el aceite de semilla de tuna, de los cuales se obtuvieron los mejores rendimientos en la extracción por solventes, con el método de maceración se obtuvo el rendimiento más alto (18.34%) mientras que, con el método soxhlet se obtuvo 14.07%; sin embargo, con el método de prensado en frío se obtuvieron aceites con mejor calidad ya que no se emplearon compuestos químicos.
- Se ha determinado las propiedades fisicoquímicas básicas de los aceites extraídos por los tres métodos, donde el índice de peróxido e índice de acidez fueron: para soxhlet (2.19 meq O<sub>2</sub>/kg, 3.51 mg NaOH/g), maceración (2.45 meq O<sub>2</sub>/kg, 2.27 mg NaOH/g) y prensado en frío (3.63 meq O<sub>2</sub>/kg, 2.45 mg NaOH/g). Los aceites con mayor cantidad de ácidos grasos (ácido oleico) para soxhlet, maceración y prensando en frío fueron: 24.94%, 23.82% y 22.84% respectivamente. En cuanto al color fotométrico para los tres métodos de extracción los valores obtenidos para la longitud de onda de 550 nm indicaron que el aceite de semilla de tuna presentó la absorción de pigmentos de carotenoides, clorofila y  $\alpha$ -feofitina.

## RECOMENDACIONES

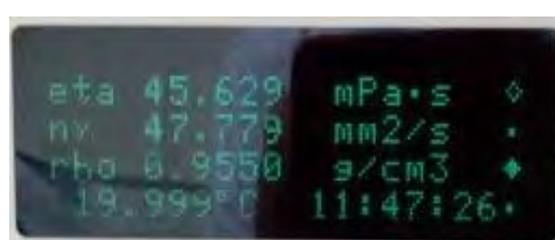
- Evaluar la extracción del aceite combinando otros solventes en diferentes proporciones, tiempo de permanencia en la extracción y temperaturas de operación, de esta manera ver cómo afectan en el rendimiento y en la composición de los ácidos grasos (ácido linoleico, ácido oleico y ácido palmítico).
- Realizar estudios para el refinamiento del aceite de semilla de tuna a nivel laboratorio, los cuales podrían aumentar la calidad y el uso en diversas industrias.
- Hacer un estudio en la parte de vida anaquel, evaluando la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos y el efecto de la temperatura de almacenamiento en el aceite para evitar la oxidación o enranciamiento.
- Comparar el rendimiento y analizar las propiedades fisicoquímicas del aceite de tuna de otras variedades de la región; aplicando pruebas cromatográficas que permitirán una caracterización detallada de su composición.
- Dar un valor agregado a los residuos (torta) de la extracción por prensado en frío como sub producto para la elaboración de alimentos balanceados para animales.
- Intensificar el cultivo de tuna en la región del Cusco, promoviendo su producción e industrialización, con el fin de generar ingresos a los agricultores y aprovechar los numerosos productos y subproductos (semillas y cáscaras) obtenidos a partir de esta muestra.
- Realizar un estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta piloto en la región, para el aprovechamiento de la materia prima y de sus subproductos, en especial el aceite de esta semilla que se considera prometedora en el ámbito de la medicina cosmética a nivel internacional.
- Apoyar a los pequeños productores y asociaciones agropecuarias que se dedican a la comercialización de la tuna y la transformación de sus derivados empleando para ello nuevas tecnologías; por ejemplo, la Asociación Sol Naciente de Productores Agropecuarios – Tunasol, ubicada en el distrito de Ccapacmarca de la provincia de Chumbivilcas – Cusco, se dedica al expendio de productos alimentarios a base de tuna, la cual busca innovar y sobresalir en diferentes áreas.

## APÉNDICE

## APÉNDICE A

## Viscosidad y densidad del aceite de semillas de tuna

**Figura A1***Resultados A1 - Soxhlet***Figura A2***Resultados B2 - Soxhlet***Figura A3***Resultados C1 - Soxhlet***Figura A4***Resultados D1 - Soxhlet***Figura A5***Resultados E1 - Maceración***Figura A6***Resultados F1 - Maceración***Figura A7***Resultados G2 - Maceración***Figura A8***Resultados H1 - Maceración*

**Figura A9***Resultados I2 - Maceración***Figura A10***Resultados J2 - Maceración***Figura A11***Resultados K2 - Maceración***Figura A12***Resultados L1 - Maceración***Figura A13***Resultados M1 - Prensado en Frío***Figura A14***Resultados N1 - Prensado en Frío***Figura A15***Resultados O2 - Prensado en Frío***Figura A16***Resultados P1 - Prensado en Frío*

## APÉNDICE B

## Índice de Refracción del aceite de semillas de tuna

**Figura B1***Resultado A1 – Soxhlet***Figura B2***Resultado B2 – Soxhlet***Figura B3***Resultado C1 – Soxhlet***Figura B4***Resultado D1 – Soxhlet***Figura B5***Resultado E1 – Maceración***Figura B6***Resultado F1 – Maceración***Figura B7***Resultado G2 – Maceración***Figura B8***Resultado H1 – Maceración*

**Figura B9***Resultado I2 – Maceración***Figura B11***Resultado K2 – Maceración***Figura B13***Resultados M1 – Prensado en Frío***Figura B15***Resultado O2 – Prensado en Frío***Figura B10***Resultado J2 – Maceración***Figura B12***Resultado L1 – Maceración***Figura B14***Resultado N1 – Prensado en Frío***Figura B16***Resultado P1 – Prensado en Frío*

**APÉNDICE C**  
**Balance de materia**

**Tabla C1***Obtención y acondicionamiento de las semillas*

Método de extracción	Tuna lavada	Tuna pelada	Tuna troceada	Tuna licuada	Jugo de tuna	Semillas con restos de pulpa	Semillas lavadas	Semillas secas	Semillas pesadas a tostar	Semillas pesadas sin tostar	Semillas trituradas	Semillas de tuna <1000µm	Semillas de tuna >1000µm	Semillas tostadas enteras	Semillas tostadas y trituradas	Semillas de tuna <1000µm	Semillas de tuna >1000µm
	Q1 (uds.)	Q2 (g)	Q3 (g)	Q4 (g)	Q5 (ml)	Q6 (g)	Q7 (g)	Q8 (g)	Q9 (g)	Q10 (g)	Q11 (g)	Q12 (g)	Q13 (g)	Q14 (g)	Q15 (g)	Q16 (g)	Q17 (g)
Soxhlet	100	6500	6500	6500	6000	580.0664	480.0664	240.0332	0	240.0332	240.0332	120.0121	120.0211	0	0	0	0
Macerado	200	13000	13000	13000	12000	1060.8274	960.8274	480.4137	240.2811	240.1326	240.1326	120.036	120.0966	240.2811	240.2811	120.122	120.1591
Prensado	100	6500	6500	6500	6000	580.4656	480.4656	240.2328	0	240.2328	240.2328	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	400	26000	26000	26000	24000	2221.3594	1921.3594	960.6797	240.2811	720.3986	720.3986	240.0481	240.1177	240.2811	240.2811	120.122	120.1591

**Tabla C2***Método Extracción Soxhlet*

Nº Prueba	Muestra	Solvente (Etanol o Éter de petróleo)	Solvente Evaporado	Residuo empaque	Solvente en el empaque húmedo	Solución	Solvente Recuperado	Solución Evaporada	Sedimento + filtro + evap.	Solución Filtrada	ACEITE	Residuo húmedo pesado	Residuo Seco	Solvente evaporado	Solvente + sedimentos	
	R1 (g)	R2 (ml)	R3 (ml)	R4 (g)	R4-R1 (g)	R4-R1 (ml)	R5 (ml)	R6 (ml)	R7 (ml)	R8 (ml)	R9 (ml)	R10 (ml)	R11 (g)	R12 (g)	R13 (ml)	R14 (ml)
A1	30.0022	190.00	33.51	32.2458	2.2436	2.86	153.63	110.00	41.95	3.95	38.00	5.63	32.2458	27.7443	1.68	32.37
A2	30.0041	190.00	27.29	33.0512	3.0471	3.88	158.83	112.00	45.46	3.96	41.50	5.33	33.0512	27.6048	1.36	36.17
B1	30.0017	190.00	23.81	36.5037	6.5020	8.08	158.11	116.50	40.42	2.92	37.50	6.11	36.5037	29.1153	1.19	31.39
B2	30.0131	190.00	28.03	36.7547	6.7416	8.37	153.59	115.00	37.19	3.19	34.00	6.59	36.7547	29.2106	1.40	27.41
C1	30.0041	190.00	24.31	44.9717	14.9676	18.59	147.09	103.00	42.88	3.38	39.50	8.09	44.9717	26.7179	1.22	31.41
C2	30.0019	190.00	22.56	42.6627	12.6608	15.73	151.71	106.00	44.58	3.58	41.00	7.21	42.6627	26.1572	1.13	33.79
D1	30.0026	190.00	37.57	32.9327	2.9301	3.73	148.70	97.00	49.82	5.32	44.50	9.20	32.9327	25.3900	1.88	35.30
D2	30.0035	190.00	33.78	32.5297	2.5262	3.22	153.01	100.00	51.32	4.82	46.50	8.51	32.5297	25.3893	1.69	37.99

Tabla C3

## Método Maceración

N° Prueba	Muestra		Solvente: Etanol y/o Éter de Petróleo	Solución macerada	Semilla húmeda + filtro + evap.	Humedad en las semillas		Solución filtrada	Solvente Recuperado	Solución evaporada	Sedimento + filtro + evap.	Solución filtrada	ACEITE	Residuo húmedo pesado	Residuo seco	Solvente + sedimento	Solvente evaporado
	S1 (g)	S2 (g)	S3 (ml)	S4 (g)	S5 (g)	S5-S2 (g)	S5-S2 (ml)	S6 (ml)	S7 (ml)	S8 (ml)	S9 (ml)	S10 (ml)	S11 (ml)	S12 (g)	S13 (g)	S14 (ml)	S15 (ml)
E1	30.0253	30.0253	150.00	147.7753	33.9681	3.9428	5.0227	122.00	71.50	42.20	5.10	37.10	3.7527	33.9681	28.5137	33.35	8.30
E2	30.0224	30.0224	150.00	147.7724	32.8315	2.8091	3.5785	120.00	70.00	41.40	5.40	36.00	3.5585	32.8315	28.5196	32.44	8.60
F1	30.0010	30.0010	150.00	149.2510	53.6817	23.6807	29.7870	119.50	69.50	46.10	4.50	41.60	12.3906	53.6817	26.1304	29.21	3.90
F2	30.0288	30.0288	150.00	149.2788	46.8492	16.8204	21.1577	118.00	68.60	45.20	4.70	40.50	12.1742	46.8492	27.1858	28.33	4.20
G1	30.0208	30.0208	150.00	147.7708	34.9442	4.9234	6.2718	124.50	74.50	42.30	5.30	37.00	2.9563	34.9442	28.4473	34.04	7.70
G2	30.0729	30.0729	150.00	147.8229	36.4002	6.3273	8.0603	121.50	75.10	39.90	4.90	35.00	3.2007	36.4002	28.3933	31.80	6.50
H1	30.0445	30.0445	150.00	149.2945	37.2992	7.2547	9.1254	123.00	73.50	46.00	4.70	41.30	8.8293	37.2992	27.9364	32.47	3.50
H2	30.0044	30.0044	150.00	149.2544	36.6636	6.6592	8.3764	126.00	75.00	47.20	4.80	42.40	8.7270	36.6636	28.1209	33.67	3.80
I1	30.0062	30.0062	150.00	147.7562	39.5692	9.5630	12.1822	111.50	64.80	39.00	5.60	33.40	6.7322	39.5692	27.7006	26.67	7.70
I2	30.0615	30.0615	150.00	147.8115	36.5578	6.4963	8.2755	110.50	66.20	38.00	5.10	32.90	7.1239	36.5578	27.4407	25.78	6.30
J1	30.0371	30.0371	150.00	149.2871	38.9319	8.8948	11.1884	128.00	79.70	46.00	3.70	42.30	12.6108	38.9319	29.5183	29.69	2.30
J2	30.0283	30.0283	150.00	149.2783	39.1655	9.1372	11.4933	125.00	78.00	44.50	3.00	41.50	12.7640	39.1655	29.6327	28.74	2.50
K1	30.0021	30.0021	150.00	147.7521	35.5317	5.5296	7.0441	115.00	62.40	44.00	5.40	38.60	6.1952	35.5317	25.2407	32.40	8.60
K2	30.0041	30.0041	150.00	147.7541	40.7163	10.7122	13.6461	117.00	63.50	45.00	5.90	39.10	6.3691	40.7163	25.3771	32.73	8.50
L1	30.0512	30.0512	150.00	149.3012	45.7172	15.6660	19.7057	112.00	68.30	41.10	3.20	37.90	11.0551	45.7172	26.9195	26.84	2.60
L2	30.0031	30.0031	150.00	149.2531	43.5214	13.5183	17.0042	114.00	69.50	41.30	3.00	38.30	10.7849	43.5214	26.5916	27.52	3.20

**Tabla C4***Método Prensado en Frío*

N° Prueba	Muestra	Solvente: Agua destilada	Solución hidratada	Excedente de agua destilada	Semilla húmeda filtrada	Residuo húmedo (torta)	Solución prensada	Sedimentos en organza	Solución filtrada	ACEITE	Residuo húmedo pesado	Residuo seco	Residuo seco pesado	Solución decantada
		T1 (g)	T2 (ml)	T3(g)	T4 (g)	T5 (g)	T6 (g)	T7 (ml)	T8 (g)	T9 (ml)	T10 (ml)	T11 (g)	T12 (g)	T13 (g)
<b>M1</b>	30.0153	75.00	105.0153	62.20	42.8153	30.8118	12.00	1.8715	10.13	9.01	32.6833	29.0825	29.0825	1.13
<b>M2</b>	30.0120	75.00	105.0120	61.90	43.1120	31.9910	11.12	2.1487	8.97	7.77	34.1397	29.0316	29.0316	1.20
<b>N1</b>	30.0520	75.00	105.0520	62.80	42.2520	32.8155	9.44	2.0661	7.37	6.36	34.8816	28.6312	28.6312	1.01
<b>N2</b>	30.0154	75.00	105.0154	62.50	42.5154	32.4737	10.04	1.9747	8.07	6.32	34.4484	28.5427	28.5427	1.75
<b>O1</b>	30.0995	75.00	105.0995	62.70	42.3995	32.6710	9.73	2.3346	7.39	4.61	35.0056	29.7592	29.7592	2.78
<b>O2</b>	30.0144	75.00	105.0144	61.50	43.5144	33.9451	9.57	2.2735	7.30	4.66	36.2186	29.4651	29.4651	2.64
<b>P1</b>	30.0062	75.00	105.0062	62.60	42.4062	32.9798	9.43	1.9465	7.48	5.10	34.9263	27.8444	27.8444	2.38
<b>P2</b>	30.0180	75.00	105.0180	61.80	43.2180	33.5465	9.67	1.8974	7.77	4.73	35.4439	28.0915	28.0915	3.04

## APÉNDICE D

### Determinación de la estimación proximal

- **Promedio**

$$X = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- **Desviación Estándar**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{n}}$$

- **Estimación Proximal**

$$X \pm t_{n-1} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

n: número de resultados

n-1: son los grados de libertad

t: es la t de student (6.3137 ver Anexo 10)

$\sigma$ : desviación estándar

X: Promedio

**Tabla D1**

*Método Extracción Soxhlet*

Nº Prueba	RENDIMIENTO (%R)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR ( $\sigma$ )	ESTIMACIÓN PROXIMAL
A1	<b>8.5337</b>	8.3043	0.2294	$\pm 1.024$
A2	8.0749			
B1	8.8722	9.2159	0.3437	$\pm 1.534$
B2	<b>9.5595</b>			
C1	<b>11.8494</b>	11.2037	0.6457	$\pm 2.883$
C2	10.558			
D1	<b>14.0661</b>	13.5380	0.5282	$\pm 2.358$
D2	13.0098			

**Tabla D2***Método Maceración*

N° Prueba	RENDIMIENTO PROMEDIO (%R)	DESVIACIÓN ESTANDAR ( $\sigma$ )	ESTIMACIÓN PROXIMAL
E1	<b>5.7105</b>	5.5557	± 0.691
E2	5.4008	0.1549	± 0.744
F1	<b>18.1557</b>	17.9890	± 0.798
F2	17.8222	0.1668	± 0.299
G1	4.4229	4.6017	± 1.289
G2	<b>4.7804</b>	0.1788	± 0.503
H1	<b>13.048</b>	12.9811	± 0.586
H2	12.9141	0.0670	± 0.827
I1	10.2712	10.5600	
I2	<b>10.8488</b>	0.2888	
J1	18.1183	18.2310	
J2	<b>18.3437</b>	0.1127	
K1	9.381	9.5124	
K2	<b>9.6437</b>	0.1314	
L1	<b>16.1847</b>	15.9996	
L2	15.8144	0.1852	

**Tabla D3***Método de Prensado en Frio*

N° Prueba	RENDIMIENTO PROMEDIO (%R)	DESVIACIÓN ESTANDAR ( $\sigma$ )	ESTIMACIÓN PROXIMAL
M1	<b>14.1188</b>	13.1488	± 4.331
M2	12.1788	0.9700	± 0.121
N1	<b>9.9541</b>	9.927	± 1.296
N2	9.8999	0.0271	± 0.219
O1	<b>8.1097</b>	7.8194	
O2	7.5291	0.2903	
P1	<b>7.3998</b>	7.3508	
P2	7.3018	0.0490	

## APÉNDICE E

## Referencias Teóricas para las Propiedades Fisicoquímicas

SOXHLET			
Propiedades Fisicoquímicas	Referencias teóricas		
	Condiciones	Resultados	Fuente
<b>Densidad</b>	-Semillas de tuna fueron recolectadas de la provincia de Mersin-Turquía.	0.907 g/cm <sup>3</sup>	(Musa Özcan & Al Juhaimi, 2011)
	-Las muestras fueron trituradas (pequeñas), se realizó la extracción con éter dietílico a 50°C.		
<b>Viscosidad</b>	-Los frutos maduros de tuna fueron recolectados en los meses de agosto y febrero de Sfax, Túnez.	53 mPa.s	(Ennouri et al., 2005)
	-Las semillas fueron lavadas y secadas al aire a temperatura ambiente y luego molidas con un triturador Diez Crusher, se realizó una extracción con hexano durante 9 horas.		
<b>Índice de Peróxido</b>	-Semillas de tuna fueron recolectadas de la provincia de Mersin-Turquía.	2.13 meq O <sub>2</sub> /kg	(Musa Özcan & Al Juhaimi, 2011)
	-Las muestras fueron trituradas (pequeñas), se realizó la extracción con éter dietílico a 50°C.		
	-Las semillas de tuna fueron recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos.	6.0 meq O <sub>2</sub> /kg	(Kadda et al., 2022)
<b>Índice de Refracción</b>	-Las semillas de tuna fueron recolectadas de la provincia de Arabia Saudita.	1.4596	(Sawaya y Khan, 1982)
	-Las muestras fueron molidas en un molino Wiley que pasan por un tamiz de 20 mm.		
	-Extracción con éter de petróleo.		
<b>Acidez libre</b>	-Las semillas de tuna fueron recolectadas de Túnez (variedad blanca-espinoso).	Ácido oleico:	(Yeddes et al., 2012)
	-Se empleó 30g de semilla molida y se realizó la extracción con n-hexano durante 8 horas.	17.6% - 25.3%	
	-Las semillas de tuna fueron recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos.	Ácido palmítico:	(Kadda et al., 2022)
- Extracción con n-hexano 60°C durante 7 horas.	17.32%		
<b>Índice de acidez</b>	-Las semillas de tuna fueron recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos.	5.854 mg NaOH/g	(Kadda et al., 2022)
	- Extracción con n-hexano 60°C durante 7 horas.		

<b>MACERACIÓN</b>			
<b>Propiedades Físicoquímicas</b>	<b>Referencias teóricas</b>		
	<b>Condiciones</b>	<b>Resultados</b>	<b>Fuente</b>
<b>Densidad</b>	-Las semillas de tuna recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos. -Se empleó 400g de semillas trituradas (polvo) y se realizó la maceración con n-hexano.	0.919 g/cm <sup>3</sup>	(Kadda et al., 2022)
<b>Viscosidad</b>	-Los frutos maduros fueron recolectados en los meses de agosto y febrero de Sfax, Túnez. -Las semillas de tuna fueron molidas con un triturador Diez crusher antes del proceso de macerado. -Macerado con hexano.	49 mPa.s	(Ennouri et al., 2005)
<b>Índice de Peróxido</b>	-Las semillas de tuna recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos. -Se empleó 400g de semillas trituradas (polvo) y se realizó la maceración con n-hexano.	5.97 meq O <sub>2</sub> /kg	(Kadda et al., 2022)
<b>Índice de Refracción</b>	-Las semillas de tuna recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos. -Se empleó 400g de semillas trituradas (polvo) y se realizó la maceración con n-hexano.	1.4760	(Kadda et al., 2022)
<b>Acidez libre</b>	-Las tunas fueron recolectadas de Villa de Arriaga - México y se utilizó 8 variedades (amarilla monteza, blanca, cardona, charola, pico chulo, rojo tapón, tapona y xoconostle). -Se empleó semillas trituradas - Maceración con n-hexano, durante 24 horas.	Ácido oleico: 12.8%- 17.0%	(Regalado Rentería et al., 2018)
<b>Índice de acidez</b>	-Las semillas de tuna recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos. -Se empleó 400g de semillas trituradas (polvo) y se realizó la maceración con n-hexano.	Ácido palmítico: 22.419%	(Kadda et al., 2022)
<b>Índice de acidez</b>	-Las semillas de tuna recolectadas de la provincia de Taourirt en la región oriental de Marruecos. -Se empleó 400g de semillas trituradas (polvo) y se realizó la maceración con n-hexano.	5.667 mg NaOH/g	(Kadda et al., 2022)

## PRENSADO

Propiedades Físicoquímicas	Referencias Teóricas		
	Condiciones	Resultados	Fuente
<b>Densidad</b>	-Los frutos fueron recolectados de la región de Mahdia (centro de Túnez) de la variedad espinosa (amarillo-anaranjado).	0.941 g/cm <sup>3</sup>	(Masmoudia et al., 2021)
	-Las tunas fueron recolectadas entre agosto y noviembre.		
	-Las semillas secaron a 50 °C durante 30 minutos.		
<b>Viscosidad</b>	-Semillas provenientes de Zacatecas-México	46 mPa.s	(Nutraceites, 2017)
	-Se emplearon semillas enteras de la variedad roja.		
<b>Índice de Peróxido</b>	-Semillas recolectadas de Argelia.	12.0 meq O <sub>2</sub> /kg	(Brahmi et al., 2020)
	-Las muestras fueron molidas hasta obtener una pasta antes del proceso de prensado.		
	-Se emplearon semillas de la variedad amarilla.		
<b>Índice de Refracción</b>	-Los frutos fueron recolectados de la región de Mahdia (centro de Túnez) de la variedad espinosa (amarillo-anaranjado).	1.473	(Masmoudia et al., 2021)
	-Las tunas fueron recolectadas entre agosto y noviembre.		
	-Las semillas secaron a 50 °C durante 30 minutos.		
<b>Acidez libre</b>	-Semillas recolectadas de Argelia.	Ácido oleico: 12.92%	(Brahmi et al., 2020)
	-Las muestras fueron molidas hasta obtener una pasta antes del proceso de prensado.		
	-Se emplearon semillas de la variedad amarilla.		
<b>Índice de acidez</b>	-Semillas recolectadas de Argelia.	Ácido palmítico: 10.08%	(Brahmi et al., 2020)
	-Las muestras fueron molidas hasta obtener una pasta antes del proceso de prensado.		
	-Se emplearon semillas de la variedad amarilla.		
<b>Índice de acidez</b>	-Semillas cosechadas en los meses de julio y agosto en la aldea de Zelfen en el centro de Túnez.	1.952 mg NaOH/g	(Khémiri & Bitri, 2019)
	-Semillas fueron secadas al aire libre.		

## APÉNDICE F

## Fotografías de la obtención del aceite de semillas de Tuna

## Acondicionamiento de las semillas de tuna

**Figura E1***Caja de tunas***Figura F2***Pelado de tuna***Figura F3***Troceado y licuado***Figura F4***Tamizado***Figura F5***Lavado de semillas***Figura F6***Secado de semillas*

**Figura F7***Molienda de semillas***Figura F8***Tamizado semillas sin tostar***Figura F9***Tostado de semillas***Figura F10***Tamizado de semillas tostadas*

### Extracción por Método Soxhlet

**Figura F11***Pesado de semillas***Figura F12***Extracción ½ sifonada*

**Figura F13***Extracción 1ra sifonada***Figura F14***Extracción 5ta sifonada***Figura F15***Extracción 10ma sifonada***Figura F16***Evaporación***Figura F17***Semillas húmedas***Figura F18***Semillas secas*

**Figura F19***Decantado***Figura F20***Aceite de tuna*

### Extracción por Método Maceración

**Figura F21***Acondicionamiento de semillas***Figura F22***Macerado en el día 1***Figura F23***Macerado en el día 15***Figura F24***Filtrado*

**Figura F25***Semillas húmedas***Figura F26***Semillas secas***Figura F27***Evaporación***Figura F28***Filtrado***Figura F29***Decantado***Figura F30***Aceite de semillas de tuna*

## Extracción por Método Prensado en Frío

**Figura F31**

*Pesado de semillas*



**Figura F32**

*Hidratado de semillas de tuna*



**Figura F33**

*Filtrado*



**Figura F34**

*Semillas dentro del cernidor*



**Figura F35**

*Prensado*



**Figura F36**

*Extracción del aceite de tuna*



**Figura F37**

*Filtrado*



**Figura F38**

*Decantado*



## APÉNDICE G

### Análisis Fisicoquímico

**Figura G1**

*Densidad y viscosidad-Viscosímetro*



**Figura G2**

*Índice de refracción-Refractómetro*



**Figura G3**

*Color fotométrico-Espectrofotómetro*



**Figura G4**

*Acidez libre*



**Figura G5**

*Acidez libre, pesado de aceite*



**Figura G6**

*Acidez libre, dilución del aceite en alcohol*



**Figura G7**

*Acidez libre, calentamiento*



**Figura G8**

*Acidez libre, titulación*



## APÉNDICE H

**Visita a la Asociación Sol Naciente de Productores Agropecuarios – Tunasol, ubicada en el distrito de Ccapacmarca de la provincia de Chumbivilcas – Cusco**

**Figura H1**

*Distrito de Ccapacmarca*



**Figura H2**

*Pulpeadora y marmita-Tunasol*



**Figura H3**

*Cladodios del nopal*



**Figura H4**

*Tuna, variedad caihua*



**Figura H5**

*Tuna, variedad criolla*



**Figura H6**

*Plantaciones de nopal*



**Figura H7**

*Visita a la parcela del Sr. Timoteo Taype Luna, en la zona de Moccocjahua*



## APÉNDICE I

### Matriz de consistencia

Ítems	Problemas	Objetivos	Hipótesis	Diseño Metodológico
General	¿Cuál de los procesos de extracción tiene mayor rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna ( <i>Opuntia ficus-indica</i> )?	Evaluar los procesos de extracción que tienen mayor rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).	Los métodos de extracción influyen en el rendimiento en la obtención del aceite de semilla de tuna ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).	<p><b>Enfoque de la investigación</b></p> <p>Basada en un enfoque cuantitativo, secuencial y probatorio.</p> <p><b>Alcance de la investigación</b></p> <p>Puesto que tiene como propósito analizar el efecto entre las variables o resultados.</p> <p><b>Área o lugar de estudio</b></p> <p>Laboratorio de control de la Contaminación Ambiental, Laboratorio de Hidrocarburos, Laboratorio de Materiales y Planta Piloto de Chocolates.</p>
Específico 1	¿Cuál es el efecto de la presión de trabajo y el porcentaje de humedad de las semillas sobre el rendimiento del aceite extraído por el método prensado en frío?	Determinar el efecto de la presión de trabajo y el porcentaje de humedad de las semillas sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío.	<p>La granulometría empleada tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet.</p> <p>El tipo de solvente empleado tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet.</p>	
Específico 2	¿Cuál es el efecto de la granulometría de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet?	Determinar el efecto de la granulometría de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método soxhlet.	<p>La granulometría de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración.</p> <p>La condición de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración.</p> <p>El tipo de solvente empleado tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración.</p>	
Específico 3	¿Cuál es el efecto de la granulometría, condición de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método maceración?	Determinar el efecto de la granulometría, condición de las semillas y del tipo de solvente sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de maceración.	<p>La presión de trabajo tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío.</p> <p>El porcentaje de humedad de las semillas tiene efecto sobre el rendimiento del aceite extraído por el método de prensado en frío.</p>	
Específico 4	¿Cuál de los tres métodos da mejor rendimiento y calidad en la extracción del aceite de semilla de tuna?	Comparar el rendimiento y la calidad del aceite de semilla de tuna extraído por los tres métodos.	<p>El método de maceración da mejor rendimiento en la extracción del aceite de semilla de tuna.</p> <p>El método de prensado en frío da mejor calidad en la extracción del aceite de semilla de tuna.</p>	
Específico 5	¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas básicas de los aceites extraídos por los tres métodos?	Caracterizar las propiedades fisicoquímicas básicas de los aceites extraídos por los tres métodos.		

## ANEXOS

## ANEXO 1

## Composición fisicoquímica y/o proximal de las semillas de tuna



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACION DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO  
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nº0413-23-LAQ

**SOLICITANTE** : YORMELI CALACHAHUI LUQUE  
 CINTHIA MOZO ESCALANTE

**TESIS** : " EVALUACION DEL REDUCTO EN LA EXTRACCION DE ACEITE  
 DE TUNA (Opuntia ficus-indica) OBTENIDO MEDIANTE TRES  
 METODOS Y SU CARACTERIZACION FISICOQUIMICA.

**MUESTRA** : SEMILLA DE TUNA VARIEDAD MORADA

**FECHA** : C/14/09/2023

**RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:**

	Semilla Tuna
Humedad %	10,67
Proteína %	7,86
Grasa %	3,60
Ceniza %	1,53
Fibra %	47,70
Carbohidratos %	76,34

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05

C.H. Diferencia.

Cusco, 22 de Setiembre 2023

  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

## ANEXO 2

## Norma Técnica Peruana para la Determinación del contenido de Humedad

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	CEREALES Y MENESTRAS Determinación del contenido de humedad Método Usual	ITINTEC 205.002 Febrero, 1979
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS-ITINTEC-LIMA-PERU	<p style="text-align: center;"><b>INTRODUCCIÓN</b></p> <p>La presente Norma Técnica Nacional es el Resultado de la revisión del proyecto de Norma técnica 205.002 Cereales y menestras. Método Práctico para determinar el contenido de humedad.</p> <p>En el presente documento se ha cambiado la nominación del término peso, por el término masa, debido a que en el Sistema Internacional de Unidades(SI), la unidad de base * masa es el Kilogramo. Si se siguiera expresando el Término peso, debería utilizarse la unidad derivada "Fuerza", cuya unidad es el Newton.</p> <p>La mayoría de países afiliados a la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT); han adoptado el Sistema.</p> <p style="text-align: center;"><b>1. NORMAS A CONSULTAR</b></p> <p>ITINTEC 205.001 CEREALES Y MENESTRAS. Extracción de Muestras.</p> <p>ITINTEC 205. CEREALES Y MENESTRAS. Método de diferencia para determinar el contenido de humedad.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. OBJETO</b></p> <p>2.1 La presente norma establece el método usual para determinar el contenido de humedad en cereales.</p> <p>2.2 Este método permite obtener resultados , que comparados con los obtenidos por el método de referencia, difieren en menos de 0.15%</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 contenido de humedad .- es la pérdida de masa que sufre el producto en las condiciones del método descrito.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. INSPECCION Y RECEPCION</b></p> <p>4.1 la extracción de muestras y recepción se hará según la norma ITINTEC 202.001. cereales y menestras. Extracción de muestras.</p> <p style="text-align: center;"><b>5. PRINCIPIO DEL METODO</b></p> <p>5.1 el producto previamente molido o acondicionado si fuera necesario, se seca. a</p>	
R.D. N° 035 - 79 - ITINTEC - DG/DN del 20-02-1979		5 páginas
C.D.U. 633. 1: 620. 1		* Toda reproducción indicar el origen*

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	CEREALES Y MENESTRAS Determinación del contenido de humedad Método Usual	ITINTEC 205.002 Febrero, 1979
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS- ITINTEC- LIMA-PERU	<p>°C <math>\pm</math> 2 °C bajo presión atmosférica normal, durante un tiempo fijado empíricamente, en función al tamaño de la partículas; de manera que la pérdida de masa porcentual, concuerde con el contenido de humedad determinada por el método de referencia.</p>	
	<p style="text-align: center;"><b>6. APARATOS</b></p> <p>6.1 Balanza Analítica, con precisión de 0.1 mg.</p> <p>6.2 Molido de laboratorio, que permite obtener un producto que pase por el tamiz ITINTEC 0.841 mm(N° 20), que evite el máximo el contacto con la atmósfera exterior, y que permita una trituración rápida y uniforme sin provocar un calentamiento sensible.</p> <p>6.3 Pesafiltro, de metal resistente a la corrosión o de vidrio térmico provisto de tapa, las dimensiones deberán ser aproximadamente 55 mm de diámetro</p> <p>6.4 Estufa.- de calentamiento eléctrico, que permita mantener en su interior, una temperatura de 130°C <math>\pm</math> 2°C, provista de buena ventilación.</p> <p>6.5 Desecador, con placa de metal o de porcelana gruesa perforada, conteniendo cualesquiera de los deshidratantes indicados en % 1.1.</p> <p style="text-align: center;"><b>7. REACTIVOS Y MATERIALES</b></p> <p>7.1 Reactivos</p> <p>7.1.1 Deshidratantes adecuados tales: anhídrido fosfórico par análisis, sulfato de calcio anhidro granulado e impregnado de cloruro de cobalto, óxido de calcio activo, alumina activo o ácido sulfúrico concentrado.</p> <p style="text-align: center;"><b>8. PREPARACION DE LA MUESTRA PAR ENSAYOS</b></p> <p>8.1 se muele la muestra, de manera que el 99% de las partículas pasen por el tamiz ITINTEC 0.841 mm (N° 20).</p>	

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	CEREALES Y MENESTRAS Determinación del contenido de humedad Método Usual	ITINTEC 205.002 Febrero, 1979
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS- ITINTEC- LIMA-PERU	<b>9. PROCEDIMIENTO</b>	
	<p>9.1 Muestras con un contenido de humedad menor de 16%</p> <p>9.1.1 se determina exactamente una masa de 5 gr. De la muestra a ensayar, con aproximación de 0.1 mg., en un pesafiltro previamente secada o tarada, operando rápidamente de manera de evitar toda alteración en el contenido de humedad .</p> <p>9.1.2 se pone el pesafiltro destapado con la muestra en la estufa a 130°C durante 60 min. Desde que la estufa alcanza los 130°C</p> <p>9.1.3 Se tapa el pesafiltro, se retira de la estufa, se coloca en un desecador y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente(45 min a 60 min)</p> <p>9.1.4 Se Determina la masa del pesafiltro.</p> <p>9.2 Muestras con un contenido de humedad mayor de 16%</p> <p>9.2.1 Se determina exactamente una masa de 8 gr de muestra a ensayar, con aproximación de 0.1 mg, en un pesafiltro previamente secado y tarado.</p> <p>9.2.2 Se coloca el pesafiltro con la muestra en una estufa, hasta reducir la humedad a valores inferiores a 16%</p> <p>9.2.3 Se deja enfriar la muestra al aire y se determina la masa.</p> <p>9.2.4 Se muele la muestra presecada, de manera que el 99% de las partículas pasen por el tamiz ITINTEC .841 mm (N° 20).</p> <p>9.2.5 Se sigue el procedimiento para muestras con un contenido de humedad menor al 16%</p>	
<b>10. EXPRESIÓN DE RESULTADOS</b>		
<p>10.1 El Contenido de humedad , se expresa como la pérdida de masa referida a 100 gr. de muestra original y se calcula mediante las siguientes fórmulas.</p>		
<p>10.1.1 Muestras Con Menos De 16% De Humedad</p>		
$H = \frac{M - M_1}{M} * 100$		

**ANEXO 3****Norma Técnica Peruana para el Índice de Peróxido**

---

NORMA TÉCNICA  
PERUANA

NTP 209.006  
1 de 3

---

## **ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método de determinación del índice de peróxido**

### **1. OBJETO**

1.1 La presente Norma Técnica Peruana establece el método para determinar todas las sustancias, en términos de miliequivalentes de peróxido por 1 000 g de muestra, que oxidan el yoduro de potasio bajo las condiciones del ensayo. Estos son generalmente considerados como peróxidos o cualquier otro producto similar de la oxidación de las grasas.

1.2 Se aplica a todas las grasas y aceites comestibles incluyendo margarinas. Este método es altamente empírico y cualquier variación en el procedimiento conduce a una variación en el resultado.

### **2. ENSAYOS**

#### **2.1 Aparatos**

2.1.1 Pipeta volumétrica de 0,5 ml .

2.1.2 Frasco Erlenmeyer con tapón de vidrio esmerilado de 250 ml .

2.1.3 Papel de filtro Whatman N° 4.

#### **2.2 Reactivos**

2.2.1 Solución de ácido acético y cloroformo. Se mezcla tres partes por volumen de ácido acético glacial grado reactivo para análisis con dos partes por volumen de cloroformo grado reactivo para análisis.

2.2.2 Solución de Yoduro de Potasio; solución saturada de yoduro de potasio grado reactivo para análisis en agua destilada recientemente hervida y enfriada. Se asegura que la solución sea saturada como lo indicará la presencia de cristales no disueltos. Se guarda la solución en un lugar oscuro. Se ensaya diariamente por adición de 2 gotas de solución de almidón indicador a 0,5 ml de solución de yoduro de potasio en 30 ml de solución de ácido acético y cloroformo. Si se forma un color azul que requiere más de una gota de tiosulfato de sodio 0,1 N , para desaparecer, se debe descartar la solución de yoduro y utilizar solución fresca.

2.2.3 Solución de tiosulfato de sodio 0,1 N exactamente titulada.

2.2.4 Solución de tiosulfato de sodio 0,01 N exactamente valorada. Esta solución puede ser preparada de la siguiente manera: se pipetea 100 ml de solución de tiosulfato 0,1 N , se introduce en un frasco volumétrico (Fiola) de 1 000 ml y diluye con agua destilada recientemente hervida y fría.

2.2.5 **Solución indicadora de almidón:** 1 % de almidón soluble en agua.

### 2.3 Procedimiento para aceites y grasas

2.3.1 Se pesan  $5,0 \pm 0,05$  g de muestra se introducen en el frasco Erlenmeyer (250 ml). Se adiciona 30 ml de solución de ácido acético y cloroformo y se tapa, se remueve el frasco hasta que la muestra se disuelva en la solución. Se agrega 0,5 ml de solución saturada de yoduro de potasio; es preferible usar la pipeta volumétrica (2.1.1.).

2.3.2 Se agita la solución por un período exacto de 1 minuto y luego se agrega 30 ml de agua destilada.

2.3.3 Se titula con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N , agregándose gradualmente y en agitación vigorosa. Se continúa la titulación hasta que el color amarillo haya casi desaparecido. Se adiciona 0,5 ml de solución de almidón indicador. Se continúa la titulación agitando el frasco vigorosamente cerca del frasco final para liberar todo el yodo de la solución en cloroformo sedimentado. Se agrega el tiosulfato gota a gota hasta que el color azul desaparezca.

2.3.3.1 Si la titulación es menor que 0,5 ml se repite la determinación usando la solución de tiosulfato de sodio 0,01 N .

2.4 Se conduce simultáneamente una determinación en blanco de los reactivos. El título en blanco no debe exceder de 0,1 ml de solución de tiosulfato de sodio 0,1 N .

## 2.5 Cálculo

2.5.1 Valor de peróxido como miliequivalente de peróxido por 1 000 g de muestra.

$$\frac{S \times N \times 1\,000}{\text{Peso de la muestra}}$$

S = ml de solución de tiosulfato de sodio usado en la titulación.

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

## 2.6 Procedimiento para margarinas

2.6.1 Se funde la muestra calentando y agitando constantemente sobre una plancha caliente colocada a calor bajo o calentando en un estufa a 60 °C - 70 °C. Se debe evitar excesivo calentamiento y particularmente exposición prolongada de la grasa a temperaturas superiores 40 °C .

2.6.2 Cuando esté totalmente fundida, se saca la muestra de la plancha caliente o de la estufa y se deja reposar en un lugar tibio hasta que la porción acuosa y la mayor parte de los sólidos se hayan sedimentando en el fondo.

2.6.3 Se decanta la grasa en un vaso limpio y luego se filtra a través del papel de filtro Whatman N° 4 o equivalente. No se vuelve a calentar a menos que sea absolutamente necesario para la filtración. La muestra debe ser clara y brillante.

2.6.4 Se procede como está expresado en los apartados 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4 y 2.5.

## ANEXO 4

## Norma Técnica Peruana para la determinación del Índice de Refracción

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES Método de Determinación del Índice de Refracción	ITINTEC 209.321 Diciembre, 1975
-----------------------------------	--	---------------------------------------

1.- OBJETO

23 FEB. 1987

1.1 La presente Norma establece el método de ensayo para determinar el índice de refracción de los aceites y grasas animales y vegetales normales, al estado líquido.

2.- PRINCIPIO DEL METODO

2.1 Se basa en el establecimiento de una relación entre la velocidad de la luz al pasar a través de la muestra del aceite o grasa y la velocidad de la luz en el vacío.

3.- APARATOS

3.1 Se requiere un refractómetro de tipo inclinable, con escala Abbé o Butyro y equipado con un baño de agua a temperatura constante, termostáticamente controlada con una aproximación de 0,1°C y con un sistema interior de bombeo y circulación del agua. Los aparatos estándar tienen escalas que dan lecturas del índice de refracción calculado con respecto a la velocidad de la luz en el aire, en lugar de su velocidad en el vacío.

3.2 Si el refractómetro está equipado con un compensador, se requiere una fuente de luz constituida por una lámpara de tungsteno, o un bulbo de luz natural o de vapor de sodio.

4.- REACTIVOS

4.1 Se requiere tolueno o alcohol etílico como solventes de grasas, para limpieza de los prismas. También se precisa un tejido adecuado para la limpieza de lentes en óptica.

5.- PROCEDIMIENTO

5.1 Se debe regular el refractómetro siguiendo las instrucciones de los fabricantes y utilizando un líquido de pureza e índice de refracción conocidos, o un prisma de índice de refracción conocido. También se puede utilizar agua destilada (índice de refracción 1,3330 a 20,0°C), líbrea de anhídrido carbónico.

R.D. Nº 610-75 ITINTEC DG/EM 75-12-21

3 páginas

-2-

- 5.2 En el caso de aceites, se filtra la muestra; en el caso de grasas, si la muestra no está completamente líquida, se funde y se filtra, para remover cualquier impureza y las últimas trazas de humedad.
- 5.3 Se debe ajustar la temperatura del refractómetro a  $40,0^{\circ}\text{C}$  para aceites y grasas de bajo punto de fusión. Para muestras de alto punto de fusión, se debe ajustar la temperatura a  $60,0^{\circ}\text{C}$ .
- 5.4 A continuación se debe verificar que los prismas del refractómetro estén completamente limpios y secos. Después se colocan varias gotas de la muestra en el prisma inferior del refractómetro y se cierran y ajustan bien los dos prismas.
- 5.5 Se dejan pasar uno a dos minutos, o hasta que la muestra alcance la temperatura del refractómetro.
- 5.6 Se ajusta e ilumina el refractómetro para poder obtener la lectura más clara posible y después se determina el índice de refracción.
- 5.7 Se efectúan varias lecturas y se obtiene el promedio.

#### 6.- APENDICE

- 6.1 El índice de refracción es característico, dentro de ciertos límites, para cada tipo de aceite, pudiendo ser afectado por otras factores, tales como el contenido de ácidos grasos libres, la oxidación y los tratamientos de calor.
- 6.2 La Tabla 1 establece una relación entre las lecturas en la escala Abbé y las lecturas en la escala Butyro.
- 6.3 Las fórmulas siguientes establecen las correcciones aproximadas de temperatura, para los refractómetros con escala Butyro y Abbé.

##### a. Refractómetro Butyro:

$$R = R' + K (T' - T)$$

Donde:

R = Lectura a la temperatura T

R' = Lectura a la temperatura T'

T = Temperatura estándar

T' = Temperatura a la cual se efectúa la lectura.

K = 0,55 para grasas y 0,50 para aceites.



b. Refractómetro Abbé:

La fórmula es idéntica a la dada para el refractómetro Dutory, con la diferencia que K es de 0,000365 para grasas y 0,000385 para aceites.

6.4 El presente método es correspondiente con el método Cc 7.25 de la AOCS

\* \* \*



## ANEXO 5

## Norma Técnica Peruana para la determinación de la Acidez libre

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	ACIDEZ Y GRASA COMESTIBLES Método para la determinación de la acidez libre	ITINTEC 209.005 Enero, 1968																								
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS- ITINTEC- LIMA- PERU	1. OBJETO																									
	1.1 La presente norma establece el método usual para determinar el contenido de acidez libre de aceites vegetales crudos y refinados, aceites marinos y grasas animales.																									
2. ENSAYOS																										
2.1 APARATOS																										
2.1.1 Botellas de 115 a 230 ml o erlenmeyer de 250 ml																										
2.2 REACTIVOS																										
2.2.1 alcohol etílico 95 %. El alcohol debe dar su punto final definido y agudo con fenoltaleína y puede ser neutralizado con álcali (NaOH), hasta una ténua coloración de color rosado permanente, de antes de ser usado.																										
2.2.1.1 Isopropanol 99 % puede ser usado como un solvente alternativo, con aceites crudos y refinados.																										
2.2.2 Solución indicadora de fenoltaleína, 1 % en alcohol de 95 %.																										
2.2.2.1 Un indicador alternativo para aceites vegetales crudos y de color oscuro; es una solución al 0.025% de azul de anilina del Sr.Grubler en isopropanol al 99%.																										
2.2.3 Solución de hidróxido de sodio exactamente valorada.																										
2.3 PROCEDIMIENTO																										
2.3.1																										
<table border="1" data-bbox="316 1375 1257 1697"> <thead> <tr> <th>Rango de acidez libre %</th> <th>Granos de muestra</th> <th>Mililitros de alcohol</th> <th>Concentración álcali</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.0 a 0.2</td> <td>56.4 + 0.2</td> <td>50</td> <td>0.1 N</td> </tr> <tr> <td>0.2 a 1.0</td> <td>28.4 + 0.2</td> <td>50</td> <td>0.1 N</td> </tr> <tr> <td>1.0 a 30.0</td> <td>7.05 + 0.05</td> <td>75</td> <td>0.2 0N</td> </tr> <tr> <td>30.00 a 50.00</td> <td>7.05 + 0.05</td> <td>100</td> <td>0.25 ó 1.0N</td> </tr> <tr> <td>50.00 a 100.00</td> <td>3.525 + 0.00</td> <td>100</td> <td>1.0 N</td> </tr> </tbody> </table>		Rango de acidez libre %	Granos de muestra	Mililitros de alcohol	Concentración álcali	0.0 a 0.2	56.4 + 0.2	50	0.1 N	0.2 a 1.0	28.4 + 0.2	50	0.1 N	1.0 a 30.0	7.05 + 0.05	75	0.2 0N	30.00 a 50.00	7.05 + 0.05	100	0.25 ó 1.0N	50.00 a 100.00	3.525 + 0.00	100	1.0 N	
Rango de acidez libre %	Granos de muestra	Mililitros de alcohol	Concentración álcali																							
0.0 a 0.2	56.4 + 0.2	50	0.1 N																							
0.2 a 1.0	28.4 + 0.2	50	0.1 N																							
1.0 a 30.0	7.05 + 0.05	75	0.2 0N																							
30.00 a 50.00	7.05 + 0.05	100	0.25 ó 1.0N																							
50.00 a 100.00	3.525 + 0.00	100	1.0 N																							
2.3.2 La muestra debe ser líquida y homogénea antes de pesarla.																										
2.3.3 Se usa la tabla (2.3.1) para determinar las cantidades que deben usarse para los varios rangos de acidez libre. La cantidades especificada de la muestra se introduce en la botella o erlenmeyer.																										
R.D. N° 035 - 79 - ITINTEC - DG/DN del 20-02-1979		5 páginas																								
C.D.U. 633. 1: 620. 1		" Toda reproducción indicar el origen"																								

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	ACIDEZ Y GRASA COMESTIBLES Método para la determinación de la acidez libre	ITINTEC 209.005 Enero, 1968
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS- ITINTEC- LIMA-PERU	2.3.4 Se Añade la cantidad especificada de alcohol caliente y 2 ml de indicador	
	2.3.5 Se titula con álcali(NaOH) agitando vigorosamente hasta la aparición del primer color rosado permanente de la misma intensidad del que tiene el alcohol neutralizado antes de la adición de la muestra. El color rosado debe permanecer por espacio de 30 segundos.	
	2.4 Procedimiento Alternativo Para Muestras De Bajo Contenido De Acidez Libre Menor Del 0.1%.	
	2.4.1 Se colocan 50 ml de alcohol de alcohol en la botella y se adicionan unas pocas gotas de la muestra. Se agregan 2 ml de solución indicadora de fenoltaleina y se calienta en baño maría a una temperatura de 60 °C a 65°C.	
	2.4.2 Se adiciona hidróxido de sodio 0.1N, gota a gota, agitando fuertemente hasta que se obtenga el tenue color rosado permanente.	
	2.4.3 Se agregan 50.4 gr. De muestra, se calienta de 60°C a 65°C y se Titula con hidroxido de sodio 0.1N, agitando fuertemente hasta obtener un tenue color rosado permanente. Este color debe ser de la misma intensidad de que el obtenido en el alcohol antes de adicionarle los 56.4 gr. De muestra y debe persistir por espacio de 30 segundos. El color debe ser observado en la capa alcohólica que queda sobre la muestra después de haberse permitido decantar; generalmente la muestra decanta suficientemente en 1 minuto.	
	.Cálculo	
	2.5.1 El porcentaje de acidez libre en la mayoría de los tipos de grasa y aceites se calcula como ácido oleico, aunque en aceites de semilla de palma y coco se expresa frecuentemente como ácido láurico y en aceite de palma como ácido palmítico.	
	2.5.2 Acidez libre expresada como ácido oleico en porcentaje:	
	$A.L.\% = \frac{ml.de.álcali * N * 28.2}{Peso.de.la.muestra}$	
2.5.3 Acidez libre expresada como ácido láurico en porcentaje:		
$A.L.\% = \frac{ml.de.álcali * N * 20.0}{Peso.de.la.muestra}$		
2.5.4 Acidez libre expresada como ácido palmítico en porcentaje:		

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	ACIDEZ Y GRASA COMESTIBLES Método para la determinación de la acidez libre	ITINTEC 209.005 Enero, 1968
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS- ITINTEC- LIMA-PERU	$A.L. = \frac{ml..de..álcali * N * 25.0}{Peso..de..la..muestra}$ <p>2.6 Informe</p> <p>2.6.1 La acidez libre se expresa frecuentemente en términos del índice de acidez, en vez de porcentaje de acidez; es definido como el número de miligramos de KOH. Necesario para neutralizar 1 gramo de muestra. Para convertir el porcentaje de acidez libre( Como oleico a índice de acidez se multiplica el primera (% AL.) por 1.99.</p>	

## ANEXO 6

### Índice de Peróxido del aceite de semillas de tuna

#### Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B  
Wanchaq - Cusco - Perú  
Telefax: 084-234727  
Celular: 975 713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
www.lablouispasteur.pe



### INFORME DE ENSAYO LLP-0845-2023 SO-0219-2023

Pág. 1 de 1

#### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

**Solicitante:** Cinthia Mozo Escalante  
**Dirección Legal:** Calle Agustin Gamarra N° 433, UNSAAC.

#### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

**Nombre del Producto:** Aceite de semilla de tuna (A1)  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/02/27  
**Fecha de Ensayo:** 2023/02/27

#### INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

**Muestreo realizado por:** Cinthia Mozo Escalante  
**Fecha de Muestreo:** 2023/02/23  
**Procedencia de la Muestra:** laboratorio de control de contaminación ambiental, Ingeniería Química, UNSAAC (A1).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 02 frascos de vidrio con gotero c/u de 10ml.

#### REPORTE DE RESULTADOS

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/03

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

#### RESULTADOS QUIMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Índice de peróxidos	Meq/Kg	2,19

**Métodos de Referencia:**  
Determinación de peróxidos.

ITINTEC 209.006 1998 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES DETERMINACION DEL INDICE DE PEROXIDO

  
Blga. Mercedes María Quispe Flórez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

**Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.**

Urb. Velasco Astete D-18-B  
 Wanchaq - Cusco - Perú  
 Telefax: 084-234727  
 Celular: 975 713500 - 974787151  
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
 www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1672-2023**  
**SO-0455-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Cinthia Mozo Escalante  
**Dirección Legal:** Calle Agustin Gamarra N° 437

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Aceite de semilla de tuna (G2)  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/04/12  
**Fecha de Ensayo:** 2023/04/12

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Cinthia Mozo Escalante  
**Fecha de Muestreo:** 2023/04/12  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio de control de la contaminación ambiental, Ingeniería Química - UNSAAC.  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de vidrio de 10ml.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/04/14

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUIMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Índice de peróxido	Meq/Kg	3,99

**Métodos de Referencia:**

Determinación de peróxidos.

ITINTEC 209.006 1968 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES DETERMINACION DEL INDICE DE PEROXIDO

  
 Dña. Mercedes Manizta Quispe Flórez  
 C. B. P. 4917  
 DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

**Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.**

Urb. Velasco Astete D-18-B  
 Wanchaq - Cusco - Perú  
 Telefax: 084-234727  
 Celular: 975 713500 - 974787151  
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
 www.lablouispasteur.pe

**INFORME DE ENSAYO****LLP-1193-2023****SO-0324-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Solicitante: Cinthia Mozo Escalante  
 Dirección Legal: Calle Agustin Gamarra N° 437

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

Nombre del Producto: Aceite de semilla de tuna (L1)  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2023/03/17  
 Fecha de Ensayo: 2023/03/17

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

Muestreo realizado por: Cinthia Mozo Escalante  
 Fecha de Muestreo: 2023/03/17  
 Procedencia de la Muestra: L1: laboratorio de control de la contaminación ambiental, Ingeniería Química, UNSAAC.  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de vidrio ambar de 10ml.

**REPORTE DE RESULTADOS**

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2023/03/21

*Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.*

**RESULTADOS QUIMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Índice de peróxido	Meq/Kg	2,45

**Métodos de Referencia:**

Determinación de peróxidos.

ITINTEC 209.006 1968 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES DETERMINACION DEL INDICE DE PEROXIDO

  
 Blga. Mercedes Manza Zúñiga Fiórez  
 C. B. P. 0317  
 DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

**Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.**

Urb. Velasco Astete D-18-B  
 Wanchaq - Cusco - Perú  
 Telefax: 084-234727  
 Celular: 975 713500 - 974787151  
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
 www.lablouispasteur.pe

**INFORME DE ENSAYO****LLP-2892-2023****SO-0857-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Solicitante: Yormeli Calachahui Luque  
 Dirección Legal: Urb. La Kantuta Mz. A Lt. 6 – UNSAAC.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

Nombre del Producto: Aceite de semilla de tuna N<sub>1</sub>  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2023/06/20  
 Fecha de Ensayo: 2023/06/20

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

Muestreo realizado por: Yormeli Calachahui Luque  
 Fecha de Muestreo: 2023/06/13  
 Procedencia de la Muestra: Laboratorio de control de contaminación ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Química.  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 botella-gotero de vidrio de 10ml.

**REPORTE DE RESULTADOS**

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2023/06/26

*Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.*

**RESULTADOS QUIMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Indice de peróxido	Meq/Kg	3,39

**Métodos de Referencia:**

Determinación de peróxidos

ITINTEC 209.006 1968 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. DETERMINACION DEL INDICE DE PEROXIDO

  
 Biga Mercedes Maritza Yuispe Fiorez  
 C. B. P. 4377  
 DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



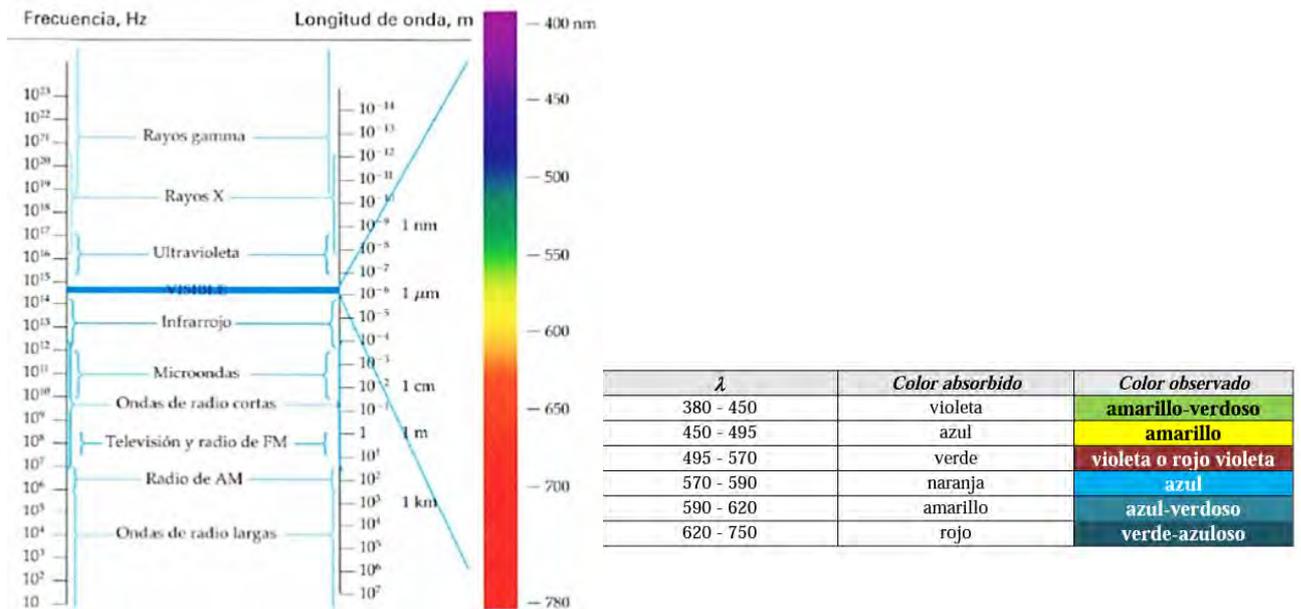
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

### ANEXO 7 Valores críticos de la distribución F (0.05)

DF2	DF1 α = 0.05																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	Inf
1	161.45	199.5	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	243.91	245.95	248.01	249.05	250.1	251.14	252.2	253.25	254.31
2	18.513	19	19.164	19.247	19.296	19.33	19.353	19.371	19.385	19.396	19.413	19.429	19.446	19.454	19.462	19.471	19.479	19.487	19.496
3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123	8.7855	8.7446	8.7029	8.6602	8.6385	8.6166	8.5944	8.572	8.5494	8.5264
4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.041	5.9988	5.9644	5.9117	5.8578	5.8025	5.7744	5.7459	5.717	5.6877	5.6581	5.6281
5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	4.7351	4.6777	4.6188	4.5581	4.5272	4.4957	4.4638	4.4314	4.3985	4.365
6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.099	4.06	3.9999	3.9381	3.8742	3.8415	3.8082	3.7743	3.7398	3.7047	3.6689
7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.866	3.787	3.7257	3.6767	3.6365	3.5747	3.5107	3.4445	3.4105	3.3758	3.3404	3.3043	3.2674	3.2298
8	5.3177	4.459	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881	3.3472	3.2839	3.2184	3.1503	3.1152	3.0794	3.0428	3.0053	2.9669	2.9276
9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789	3.1373	3.0729	3.0061	2.9365	2.9005	2.8637	2.8259	2.7872	2.7475	2.7067
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.478	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204	2.9782	2.913	2.845	2.774	2.7372	2.6996	2.6609	2.6211	2.5801	2.5379
11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.948	2.8962	2.8536	2.7876	2.7186	2.6464	2.609	2.5705	2.5309	2.4901	2.448	2.4045
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964	2.7534	2.6866	2.6169	2.5436	2.5055	2.4663	2.4259	2.3842	2.341	2.2962
13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144	2.671	2.6037	2.5331	2.4589	2.4202	2.3803	2.3392	2.2966	2.2524	2.2064
14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458	2.6022	2.5342	2.463	2.3879	2.3487	2.3082	2.2664	2.2229	2.1778	2.1307
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876	2.5437	2.4753	2.4034	2.3275	2.2878	2.2468	2.2043	2.1601	2.1141	2.0658
16	4.494	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377	2.4935	2.4247	2.3522	2.2756	2.2354	2.1938	2.1507	2.1058	2.0589	2.0096
17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.81	2.6987	2.6143	2.548	2.4943	2.4499	2.3807	2.3077	2.2304	2.1898	2.1477	2.104	2.0584	2.0107	1.9604
18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563	2.4117	2.3421	2.2686	2.1906	2.1497	2.1071	2.0629	2.0166	1.9681	1.9168
19	4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227	2.3779	2.308	2.2341	2.1555	2.1141	2.0712	2.0264	1.9795	1.9302	1.878
20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.599	2.514	2.4471	2.3928	2.3479	2.2776	2.2033	2.1242	2.0825	2.0391	1.9938	1.9464	1.8963	1.8432
21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.366	2.321	2.2504	2.1757	2.096	2.054	2.0102	1.9645	1.9165	1.8657	1.8117
22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419	2.2967	2.2258	2.1508	2.0707	2.0283	1.9842	1.938	1.8894	1.838	1.7831
23	4.2793	3.4221	3.0278	2.7955	2.64	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201	2.2747	2.2036	2.1282	2.0476	2.005	1.9605	1.9139	1.8648	1.8128	1.757
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002	2.2547	2.1834	2.1077	2.0267	1.9838	1.939	1.892	1.8424	1.7896	1.733
25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.603	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821	2.2365	2.1649	2.0889	2.0075	1.9643	1.9192	1.8718	1.8217	1.7684	1.711
26	4.2252	3.369	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655	2.2197	2.1479	2.0716	1.9898	1.9464	1.901	1.8533	1.8027	1.7488	1.6906
27	4.21	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501	2.2043	2.1323	2.0558	1.9736	1.9299	1.8842	1.8361	1.7851	1.7306	1.6717
28	4.196	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.236	2.19	2.1179	2.0411	1.9586	1.9147	1.8687	1.8203	1.7689	1.7138	1.6541
29	4.183	3.3277	2.934	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229	2.1768	2.1045	2.0275	1.9446	1.9005	1.8543	1.8055	1.7537	1.6981	1.6376
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107	2.1646	2.0921	2.0148	1.9317	1.8874	1.8409	1.7918	1.7396	1.6835	1.6223
40	4.0847	3.2317	2.8387	2.606	2.4495	2.3359	2.249	2.1802	2.124	2.0772	2.0035	1.9245	1.8389	1.7929	1.7444	1.6928	1.6373	1.5766	1.5089
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.097	2.0401	1.9926	1.9174	1.8364	1.748	1.7001	1.6491	1.5943	1.5343	1.4673	1.3893
120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.175	2.0868	2.0164	1.9588	1.9105	1.8337	1.7505	1.6587	1.6084	1.5543	1.4952	1.429	1.3519	1.2539
Inf	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799	1.8307	1.7522	1.6664	1.5705	1.5173	1.4591	1.394	1.318	1.2214	1

Nota. Fuente: (Statologos, 2023)

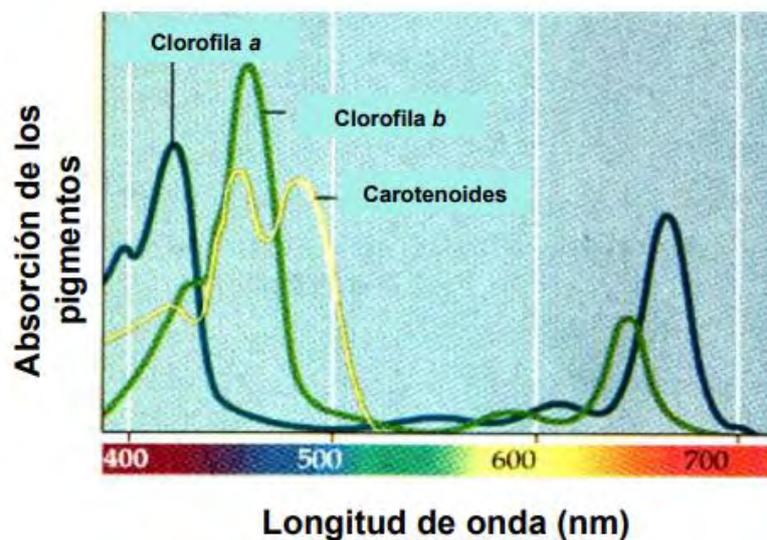
### ANEXO 8 Longitudes a través del espectro electromagnético



Fuente: (Tipler & Mosca, 2010; García Fabila, 2016)

## ANEXO 9

### Espectro de absorción de los pigmentos A

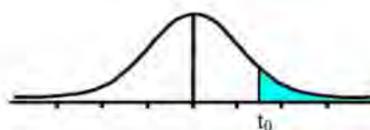


Fuente: (Abril Díaz et al., 2000)

## ANEXO 10

### Distribución de T-Student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467

Fuente: (Gutierrez Abascal, 2018)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbdelFattah, M. S., Badr, S. E., & Elsaid, A. S. (2020). Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Egypt. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 8, 1-10. doi:<https://journalissues.org/ijapr/wp-content/uploads/sites/5/2020/02/AbdelFattah-et-al-1.pdf>
- Abril Díaz, N., Bárcena Ruiz, A., Fernández Reyes, E., Galván Cejudo, A., Jorrín Novo, J., Peinado Peinado, J., . . . Túnez Fiñana, I. (2000). *Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Córdoba. Recuperado el 1 de Setiembre de 2023, de [https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biologia-mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf](https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biologia-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf)
- Acosta Gonzales, I. X., & Torres Tintaya, G. (2015). *Extracción de aceite de chía(Salvia Hispánica L.) por el método de prensado continuo (Expeller) y discontinuo (Hidráulico) de las regiones de Cusco y Arequipa*. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa.
- Albergamo, A., Giorgia Potortí, A., Di Bella, G., Ben Amor, N., Lo Vecchio, G., Nava, V., . . . Lo Turco, V. (2022). Chemical Characterization of Different Products from the Tunisian *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (M. Dueñas Paton, Ed.) *foods MDPI*, 11(155), 2-19.
- Almanza, P., & Fischer, G. (2012). Tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). *Manual para el cultivo de frutas en el trópico*, 1014-1023.
- Al-Naqeb, G. (20 de Setiembre de 2015). Efecto del aceite de semillas de nopal sobre el nivel de glucosa en sangre de ratas diabéticas inducidas por estreptozotocina y sus mecanismos moleculares. 3(4), 29-34. Saná, Saná, Yemen. Recuperado el 28 de Agosto de 2023, de *International Journal of Herbal Medicine*: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55181933/Effect\\_of\\_prickly\\_pear\\_cactus\\_seeds\\_oil-libre.pdf?1512281031=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEffect\\_of\\_prickly\\_pear\\_cactus\\_seeds\\_oil.pdf&Expires=1693267222&Signature=f7WUP8tYFaNf8gisidX6jv6](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55181933/Effect_of_prickly_pear_cactus_seeds_oil-libre.pdf?1512281031=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEffect_of_prickly_pear_cactus_seeds_oil.pdf&Expires=1693267222&Signature=f7WUP8tYFaNf8gisidX6jv6)
- Al-Naqeb, G., Luca, F., Ciolli, M., & Aprea, E. (2021). Prickly Pear Seed Oil Extraction, Chemical Characterization and Potential Health Benefits. (F. Cacciola, Ed.) *molecules MDPI*, 26(5018), 2-22.
- Álvares Castillo, M. d. (2016). *Determinaciones físicas y químicas en variedades de semilla tunera (Opuntia) para los procesamientos de uso agroindustrial*. Tesis, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

- Angarita Ruiz, M. P. (2019). *Obtención de aceite esencial de semilla de durazno por Método Soxhlet y Arrastre de vapor*. Tesis, Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Bogotá, Colombia.
- Argüeso Armesto, R., Díaz Díaz, J., Díaz Peromingo, J., Rodríguez González, A., Castro Mao, M., & Diz Lois, F. (28 de Abril de 2011). Suplemento los Lípidos: Fisiología, Patología y Dianas Terapéuticas. *Lípidos, colesterol y lipoproteínas*, 7-17. España.
- Ayala Bendezú, T. (2008). *Proyecto de instalación de una planta de procesamiento de tuna en el distrito de Chincho provincia de Angaraes departamento de Huancavelica*. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima. Recuperado el 26 de Enero de 2023
- Benavente Calizaya, J. C. (2019). *Determinación del tamaño de grano y el tiempo en el proceso de extracción por solventes del aceite de arrocillo (Oriza sativa L.) proveniente de la provincia de Camaná*. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa. Recuperado el 30 de Setiembre de 2023, de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5864d192-d517-4da3-bf68-e8a9d5706b5e/content>
- Bermejo Román, R. (2015). *Estudio fisicoquímico de estabilidad de aceites enriquecidos en nuevos antioxidantes*. Trabajo fin de grado, Universidad de Jaén , Departamento de Química Física y Analítica, España. Recuperado el 3 de setiembre de 2023, de [https://epsl.ujaen.es/sites/centro\\_epsl/files/uploads/Quimica-Sobresaliente.pdf](https://epsl.ujaen.es/sites/centro_epsl/files/uploads/Quimica-Sobresaliente.pdf)
- Blanco, L. (11 de junio de 2019). lifeder. *Tuna: características, hábitat, reproducción, usos*. Recuperado el 19 de octubre de 2021, de <https://www.lifeder.com/tuna/>
- Brahmi, F., Haddad, S., Bouamara, K., Yalaoui-Guellal, D., Prost-Camus, E., Pais de Barros, J.-P., . . . Lizard, G. (2020). Comparación de la composición química y las actividades biológicas de los Aceites de semillas argelinos de Pistacia lentiscus L., Opuntia ficus indica (L.) mill. y Argania spinosa L. Skeels. *Industrial Crops & Products*. Recuperado el 02 de Setiembre de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669020303721?via%3DiHub>
- Cabezas Zábala, C. C., Hernández Torres, B. C., & Vargas Zárata, M. (2016). *Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Nutrición Humana , Bogotá. Recuperado el 29 de Junio de 2022, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v64n4/0120-0011-rfmun-64-04-00761.pdf>

- Campos, H. (2009). *Estudio de extracción de asfaltenos del crudo extrapesado Carabobo*. Informe de Pasantías, Universidad de Carabobo, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Valencia.
- Castillo Peralta, C. (19 de Febrero de 2014). *LAmuLA.PE*. Obtenido de <https://willkamikhuna.lamula.pe/2014/02/19/la-tuna-un-tesoro-bajo-las-espinas/ccperalta/>
- Cevallos Camacho, I. M. (2018). *Técnicas de identificación y cuantificación de los principios activos con potencial uso en el sector cosmético encontrados en las especies del género Opuntia de la familia Cactaceae*. Monografía, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Quito.
- Chbani, M., Matthäus, B., Charrouf, Z., El Monfalouti, H., Kartah, B., Gharby, S., & Willenberg, I. (11 de Agosto de 2020). Caracterización de compuestos fenólicos extraídos del aceite de semilla de nopal ( *Opuntia ficus-indica* L.) prensado en frío y el efecto del tostado en su composición. *Foods*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7465185/>
- CHEMOS Solutions through service. (15 de Julio de 2019). Recuperado el 4 de Enero de 2024, de [https://www.chemos.de/import/data/msds/ES\\_es/67-56-1-A0287913-ES-es.pdf](https://www.chemos.de/import/data/msds/ES_es/67-56-1-A0287913-ES-es.pdf)
- Daya, S. (2021). Beneficios de belleza del aceite de semilla de tuna. Reino Unido: Victoriahealth. Recuperado el 22 de Noviembre de 2021, de <https://editorial.victoriahealth.com/beauty-benefits-of-prickly-pear-seed-oil>
- De La Cruz Crispín, C. (2021). *Obtención de aceite de la semilla del nabo silvestre (Brassica campestris L.) por el método de prensado continuo (expeller) y discontinuo (hidráulico)*. Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias Agrarias, Huancavelica.
- De los Santos, A. (2010). *La teoría del color*. IDAT. Recuperado el 9 de Setiembre de 2023, de <https://adelossantos.files.wordpress.com/2010/10/teroria-del-color.pdf>
- Denopal. (Enero de 2022). *La tuna y el nopal*. Recuperado el 07 de Marzo de 2023, de <https://denopal.net/la-tuna-y-el-nopal/>
- DePerú. (2024). Recuperado el 02 de Enero de 2024, de <https://www.deperu.com/centros-poblados/moccocjahua-41829>
- Díaz Velásquez, D. M., Upegui Mayor, A. T., Arboleda Nava, J. A., & Vásquez Mucúa, A. L. (2020). *Los lípidos y sus generalidades*. Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali. Recuperado el 29 de Junio de 2022, de <https://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/download/195/199/3441?inline=1>

- Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., & Hamadi, A. (Diciembre de 2005). Composición de ácidos grasos y comportamiento reológico de los aceites de semillas de tuna. *Food Chemistry*, 93, 431- 437. Recuperado el 04 de Julio de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814604007605>
- Ettalibi, F., El Antari, A., Hamouda, A., Gadhi, C., & Harrak, H. (20 de Setiembre de 2021). Evaluación comparativa de las características físicas y químicas del aceite de semilla de tuna de las variedades *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia megacantha*. *Revista de calidad de los alimentos*, 21. Recuperado el 15 de Setiembre de 2023, de <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2021/3098608/>
- FAO. (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. (P. Inglese, C. Mongradon Jacobo, A. Nefzaoui , & C. Sáenz , Edits.) Roma, Italia. Recuperado el 26 de Septiembre de 2021, de <http://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>
- Florián García, S. V. (2014). *Efecto del rango de punto de ebullición del éter de petróleo en las características fisicoquímicas del aceite extraído del grano de maní (Arachis hypogaea L.)*. Tesis, Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ciencias Agrarias, Trujillo.
- Gabriel Gaspar, M. L. (2019). *Optimización del proceso de extracción de aceite de teberinto (Moringa oleifera) mediante método soxhlet*. Tesis, Universidad Nacional del Callao, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química.
- García Fabila, M. (2016). *Apuntes para Espectrometría de Radiación Ultravioleta Visible (UV/VIS)*. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, México. Recuperado el 14 de Setiembre de 2023, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68318/secme-1814.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gerencia Regional Agraria La Libertad. (Noviembre de 2009). Cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica*). Trujillo, Perú. Recuperado el 10 de Noviembre de 2021, de <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- Giacomelli, L. M., Mattea, M., & Ceballos, C. D. (2006). Análisis y Caracterización de Aceites Comestibles por métodos quimiométricos. *AOCS*, 83(4), 303-307. Recuperado el 30 de Agosto de 2023
- Golam Rasul, M. (Diciembre de 2018). Conventional Extraction Methods Use in Medicinal Plants, their Advantages and Disadvantages. *International Journal of Basic Sciences and*

*Applied Computing*, 2. Obtenido de <https://www.ijbsac.org/wp-content/uploads/papers/v2i6/F0082122618.pdf>

- Gonzales Iquira, M. A. (2021). *Diseño de un proceso para la producción de aceite comestible a partir de materias primas alternativas: semillas de zapallo y su grado de aceptación en el consumidor de Arequipa*. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Unidad de posgrado de la Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios, Arequipa.
- Gonzalez Villa, A. A. (2004). *Obtención de aceites esenciales y extractos etanolicos de plantas del Amazonas*. Trabajo final, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Química. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2800/angelaandreagonzalezvilla.2004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutierrez Abascal, J. (Octubre de 2018). *Formulario y Tablas*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica de Ingenieros Industriales, Madrid. Recuperado el 8 de Octubre de 2023, de <https://www2.etsii.upm.es/ingor/estadistica/Grado/eTABLAS.pdf>
- Hayqui Betancurt, H. (2016). *Extracción y caracterización de aceite de semillas de zapallo de la variedad Macre (cucurbita máxima)*. Tesis, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Juliaca.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGrawHill Education .
- Hernández, C., & Mieres Pitre, A. (2013). *Rendimiento de la extracción por prensado en frío y refinación física del aceite de la almendra del fruto de la palma corozo (Acrocomia aculeata)*. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Valencia.
- Huaranga Alvaro, M. (2014). *Evaluación de betaminas y actividad antioxidante en pulpa concentrada de tuna (Opuntia ficus indica) ecotipo morado*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Aplicadas, Huancayo.
- Huayhua Carlos, M. L., & Moya Torres, G. H. (2018). *Extracción, purificación y caracterización fisicoquímica de los compuestos volátiles del Tecoma fulva (arequipensis)*. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Naturales y Formales, Arequipa.
- Kadda, S., Belabed, A., Loukili, E., Hammouti, B., & Fadlaoui, S. (2022). *Efectos de la temperatura y los métodos de extracción sobre el rendimiento, los ácidos grasos y los tocoferoles del aceite de semilla de tuna (Opuntia ficus - indica L.) de la región oriental de Marruecos*. Recuperado el 30 de Agosto de 2023, de Investigación en ciencias

ambientales y contaminación: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16752-8#citeas>

- Khémiri, I., & Bitri, L. (2019). Efectividad del aceite de semilla de *Opuntia ficus indica* L. inermis en la protección y curación de la úlcera de la mucosa gástrica inducida experimentalmente. *Medicina oxidativa y longevidad celular*, 2019. Recuperado el 31 de Agosto de 2023, de <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2019/1568720/>
- Kirk, R. S., Egan, H., & Sawyer, R. (2011). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. México: Grupo Editorial Patria.
- Landázuri, J. (2013). *Propuesta de elaboración de postres imbabureños a base de la tuna amarilla en la ciudad de Ibarra*. Tesina, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ciencias de la Salud, Ibarra.
- Leonardo Ramos, Y. L., & Veliz Gutarate, A. L. (2022). *Efecto del prensado en frío y extracción termomecánica sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite de copra de Cocos nucifera "Coco"*. Tesis, Universidad Peruana los Andes, Facultad de Ciencias de la Salud, Huancayo. Recuperado el 20 de Setiembre de 2023, de <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/4680/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López Salazar, K. A. (2009). *Extracción y caracterización fisicoquímica de la oleorresina de la Hoja de Laurel (Litsea guatemalensis Mez.) a nivel de laboratorio, utilizando tres concentraciones de solventes*. Tesis de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1122\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1122_Q.pdf)
- Manzur Valdespino, S. (Octubre de 2017). *Capacidad antioxidante y propiedad funcional de la fibra de cáscara de tuna púrpura (Opuntia ficus-indica) ultrasónica para el desarrollo de una gelatina*. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Medicina, Hidalgo.
- Martínez López, J. B., & Zúniga Herrera, G. A. (30 de Agosto de 2018). *Extracción de aceite de la semilla de guanábana (Annona muricata L) a nivel de laboratorio aplicando los métodos de extracción Soxhlet y arrastre de vapor de agua*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química, Managua.
- Masmoudia, M., Baccouchea, A., Borchani, M., Besbes, S., Bleckerb, C., & Attia, H. (2021). Propiedades físico-químicas y antioxidantes de aceites y subproductos obtenidos mediante extracción por prensado en frío de *Opuntia* spp. de Túnez. semillas. *Applied*

- Food Research*, 1. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277250222100024X>
- Masson Salaue, L. (2012). *Semillas de frutos nativos y cultivados en Chile: su aceite como fuente de compuestos funcionales*. Memoria, Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Nutrición y Bromatología II, Madrid.
- Mayoral, V. (29 de enero de 2020). *EPI*. Obtenido de Estudios y Proyectos de Investigación S. A. de C. V.: <https://episacv.com/index.php/2020/01/29/patente-de-aceite-de-tuna/>
- Merck. (2023). *Ficha de Datos de Seguridad*. Recuperado el 23 de Junio de 2023, de [https://www.merckmillipore.com/PE/es/product/Ethanol-960-0,MDA\\_CHEM-159010?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.merckmillipore.com/PE/es/product/Ethanol-960-0,MDA_CHEM-159010?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)
- Metrohm. (Mayo de 2020). *Índice de acidez y ácidos grasos libres en aceites comestibles*. Obtenido de Determinación totalmente automatizada conforme a las normas EN ISO, Ph. Eur y USP: [https://www.metrohm.com/es\\_es/applications/application-notes/aa-t-001-100/an-t-112.html](https://www.metrohm.com/es_es/applications/application-notes/aa-t-001-100/an-t-112.html)
- Millán Salamán, E. S. (2007). *Obtención de salsa de tuna (Opuntia ficus) estabilizada*. Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Huancayo.
- Millones Isique, L. d. (2020). *Efecto de la temperatura del tostado sobre el rendimiento del aceite obtenido a partir de las semillas de zapallo sin cáscara (Cucurbita maxima)*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química de Industrias Alimentarias, Lambayeque.
- Ministerio de Producción y Trabajo. (Julio de 2015). TUNA: Un alimento para descubrir. Argentina. Obtenido de [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha\\_41\\_Tuna.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha_41_Tuna.pdf)
- Mora Barrantes, J. C., Morera Ramos, L., Ulate Salas, M., Núñez Agüero, V., Acuña Salazar, E., & Cordero Carvajal, M. (Enero-Marzo de 2022). Clasificación del riesgo químico de solventes orgánicos mediante la aplicación del método "chem21 selection guide of classical- and less classical-solvents". *Tecnología en Marcha*, 35-1, 28-43.
- Musa Özcan, M., & Al Juhaimi, F. Y. (2011). Valor nutritivo y composición química de semillas de higo chumbo (*Opuntia ficus indica* L.) cultivadas en Turquía. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 533-536. Recuperado el 21 de Julio de 2023, de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/09637486.2011.552569>

- Nounah, I., Gharby, D., Hajib, A., Matthäus, & Charrouf, Z. (2021). Efecto del tiempo de tostado de las semillas sobre las propiedades fisicoquímicas, la estabilidad oxidativa y la actividad antioxidante del aceite de semilla de nopal ( *Opuntia ficus-indica* L.). *Revista de procesamiento y conservación de alimentos*, 45(9). Recuperado el 31 de Agosto de 2023, de <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.15747>
- Nunes, C. A. (2013). *Tecnología de óleos e gorduras para engenharia de alimentos*. UFLA.
- Nutraceutes. (2017). Aceite de Semilla de Tuna Orgánico Certificado: Propiedades y Composición Química. Guadalajara Jalisco, México. Recuperado el 9 de Junio de 2023, de <https://www.nutraceutes.com/prickly-pear-seed-oil>
- Ortega, V. (23 de Mayo de 2018). *CINCOLIVAS BLOG*. Obtenido de Qué son los Peróxidos: <https://www.cincolivas.com/blog/que-son-los-peroxidos/>
- Ovares Rodríguez, J. (2016). *Determinación de los rendimientos y caracterización de aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación a partir de Lippia alba y Rosmarinus officinalis*. Tesis, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería , San José. Recuperado el 5 de Setiembre de 2023, de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/5569/1/40655.pdf>
- Pantoja Arévalo, L., & Maldonado Muñoz, S. (Noviembre de 2012). *Caracterización del contenido de aceite de dos oleaginosas: Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) y Canola (Brassica napus y Brassica rapa)*. Tesis de Grado, Universidad San Francisco de Quito, Departamento de Alimentos, Quito.
- Paredes Punina, D. O., & Quinatoa Chicaiza, F. D. (2010). *Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba. Recuperado el 30 de Setiembre de 2023, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1710/1/15T00453.pdf>
- Paternina Zapa, A. K. (2020). *Propiedades químicas de la semilla y el aceite de papaya (Carica papaya linn) y su incidencia en el medio ambiente*. Monografía, Universidad de Córdoba, Departamento de Química, Montería.
- Pérez Romero, L. F. (2008). *Evaluación de cuatro temperaturas de prensado en la calidad del aceite virgen de sacha inchi*. Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Agrarias, Satipo.
- Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de*

- Tecnología Postcosecha*, 23(2), pág. 92. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/813/81373798002/html/>
- Programa Nacional de Innovación Agraria. (13 de Abril de 2020). Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/pnia/noticias/126050-productores-de-apurimac-mejoran-produccion-y-calidad-de-tuna-con-proyecto-de-innovacion>
- QuímicaUNAM. (2016). Recuperado el 03 de Enero de 2024, de <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/7cloroformo.pdf>
- Ramadan, M. F., & Mörsel, J.-T. (2003). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food Chemistry*, 82(3), 339-345.
- Ramírez Ortiz, M. E. (2017). *Propiedades Funcionales de Hoy*. (M. E. Ramírez Ortiz, Ed.) México: OmniaScience.
- Ramírez-Moreno, E., Cariño-Cortés, R., Cruz-Cansino, N. d., Delgado-Olivares, L., Ariza-Ortega, J. A., Montañez-Izquierdo, V. Y., . . . Filardo-Kerstupp, T. (26 de Abril de 2017). Propiedades antioxidantes y antimicrobianas de los aceites de semilla de nopal (*Opuntia*). (A. Lauková, Ed.) *Revista de calidad alimentaria*, 17. Obtenido de <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2017/3075907/>
- Regalado Rentería, E., Aguirre Rivera, J. R., González Chávez, M. M., Sánchez Sánchez, R., Martínez Gutiérrez, F., & Juárez Flores, B. I. (14 de Julio de 2018). Assessment of Extraction Methods and Biological Value of Seed Oil from Eight Variants of Prickly Pear Fruit (*Opuntia* spp.). *Waste and Biomass Valorization*. México.
- Rettig K., M., & Ah-Hen, K. (28 de Noviembre de 2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *AGROSUR*, 42(2), págs. 57-66. Recuperado el 15 de Setiembre de 2023, de <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v42n2/art07.pdf>
- Rivera Montalván, C. O., Rivera Montalván, P. P., & Rizo Penado, J. M. (2015). *Desarrollo de un método analítico alternativo para la determinación del porcentaje de humedad y materia volátil en aceite vegetal de uso comestible*. Tesis, universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de ciencias y tecnología, León.
- Rivera, M., Ramos, M., Silva, M., Briceño, J., & Álvarez, M. (2022). Efecto de la temperatura previa a la extracción en el rendimiento y perfil de ácidos grasos del aceite de Morete (*Mauritia flexuosa* L. f.). *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 35. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4760/476070058008/html/>
- Salas, D. (20 de Junio de 2020). *Proyectos Peruanos*. Recuperado el 01 de Julio de 2022, de Cultivo de tunas: [https://proyectosperuanos.com/siembra\\_y\\_cultivo\\_de\\_tunas/](https://proyectosperuanos.com/siembra_y_cultivo_de_tunas/)

- Sánchez Paz, I. M., & Figueroa Barrera, M. d. (2013). *Extracción y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenido por Expresión de 5 spp nativas y cultivadas en Guatemala: Crescentia cujete (Morro), Mammea americana (Mamey), Pachira aquatica (Zapotón), Cucumis melo (Melón) y Acrocomia mexicana (Coyolio)*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Sawaya, W. N., & Khan, P. (1982). Caracterización química del aceite de semilla de tuna, *Opuntia ficus-indica*. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, 47(6), 2060-2061.
- Scharlau. (1 de Noviembre de 2013). *Ficha de datos de seguridad*. Recuperado el 3 de Enero de 2024, de <https://www.uv.es/fqlabo/docs/seguridad/fichas/hexano.pdf>
- Sierra y Selva exportadora. (2021). *Análisis de Mercado*. MIDAGRI. Recuperado el 22 de Setiembre de 2022, de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2848443/An%C3%A1lisis%20de%20Mercado%20Tuna%202015%20-%202021.pdf.pdf>
- Silva, M. A., Gonçalves Albuquerque, T., Pereira, P., Ramalho, R., Vicente, F., Oliveira, M. B., & Costa, H. S. (2021). *Opuntia ficus-indica (L.) Mill. : Un potencial de múltiples beneficios para ser explotado*. (A. B. Martín Diana, & M. T. Escribano-Bailón, Edits.) *molecules*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2021, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7916838/>
- Statologos. (2023). Recuperado el 30 de Agosto de 2023, de <https://statologos.com/como-leer-la-tabla-de-distribucion-f/>
- ThermoFisher. (06 de Junio de 2023). *SCIENTIFIC*. Recuperado el 23 de Junio de 2023, de Ficha de datos de seguridad: [https://www.fishersci.es/chemicalProductData\\_uk/wercs?itemCode=10568060&lang=ES](https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10568060&lang=ES)
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). Electricidad y magnetismo/Luz. En *Física para la ciencia y tecnología* (6TA ed., Vol. II, pág. 1041). Reverté.
- Toppr. (2022). Recuperado el 01 de Julio de 2022, de Diferencia entre grasas y aceites: <https://www.toppr.com/guides/chemistry/difference-between/fats-and-oils/>
- Torres Meléndez, A. F. (2018). *Extracción de aceite a partir de semilla de granadilla (Passiflora ligularis) por prensado en frío y solvente orgánico*. Tesis, Universidad de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Pimentel.
- Tridge. (2023). *Exportación de Higo chumbo*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2021, de <https://www.tridge.com/intelligences/prickly-pear/export>

- Vilcarrromero Chávez, E. (2020). *Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas de aceites provenientes de chía (Salvia hispanica L.), linaza (Linum usitatissimum) y sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Tesis, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Chachapoyas.
- Wilson, H., Wyatt, M., & Zilliox, P. (2019). *Prickly Pear Cactus: Food of the Desert*. The University of Arizona Cooperative Extension, Arizona. Obtenido de <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1800-2019.pdf>
- Yeddes, N., Chérif, J. K., Jrad, A., Barth, D., & Ayadi, M. T. (17 de Junio de 2012). SC-CO<sub>2</sub> supercrítico y extracto Soxhlet n-hexano de semillas tunecinas de *Opuntia ficus indica* y análisis de ácidos grasos. *Hindawi*. Obtenido de <https://www.hindawi.com/journals/jl/2012/914693/>