



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS  
DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES (*Integrifolia* y *Tetraphylla*) VARIANDO  
LA HUMEDAD Y TIPO DE NUEZ MEDIANTE EXTRACCIÓN MECÁNICA**

**Martamaría Gamboa Pérez**

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS  
DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES (*Integrifolia* y *Tetraphylla*) VARIANDO  
LA HUMEDAD Y TIPO DE NUEZ MEDIANTE EXTRACCIÓN MECÁNICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARTAMARÍA GAMBOA PÉREZ**

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Jose Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES (*Integrifolia* y *Tetraphylla*) VARIANDO LA HUMEDAD Y TIPO DE NUEZ MEDIANTE EXTRACCIÓN MECÁNICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2014.



**Martamaría Gamboa Pérez**

Guatemala, 17 de agosto de 2018

Ingeniero Carlos Salvador Wong Davi  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Por este medio hago de su conocimiento que he tenido a la vista el informe final de trabajo de graduación de la estudiante de ingeniería química Martamaría Gamboa Pérez, identificada con el CUI 1747 04798 0101 y registro académico 200819091, con el tema "*Evaluación del rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies (Integrifolia y Tetraphylla) variando la humedad y tipo de nuez mediante extracción mecánica*" el cual cumple con los requerimientos establecidos, por lo que considero que el mismo se encuentra aprobado.

Y para los usos que convenga al interesado extendiendo la presente carta.

Atentamente,



Ing. Hilda Piedad Palma Ramos

Asesora

**INGA. HILDA PALMA DE MARTINI**  
**COLEGIADO No. 453**



Guatemala, 17 de septiembre de 2018.  
 Ref. EIQ.TG-IF.040.2018.

Ingeniero  
 Carlos Salvador Wong Davi  
 DIRECTOR  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **045-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Martamaría Gamboa Pérez.**  
 Identificada con número de carné: **1747 04798 0101.**  
 Identificada con registro académico: **2008-19091.**  
 Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

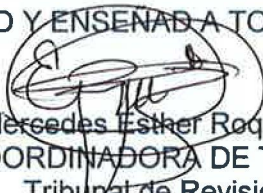
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES (*Integrifolia* y *Tetraphylla*) VARIANDO LA HUMEDAD Y TIPO DE NUEZ MEDIANTE EXTRACCIÓN MECÁNICA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

  
 Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez  
 COORDINADORA DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.043.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del (la) estudiante, **MARTAMARÍA GAMBOA PÉREZ** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES (*Integrifolia* y *Tetraphylla*) VARIANDO LA HUMEDAD Y TIPO DE NUEZ MEDIANTE EXTRACCIÓN MECÁNICA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre de 2018  
FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR

Cc: Archivo  
CSWD/ale

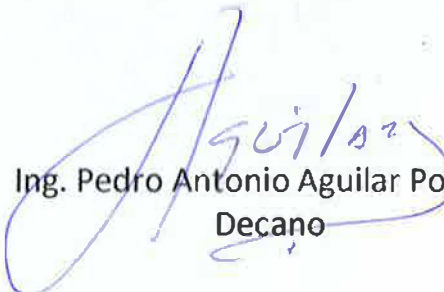




DTG. 492.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química al Trabajo de Graduación titulado: **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES (Integrifolia y Tetraphylla) VARIANDO LA HUMEDAD Y TIPO DE NUEZ MEDIANTE EXTRACCIÓN MECÁNICA”** presentado por la estudiante universitaria: **Martamaría Gamboa Pérez** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las Instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala noviembre de 2018.

/echm



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la luz en mi camino.
<b>Mis padres</b>	Ricardo Gamboa Paniagua (q.e.p.d.) y Ninet Pérez de Gamboa, por guiarme en este lindo camino que llamamos vida.
<b>Mis abuelitas</b>	Zoila Arenales y Marta Paniagua (q.e.p.d.), por su cariño y enseñanzas.
<b>Mi hermana</b>	Nineth del Rocío Gamboa Pérez.
<b>Mis sobrinos</b>	Ximena del Rocío y Daniel Alejandro Méndez Gamboa.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida que tengo, así como virtudes y cualidades.
<b>Mi padre</b>	Ricardo Gamboa Paniagua (q.e.p.d.), por su amor, cariño, amistad, comprensión, dedicación, ejemplo, exigencias, enseñanzas, consejos y paciencia. Gracias por ser mi inspiración de cada día.
<b>Mi madre</b>	Ninet Pérez de Gamboa, por su amor, confianza, comprensión, dedicación, consejos y paciencia. Gracias por ser mi motor principal y acompañarme en cada aventura.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas y formarme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para mi formación.
<b>Catedráticos Ingeniería</b>	Por sus enseñanzas y experiencias compartidas a lo largo de la carrera.
<b>Asesora</b>	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini por su valiosa colaboración y consejos brindados.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Nuez de macadamia.....	3
2.1.1. Análisis proximal de la nuez de macadamia.....	3
2.1.2. Tipos de nuez de macadamia.....	4
2.2. Aceite de nuez de macadamia.....	7
2.3. Ácidos grasos.....	8
2.3.1. Ácidos grasos saturados.....	8
2.3.2. Ácidos grasos insaturados.....	10
2.3.3. Composición general de ácidos grasos.....	11
2.3.4. Perfil de ácidos grasos para el aceite de nuez de macadamia evaluado.....	12
2.4. Propiedades fisicoquímicas del aceite de nuez de macadamia.....	12

2.5.	Equipos por utilizar en la obtención de aceite de nuez de macadamia.....	14
2.5.1.	Beneficios del aceite de nuez de macadamia .....	15
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
3.1.	Variables .....	17
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	18
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	18
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	19
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	21
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	24
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	30
3.8.	Análisis estadístico.....	36
4.	RESULTADOS.....	45
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	49
	CONCLUSIONES.....	53
	RECOMENDACIONES .....	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57
	APÉNDICES.....	61

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Nuez de primera.....	4
2.	Nuez de segunda.....	5
3.	Nuez de tercera A.....	5
4.	Nuez de tercera B.....	6
5.	Nuez estilo 8.....	6
6.	Ácidos grasos saturados.....	9
7.	Ácidos grasos insaturados.....	11
8.	Extrusor Komet DD85.....	14
9.	Prensa hidráulica.....	14
10.	Filtro de discos.....	15

### TABLAS

I.	Descripción de variables dependientes e independientes.....	17
II.	Parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85.....	24
III.	Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de tercera.....	24
IV.	Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de segunda.....	25
V.	Validación de la humedad de la nuez.....	25
VI.	Rendimiento en función del tipo de nuez.....	26

VII.	Rendimiento en función de la mezcla de nuez de primera con estilo 8.....	26
VIII.	Rendimiento en función de la mezcla de nuez de segunda con estilo 8 .....	27
IX.	Rendimiento en función de la mezcla de nuez de tercera A con estilo 8 .....	27
X.	Rendimiento en función de la mezcla de nuez de tercera B con estilo 8 .....	28
XI.	Índice de ácidos grasos .....	28
XII.	Índice de peróxidos.....	29
XIII.	Índice de saponificación.....	29
XIV.	Índice de yodo .....	30
XV.	Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de tercera.....	30
XVI.	Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de segunda .....	31
XVII.	Validación de la humedad de la nuez .....	31
XVIII.	Rendimiento en función del tipo de nuez .....	32
XIX.	Rendimiento en función de la mezcla de primera con estilo 8 .....	32
XX.	Rendimiento en función de la mezcla de nuez de segunda con estilo 8 .....	33
XXI.	Rendimiento en función de la mezcla de tercera A con estilo 8.....	33
XXII.	Rendimiento en función de la mezcla de tercera B con estilo 8.....	34
XXIII.	Índice de ácidos grasos .....	34
XXIV.	Índice de peróxidos.....	35
XXV.	Índice de saponificación.....	35
XXVI.	Índice de yodo .....	36
XXVII.	Precisión en la validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de tercera.....	37

XXVIII.	Precisión en la validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de segunda .....	37
XXIX.	Precisión en la validación de la humedad de la nuez.....	38
XXX.	Precisión del rendimiento en función del tipo de nuez .....	38
XXXI.	Precisión del rendimiento en función de la mezcla de primera con estilo 8 .....	39
XXXII.	Precisión del rendimiento en función de la mezcla de segunda con estilo 8 .....	39
XXXIII.	Precisión del rendimiento en función de la mezcla de tercera A con estilo 8 .....	40
XXXIV.	Rendimiento en función de la mezcla de tercera B con estilo 8 .....	40
XXXV.	Índice de ácidos grasos.....	41
XXXVI.	Índice de peróxidos .....	42
XXXVII.	Índice de saponificación .....	42
XXXVIII.	Índice de yodo .....	43
XXXIX.	Parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85 .....	45
XL.	Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función del tipo de nuez .....	45
XLI.	Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de primera con estilo 8 .....	45
XLII.	Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de segunda con estilo 8.....	46
XLIII.	Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de tercera A con estilo 8 .....	46
XLIV.	Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de tercera B con estilo 8 .....	46
XLV.	Índice de ácidos grasos.....	47
XLVI.	Índice de peróxidos .....	47

XLVII.	Índice de saponificación.....	47
XLVIII.	Índice de yodo .....	48



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$C_v$	Coeficiente de variación
$s$	Desviación estándar
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
<b>lb</b>	Libra
$\bar{x}$	Media aritmética
<b>min</b>	Minuto
$n$	Número de corridas
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
$\sum_i$	Sumatoria de los datos
$x_i$	Valor para cada corrida



## GLOSARIO

<b>Análisis proximal</b>	Determinaciones realizadas para conocer la composición de los productos alimenticios.
<b>Antioxidante</b>	Molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. Protegen a las células de los radicales libres.
<b>Argeño</b>	Enfermedad que marchita las nueces y las deteriora en general.
<b>COGUANOR</b>	Siglas para Comisión Guatemalteca de Normas, organismo nacional de normalización y certificación en Guatemala.
<b>Hidrófoba</b>	Sustancia repelida por el agua o que no se puede mezclar con ella.
<b>Índices de calidad</b>	Parámetros físico-químicos que determinan la calidad de una sustancia y/o producto.
<b>Índice de ácidos grasos</b>	Medida de los ácidos grasos libres presentes en la grasa.

<b>Índice de peróxidos</b>	Expresa el grado de oxidación o de descomposición de las moléculas debido a la oxidación de los enlaces dobles de las grasas insaturadas.
<b>Índice de saponificación</b>	Expresa el peso molecular medio de los ácidos grasos. Es una medida útil para cuantificar las propiedades de sabor y olor del aceite.
<b>Índice de yodo</b>	Mide el grado de insaturación de los ácidos grasos en forma cuantitativa. Cuanto más alto sea el índice de yodo, mayor es el grado de insaturación.
<b>Lípidos</b>	Compuestos insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos de polaridad semejante.
<b>Rendimiento</b>	Relación entre el peso de la materia vegetal y el peso de aceite obtenido expresado como porcentaje.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó el rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies *Integrifolia* y *Tetraphylla*, variando la humedad y tipo de nuez mediante extracción mecánica.

Para la evaluación del rendimiento de aceite de nuez de macadamia se utilizó nuez de primera, segunda, tercera y estilo 8 (partículas menores a 4 milímetros), así como mezclas de las mismas con estilo 8, todas con una humedad entre 2,4 % y 2,6 % para obtener un mayor rendimiento.

El aceite de nuez de macadamia se obtuvo utilizando un extractor Komet DD85, tornillo R8 y boquilla 6. La evaluación de las propiedades fisicoquímicas se realizó mediante las siguientes normas COGUANOR: índice de ácidos grasos, NGO 34 072 h30; índice de peróxidos, NGO 34 072 h21; índice de saponificación, NGO 34 072 h1 e índice de yodo, NGO 34 072 h2.

Se determinó que para el aceite de nuez de macadamia el mayor rendimiento extractivo fue de 63,28 % obtenido de la mezcla de 80 % nuez de tercera A y 20 % nuez estilo 8. Seguidamente se determinó para cada tipo de nuez los índices de calidad y los rangos fueron los siguientes: índice de ácidos grasos, de 0,09 a 0,38; el índice de peróxidos, de 0,10 a 0,54; el índice de saponificación, de 182 a 208 y el índice de yodo, de 80 a 83, por lo que la mayoría cumplen con las especificaciones requeridas para el aceite de nuez de macadamia de grado alimenticio. Únicamente el índice de saponificación se encuentra un  $\pm 4$  % fuera de especificación.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies *Integrifolia* y *Tetraphylla* variando la humedad y tipo de nuez mediante extracción mecánica.

### Específicos

1. Evaluar los parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85, utilizando distintos tipos de nuez de macadamia.
2. Establecer la humedad óptima de la nuez de macadamia para el proceso de extracción.
3. Evaluar el rendimiento de extracción del aceite de nuez de macadamia en función del tipo de nuez por utilizar.
4. Calcular el rendimiento de la extracción al mezclar los distintos tipos de nuez con estilo 8 en diferentes proporciones.
5. Evaluar los índices de calidad del aceite obtenido mediante normas COGUANOR.





# HIPÓTESIS

## Hipótesis de trabajo

Es factible evaluar el rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies *Integrifolia* y *Tetraphylla*, variando la humedad y tipo de nuez mediante extracción mecánica.

## Hipótesis estadística

- Hipótesis nula
  - Ho1: La humedad de la nuez de macadamia no afecta significativamente el rendimiento en la extracción del aceite de nuez de macadamia.
  - Ho2: Los diferentes tipos de nuez de macadamia no afectan significativamente el rendimiento en la extracción del aceite de nuez de macadamia.
  - Ho3: Los diferentes tipos de nuez de macadamia mezclados con el estilo 8, no afectan significativamente el rendimiento en la extracción del aceite de nuez de macadamia.

- Hipótesis alternativa
  - Hi1: La humedad de la nuez de macadamia afecta significativamente el rendimiento en la extracción del aceite de nuez de macadamia.
  - Hi2: Los diferentes tipos de nuez de macadamia afectan significativamente el rendimiento en la extracción del aceite de nuez de macadamia.
  - Hi3: Los diferentes tipos de nuez de macadamia mezclados con el estilo 8, afectan significativamente el rendimiento en la extracción del aceite de nuez de macadamia.

## INTRODUCCIÓN

La nuez de macadamia es originaria de Australia y es considerada la nuez más fina y exquisita del mundo, razón por la cual se le conoce como “la reina de las nueces”. Es altamente valorada por su sabor y textura crujiente, se encuentra entre los alimentos de más alto contenido de grasas monoinsaturadas y no contiene colesterol.

Guatemala es el quinto productor de nuez de macadamia en el mundo. Actualmente es el producto estrella de la empresa Alimentos Selectos, S.A., ya que ha incursionado con éxito en el mercado asiático, específicamente en Vietnam, China Popular, Taiwán y Hong Kong, y exporta entre 20 a 25 contenedores anuales de nuez de macadamia en concha. En segundo lugar se encuentra el kernel, exportando entre 10 a 15 contenedores anuales a Estados Unidos, Europa y Asia.

Existen diferentes tipos de nuez de macadamia: primera, es la nuez de mejor calidad; segunda, posee nueces levemente argeñadas y con defectos de color; tercera, son las nueces severamente argeñadas, con moho, hongos, insectos, puntos negros y quemaduras sufridas al momento de hornearlas; de las nueces de tercera se realizó una segunda clasificación: tercera A, son las nueces que presentan menos defectos y tercera B, son las nueces que presentan más defectos; estilo 8, son los residuos de la nuez que poseen un tamaño menor a 4 milímetros.

El aceite de nuez de macadamia presenta varios beneficios para la salud, dentro de los que podemos mencionar la capacidad para reducir el colesterol

malo, debido al alto contenido de ácido oleico que presenta. Este es del 59 %, razón por la cual ayuda en gran medida a la salud del corazón. Mejora los niveles de energía, ya que posee un número extremadamente alto de calorías (900 calorías / 100 gramos de aceite, específicamente) y también posee un alto nivel de antioxidantes, lo que ejerce un poderoso efecto sobre la salud general del cuerpo.

Debido a los antioxidantes presentes, el aceite de nuez de macadamia se ha vuelto ideal para la industria de productos cosméticos, sobre todo los relacionados con el cuidado y protección de la piel, ya que la hidrata, ayuda a prevenir arrugas, manchas de la edad y otros signos de envejecimiento. También es beneficioso para el cabello, debido a que aumenta el brillo del mismo, fortalece los folículos y reduce la pérdida de cabello.

## 1. ANTECEDENTES

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de la Escuela de Ingeniería Química se han realizado estudios acerca de la obtención y caracterización del aceite de macadamia, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

En el año 2000, Francisco Khalil de León Barrios realizó el estudio titulado: *Extracción del aceite de nuez de macadamia de la variedad HAES 246, sus propiedades y aplicaciones industriales.*

En el año 2008, Mizdar Daniel García Estrada realizó el estudio titulado: *Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de macadamia de las especies Tetraphyllia e Intergrifolia.* En este estudio se determinó que, los rendimientos de aceite entre las distintas especies varían significativamente y el perfil de ácidos grasos para cada especie no presenta variación significativa.

En el año 2011, Miguel Ángel Barreda Muralles realizó el estudio titulado: *Caracterización del aceite de nuez de macadamia (Macadamia tetraphylla y Macadamia integrifolia) producido en forma artesanal en el municipio de San Miguel Dueñas del departamento de Sacatepéquez, para establecer sus parámetros de calidad.* En este estudio se compararon los parámetros obtenidos del aceite de macadamia con aceite de oliva virgen. Se encontró que presentaban características muy semejantes entre ellos.

En el año 2015, Ana María Santizo Recinos realizó el estudio titulado: *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de*

*macadamia (Macadamia Integrifolia) extraído de nueces sanas e inmaduras provenientes de los municipios de El Palmar y Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango y Alotenango, Sacatepéquez.* En este estudio se determinaron los rendimientos de aceite fijo de nueces de macadamia cosechadas en ocho fincas del suroccidente del país divididas en nueces maduras e inmaduras y lote completo. Mediante el método de extracción Soxhlet, se encontró que es mayor el rendimiento obtenido con las nueces maduras.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Nuez de macadamia**

Esta nuez es originaria de la zona subtropical de Australia. Se cataloga como la “reina de la nueces”, ya que es una de las nueces más finas en el mundo, por su exquisito sabor y sus cualidades nutritivas.

Guatemala es el quinto productor de nuez de macadamia a nivel mundial, después de Australia, Estados Unidos, Sudáfrica y Kenia.

La nuez presenta el mayor contenido de aceite, entre el 70 y 80 %, y el mayor porcentaje de Omega 3 y Omega 6, los cuales ayudan a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre. Esto la hace muy importante para prevenir enfermedades cardiovasculares.

#### **2.1.1. Análisis proximal de la nuez de macadamia**

- Agua 3 %
- Hidratos de carbono 15 % (2 % fibra)
- Lípidos 71 %
- Proteínas 8 %
- Potasio 260 mg/100 g
- Calcio 48 mg/100 g
- Hierro 20 mg/100 g
- Vitamina B1 0,34 mg/100 g
- Vitamina B2 0,11 mg/100 g

### **2.1.2. Tipos de nuez de macadamia**

La nuez de primera es la de mejor calidad; la de segunda posee nueces levemente argeñadas y con defectos de color. La nuez de tercera incluye nueces severamente argeñadas, con moho, hongos, insectos, puntos negros y quemaduras sufridas al momento de hornearlas. Esta, a su vez, se clasifica en nuez de tercera A, que presenta menos defectos, y nuez de tercera B, que presenta más defectos.

**Figura 1. Nuez de primera**



Fuente: [www.agroterra.com/p/nuez-macadamia-3043061/3043061](http://www.agroterra.com/p/nuez-macadamia-3043061/3043061)



Figura 2. **Nuez de segunda**



Fuente: [www.botanical-online.com/macadamia\\_integrifolia.htm](http://www.botanical-online.com/macadamia_integrifolia.htm)

Figura 3. **Nuez de tercera A**



Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo, Alimentos Selectos, S.A.

Figura 4. **Nuez de tercera B**



Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo, Alimentos Selectos, S.A.

Figura 5. **Nuez estilo 8**



Fuente: [www.alimentos-selectos.com/es/products.htm](http://www.alimentos-selectos.com/es/products.htm)

## **2.2. Aceite de nuez de macadamia**

Es un aceite vegetal específico debido a su alto contenido en ácido palmitoleico, un ácido graso monoinsaturado que evita la oxidación, posee una larga vida útil y una buena resistencia a la rancidez. Contiene alrededor de 80 % de ácidos grasos monoinsaturados y un mayor porcentaje de ácido palmitoleico que cualquier otro aceite vegetal.

Las grasas insaturadas se componen de ácidos grasos mono, di y poliinsaturados, los cuales disminuyen el nivel de colesterol LDL en la sangre (colesterol malo). Dentro de estos se encuentran los siguientes ácidos: mirístico, palmitoleico, linoleico, linolénico y araquídico. Dentro de los ácidos grasos saturados se encuentran: butírico, caproico, caprílico, cáprico, láurico, mirístico, palmítico y esteárico.

El aceite de nuez de macadamia se encuentra compuesto de:

- Fosfolípidos: también llamados glicerofosfáticos que pertenecen a los lípidos complejos. Se usan como agentes emulsionantes por sus propiedades hidrofílicas (soluble en agua - polar) y lipofílicas.
- Vitamina A: es una vitamina liposoluble que se encuentra naturalmente presente en los alimentos. Es importante para la visión normal, el sistema inmunitario y la reproducción. Además, ayuda al buen funcionamiento del corazón, los pulmones, los riñones y otros órganos.
- Vitamina K: es requerida en los procesos de coagulación de la sangre, sirve para generar glóbulos rojos.

- Vitamina D: ayuda al cuerpo a absorber el calcio de los alimentos y suplementos. Los músculos requieren esta vitamina para el movimiento. El sistema inmunitario emplea la vitamina D para combatir los virus y bacterias que lo invaden. Junto con el calcio, la vitamina D ayuda a proteger a los adultos mayores contra la osteoporosis.
- Vitamina E: actúa como antioxidante; al ayudar a proteger las células contra los daños causados por los radicales libres, estimula el sistema inmunitario a fin de que este pueda combatir las bacterias y los virus que lo invaden. Ayuda a dilatar los vasos sanguíneos y evitar la formación de coágulos de sangre en su interior.

### **2.3. Ácidos grasos**

Son moléculas formadas por cadenas de carbono que poseen un grupo carboxilo como grupo funcional. La parte que contiene el grupo carboxilo manifiesta carga negativa en contacto con el agua, por lo que presenta carácter ácido. El resto de la molécula no presenta polaridad (apolar) y es una estructura hidrófoba. Como la cadena apolar es mucho más grande que la parte con carga (polar), la molécula no se disuelve en agua.

#### **2.3.1. Ácidos grasos saturados**

Están formados de un átomo de carbono que se une a varios átomos de hidrógeno. Los enlaces entre átomos son sencillos. Entre estos ácidos grasos podemos encontrar:

- **Ácido palmítico:** es el ácido graso saturado principal, presente en los alimentos de tipo animal y en el aceite de palma y coco. Su consumo excesivo puede elevar el colesterol total y el LDL.
- **Ácido esteárico:** se metaboliza más rápido que los demás y no se ha encontrado relación con el aumento del colesterol total. Se encuentra en la ternera, la mantequilla, el cordero, el cerdo y el coco.
- **Ácido mirístico:** se encuentra principalmente en la mantequilla, y aunque en menor medida, también aumenta el colesterol total en los vasos sanguíneos.
- **Ácido láurico:** presente en el aceite de coco, cuya relación con los niveles de colesterol en sangre no está clara aún.

Figura 6. **Ácidos grasos saturados**



Fuente: [www.temas-selectos-de-ciencias.blogspot.com/p/lipidos.html](http://www.temas-selectos-de-ciencias.blogspot.com/p/lipidos.html)

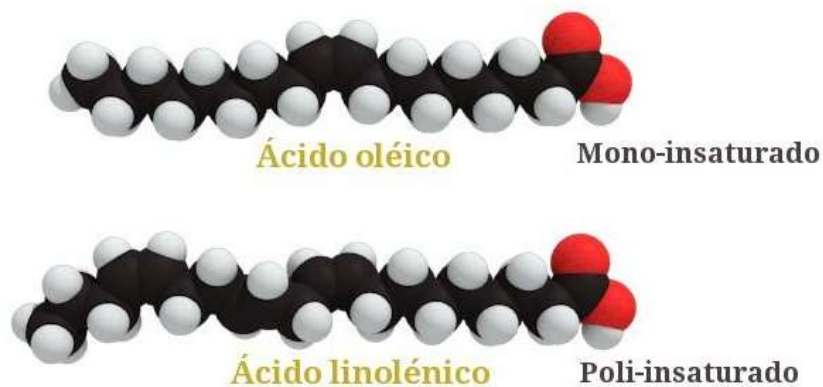
### 2.3.2. Ácidos grasos insaturados

Poseen generalmente un número par de átomos de carbono, y se diferencian, además, por estar formados por enlaces dobles. Existen dos tipos de ácidos grasos insaturados:

- Ácidos grasos monoinsaturados: presentes en el aceite de oliva (principalmente formado por ácido oleico) y de canola. Su principal beneficio es el aumento del colesterol HDL, el conocido como colesterol “bueno”, que protege contra las enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, aumenta la concentración de apolipoproteína A-1, lo que provoca un aumento de los depósitos de lípidos en las paredes arteriales, y puede causar aterosclerosis.
- Ácidos grasos poliinsaturados: ácidos grasos esenciales que no pueden ser sintetizados por el organismo, por lo que deben obtenerse a través de la dieta. Según la posición del doble enlace, distinguimos dos tipos:
  - Ácidos grasos v-6: el principal es el linoleico, que se encuentra en los aceites vegetales de semillas, como las de girasol, soya o maíz.
  - Ácidos grasos v-3: se encuentran principalmente en los pescados y mariscos. De los principales ácidos grasos que forman parte de él, el más conocido es el ácido linolénico. Su consumo se relaciona con una baja incidencia de enfermedades cardiovasculares, así como la disminución de los niveles de triglicéridos y VLDL. Además, tiene la capacidad de reducir la presión arterial y la viscosidad sanguínea.

Ambos tipos de ácidos grasos insaturados pueden reducir los niveles de colesterol total y el LDL. La diferencia radica en que los poliinsaturados pueden reducir el nivel de HDL, que es un protector cardiovascular, mientras que los monoinsaturados no solo no lo reducen, sino que lo aumentan.

Figura 7. **Ácidos grasos insaturados**



Fuente: [www.temas-selectos-de-ciencias.blogspot.com/p/lipidos.html](http://www.temas-selectos-de-ciencias.blogspot.com/p/lipidos.html)

### 2.3.3. Composición general de ácidos grasos

14:0	Ácido mirístico	máx. 01,5 %
16:0	Ácido palmítico	07,0 – 10,0 %
16:1	Ácido palmitoleico	15,0 – 24,0 %
18:0	Ácido esteárico	02,0 – 04,0 %
18:1	Ácido oleico	53,0 – 67,0 %
18:2	Ácido linoleico	01,5 – 04,0 %
18:3	Ácido linoléico	máx. 00,5 %

20:0	Ácido araquídico	1,5 – 3,0 %
20:1	Ácido gadoleico	1,5 – 3,0 %
22:0	Ácido behénico	máx. 1,0 %
22:1	Ácido erúcico	máx. 1,0 %
24:0	Ácido lignocérico	máx. 0,5 %

#### **2.3.4. Perfil de ácidos grasos para el aceite de nuez de macadamia evaluado**

12:0	Ácido láurico	00,08 %
14:0	Ácido mirístico	00,80 %
16:0	Ácido palmítico	08,22 %
16:1	Ácido palmitoleico	17,92 %
18:0	Ácido esteárico	03,44 %
18:1	Ácido oleico	59,00 %
18:2	Ácido linoleico	02,36 %
18:3	Ácido linolénico	00,16 %
20:0	Ácido araquídico	02,98 %
	No identificados	<u>00,42 %</u>
	Total	99,58 %

#### **2.4. Propiedades fisicoquímicas del aceite de nuez de macadamia**

Los resultados de los análisis para evaluar las características físicas y químicas de los aceites ofrecen información sobre la naturaleza, el origen y el posible comportamiento del aceite con diferentes condiciones de almacenamiento y procesamiento. Los métodos más comunes son:



- Índice de acidez: determina los mg de KOH que se necesitan para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de aceite.
- Porcentaje de acidez libre o de ácidos libres: determina los gramos de ácidos grasos libres expresados como ácido oleico presentes en 100 gramos de aceite, mediante una titulación ácido- base con un solvente donde sea soluble la grasa.
- Índice de saponificación: expresa los mg de KOH necesario para saponificar 1 gramo de aceite. Es la hidrólisis total de los triglicéridos que da como resultado, la glicerina por un lado y las sales de los ácidos grasos con el metal de base (jabones) por el otro.
- Índice de yodo: expresa los gramos de yodo que se fijan en los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados por 100 gramos de lípido en condiciones estandarizadas. Mide el grado de insaturaciones de un lípido y permite diferenciar entre sí.
- Índice de peróxido: determina la cantidad de peróxidos contenidos en 1 Kg de aceite expresada como miliequivalentes de oxígeno. Evalúa el estado de oxidación de un lípido, cuando no se conoce la historia previa.

**2.5. Equipos por utilizar en la obtención de aceite de nuez de macadamia**

**Figura 8. Extrusor Komet DD85**



Fuente: Área de nuez de tercera, Alimentos Selectos, S.A.

**Figura 9. Prensa hidráulica**



Fuente: Área de nuez de tercera, Alimentos Selectos, S.A.

Figura 10. **Filtro de discos**



Fuente: Área de nuez de tercera, Alimentos Selectos, S.A.

### **2.5.1. Beneficios del aceite de nuez de macadamia**

Al tener un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, es el principal implicado en la reducción del LDL, o colesterol malo. Es, por tanto, un gran aliado para cuidar la salud del corazón, ya que reduce el riesgo de padecer algún tipo de enfermedad coronaria.

El alto contenido en grasa y su poder antioxidante lo hacen ideal en la industria de productos cosméticos, sobre todo los relacionados con el cuidado y protección de la piel. Los efectos del aceite promueven un aspecto de la piel más suave y rejuvenecida. Los elevados efectos antioxidantes también le conceden

el uso como una magnífica crema hidratante y ayuda del mismo modo a curar las quemaduras solares, manteniendo la piel húmeda e hidratada.

También puede utilizarse para estimular el cuero cabelludo debido a sus propiedades percutáneo-estimulantes. El ácido oleico, linoleico y palmítico ayudan a tratar la caída del cabello; combinado con aceite esencial de romero beneficia en el tratamiento de la caspa.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

La obtención del aceite de nuez de macadamia estará regida por tres variables: el tipo de nuez, la humedad y las piezas del extrusor por utilizar. En conjunto tendrán efecto en el rendimiento de la extracción de aceite de nuez de macadamia, así como en la evaluación de las propiedades medidas: índice de ácidos grasos, índice de peróxidos, índice de saponificación e índice de yodo.

Tabla I. Descripción de variables dependientes e independientes

Variable	Unidades	Variables		Descripción
		Dependientes	Independientes	
Temperatura	°C		X	Parámetros del ambiente
Humedad	%		X	
Temperatura	°C	X		Parámetros de la materia prima
Humedad	%	X		
Tipo de nuez	---	X		
Peso	lb		X	
Temperatura	°C	X		Parámetros del extrusor
Tornillo	---	X		
Boquilla	---	X		
Velocidad	rpm	X		
Peso pellet	lb	X		Parámetros de la extracción
Peso aceite	lb	X		
Peso sedimento	lb	X		
Peso aceite + sedimento	lb	X		
Peso aceite	lb	X		Parámetros de la filtración
Peso sedimento	lb	X		
Peso aceite	lb	X		Parámetros del prensado

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

La evaluación se realizará con los seis diferentes tipos de nuez de la especie *Integrifolia* y *Tetraphylla*, proporcionados por las fincas proveedoras, dentro de la planta procesadora de alimentos, así como mezclas de los mismos con estilo 8.

Las variables óptimas del proceso (equipo, humedad y tipo de nuez) se obtendrán luego de haber realizado pruebas con tres corridas para cada una. Para el equipo se utilizarán las siguientes piezas del extrusor: Tornillo: R9 y R8; boquilla: 10, 8 y 6. Para la humedad se utilizarán cinco valores entre el rango de 2 a 5 %.

Con el aceite obtenido utilizando las variables óptimas del proceso se definirán los índices de calidad, que permitirán establecer si el mismo es de grado alimenticio.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Los recursos humanos son todas aquellas personas involucradas en el desarrollo adecuado de la investigación, en donde aportan su trabajo, esfuerzo y conocimientos. En la presente investigación son los siguientes:

Investigador:	Br. Martamaría Gamboa Pérez
Asesor:	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

### 3.4. Recursos materiales disponibles

Es la materia prima, reactivos, cristalería y equipo utilizados en el desarrollo adecuado de la parte experimental del proyecto de investigación. Estos se enlistan a continuación:

- Materia prima
  - Nuez de macadamia de la especie *Integrifolia* y *Tetraphylla*
  
- Reactivos
  - Tolueno
  - Sulfato de sodio anhidro
  - Ácido acético glacial
  - Yoduro de potasio
  - Cloro
  - Tetracloruro de carbono
  - Ácido clorhídrico
  - Almidón
  - Dicromato de potasio
  - Tiosulfato de sodio
  - Yodo
  - Ácido sulfúrico
  - Hidróxido de potasio
  - Fenolftaleína
  - Cloroformo

- Cristalería

- Pipetas
- Erlenmeyers
- Matraces volumétricos
- Agitador de vidrio
- Probetas
- Beackers
- Tubos de ensayo
- Picnómetro
- Navecillas de vidrio
- Condensador
- Buretas

- Equipos

- Extrusor de tornillo helicoidal Komet DD85
- Filtro de discos Alsop
- Prensa hidráulica elaborada en Alimentos Selectos, S.A.
- Bomba centrífuga Humboldt
- Higrotermómetro digital Santrol
- Termómetro digital infrarrojo Fluke 62-max, rango de -30 a 500 °C
- Balanza analítica Ohaus
- Balanza de humedad Mettler Toledo



### 3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para la evaluación del rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies *Integrifolia* y *Tetraphylla* variando la humedad y tipo de nuez, se utilizaron las siguientes técnicas cuantitativas y cualitativas de la investigación:

- Extracción mecánica del aceite de nuez de macadamia
  - Preparación para el arranque de la máquina
    - Se limpiaron profundamente los componentes de la cámara de prensado (tornillo sinfín, cilindro, cabezal y boquilla).
    - Se insertó el tornillo sinfín R8 con el eje en el socket.
    - Se enroscó el cilindro con la rosca hacia la izquierda utilizando una llave de gancho y apretando con una varilla redonda.
    - Se atornilló la tuerca de conexión sobre el cilindro.
    - Se atornilló el cabezal en la tuerca de conexión y luego se aseguró con la contratuerca.
    - Se atornilló la boquilla 6 en el cabezal.
  - Precalentamiento
    - Se fijó el anillo de calentamiento sobre la tuerca de conexión y se encendió a 120 °C por 10 minutos.
    - Se encendió el extrusor y se ajustó a la velocidad 1 por 10 minutos, de manera que todos los componentes de la cámara de prensado se calienten uniformemente.

- Preparación de la nuez
  - Se verificó que la materia prima no tuviera nueces podridas, con hongo, insectos o cualquier nuez que se encuentre severamente dañada, así como residuos de concha.
  - Se verificó la humedad inicial de la nuez; si esta es menor al 2 % se aplicó 5,5 ml de agua por cada libra de nuez por utilizar mediante aspersion, para luego homogenizar y dejar en reposo por 30 minutos.
  - Se verificó la humedad inicial de la nuez; si esta es mayor al 2 % se aplicó 3 ml de agua por cada libra de nuez por utilizar mediante aspersion, para luego homogenizar y dejar en reposo por 15 minutos.
  
- Extracción
  - Se verificó que la válvula de descarga del tanque 1 esté cerrado.
  - Se llenó la tolva gradualmente, manteniendo el ingreso de las nueces constante.
  - Se observó que el pellet sea compacto y seco, con el fin de garantizar que el ajuste de la máquina es el correcto para el servicio continuo.
  - Se verificó que el sedimento no obstruya el paso del aceite filtrado, para que el flujo del aceite hacia el tanque de filtración sea constante.
  - Al final de la operación de extracción, se apagó la máquina, se desarmó la cámara de prensado y se limpió cuidadosamente el equipo.

- Filtración
  - Al momento de terminar la filtración previa, se abrió la válvula de descarga del tanque 1 y se encendió el filtro prensa.
  - Luego de que el aceite se filtró en el filtro prensa, se cerró la válvula de descarga del tanque 1, se abrió la válvula de descarga del tanque 2 y se encendió la bomba para que continúe la filtración en el filtro de discos.
  
- Envasado
  - Se colocó la caneca en la manguera de salida del tanque 3.
  - Se abrió la válvula de descarga del tanque 3.
  - Al finalizar de envasar, se cerró la válvula de descarga del tanque 3.
  
- Humedad óptima de la nuez

Esta se determinó evaluando el rendimiento de extracción del aceite de nuez de macadamia a cinco humedades distintas, entre los rangos de 2 y 5 %.

- Tipo de nuez por utilizar

Se evaluó el rendimiento de extracción del aceite de nuez de macadamia variando el tipo de nuez (primera, segunda, tercera, tercera A, tercera B y estilo 8), así como mezclando las mismas con estilo 8.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En el presente estudio de investigación, se recolectaron y ordenaron los datos obtenidos en la validación de la boquilla por utilizar y humedad de la nuez, así como la medición del rendimiento de extracción e índices de calidad. Con base en esta información se presentan las siguientes tablas:

Tabla II. **Parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85**

<b>Temperatura</b>	120 °C
<b>Velocidad</b>	1 = 26 rpm
<b>Tornillo</b>	R8

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de tercera**

<b>Boquilla</b>	<b>Corrida</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
10	1	24,21
	2	23,88
	3	24,42
8	1	29,41
	2	30,02
	3	28,15
6	1	55,84
	2	54,96
	3	55,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de segunda**

<b>Boquilla</b>	<b>Corrida</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
10	1	18,50
	2	18,15
	3	17,26
8	1	18,90
	2	20,05
	3	19,37
6	1	31,40
	2	32,78
	3	30,82

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Validación de la humedad de la nuez**

<b>Humedad</b>	<b>Corrida</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
5,07	1	40,37
	2	41,22
	3	40,14
3,54	1	47,72
	2	45,66
	3	44,39
2,97	1	45,82
	2	44,92
	3	45,35
2,53	1	56,11
	2	55,87
	3	56,43
2,38	1	49,09
	2	48,65
	3	48,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Rendimiento en función del tipo de nuez

Tipo de nuez	Humedad (%)	Corrida	Rendimiento en extrusor (%)	Rendimiento en extrusor + prensa (%)
Primera	2,52	1	48,54	59,89
	2,47	2	56,27	62,97
	2,47	3	54,15	64,51
Segunda	2,47	1	51,87	61,58
	2,40	2	46,53	58,01
	2,40	3	47,92	62,30
Tercera	2,45	1	49,48	57,74
	2,56	2	55,84	62,09
	2,53	3	56,11	62,81
Estilo 8	2,47	1	55,85	62,20
	2,42	2	55,93	62,71
	2,40	3	53,14	60,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Rendimiento en función de la mezcla de nuez de primera con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor (%)	Rendimiento en extrusor + prensa (%)
80 % primera – 20 % estilo 8	1	58,97	63,57
	2	56,26	60,44
	3	56,89	61,85
50 % primera – 50 % estilo 8	1	58,47	64,73
	2	55,76	59,35
	3	55,15	61,44
20 % primera – 80 % estilo 8	1	57,43	62,70
	2	58,32	64,05
	3	54,29	60,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Rendimiento en función de la mezcla de nuez de segunda con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor (%)	Rendimiento en extrusor + prensa (%)
80 % segunda – 20 % estilo 8	1	57,93	64,17
	2	56,89	63,27
	3	57,44	63,02
50 % segunda – 50 % estilo 8	1	56,70	63,07
	2	56,92	62,67
	3	55,88	60,75
20 % segunda – 80 % estilo 8	1	58,07	65,00
	2	57,02	63,24
	3	57,54	62,87

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Rendimiento en función de la mezcla de nuez de tercera A con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor (%)	Rendimiento en extrusor + prensa (%)
20 % estilo 8 – 80 % tercera A	1	52,72	62,95
	2	53,65	63,76
	3	53,22	63,14
40 % estilo 8 – 60 % tercera A	1	47,64	58,85
	2	46,51	57,34
	3	47,28	57,92
50 % estilo 8 – 50 % tercera A	1	48,46	56,95
	2	49,02	56,45
	3	49,32	57,21
70 % estilo 8 – 30 % tercera A	1	56,45	62,15
	2	55,78	60,44
	3	55,22	60,82
80 % estilo 8 – 20 % tercera A	1	51,38	56,85
	2	51,16	55,94
	3	50,35	54,73

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Rendimiento en función de la mezcla de nuez de tercera B con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor (%)	Rendimiento en extrusor + prensa (%)
20 % estilo 8 – 80 % tercera B	1	53,33	59,75
	2	52,87	59,23
	3	52,55	58,76
40 % estilo 8 – 60 % tercera B	1	55,16	62,40
	2	55,32	61,89
	3	54,54	60,78
50 % estilo 8 – 50 % tercera B	1	50,84	56,95
	2	51,37	57,87
	3	51,88	58,05
70 % estilo 8 – 30 % tercera B	1	54,82	61,90
	2	53,55	61,25
	3	54,24	60,96
80 % estilo 8 – 20 % tercera B	1	51,53	56,45
	2	51,22	55,87
	3	50,76	54,44

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Índice de ácidos grasos

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de ácidos grasos
Primera	1	2,52	0,09
	2	2,47	0,08
	3	2,47	0,10
Segunda	1	2,47	0,07
	2	2,40	0,09
	3	2,40	0,13
Tercera	1	2,45	0,12
	2	2,56	0,17
	3	2,53	0,22
Estilo 8	1	2,47	0,42
	2	2,42	0,37
	3	2,40	0,35

Fuente: elaboración propia.



Tabla XII. Índice de peróxidos

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de peróxidos
Primera	1	2,52	0,10
	2	2,47	0,11
	3	2,47	0,09
Segunda	1	2,47	0,40
	2	2,40	0,10
	3	2,40	0,26
Tercera	1	2,45	0,20
	2	2,56	0,36
	3	2,53	0,20
Estilo 8	1	2,47	0,37
	2	2,42	0,68
	3	2,40	0,56

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Índice de saponificación

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de saponificación
Primera	1	2,52	210,15
	2	2,47	205,46
	3	2,47	208,20
Segunda	1	2,47	193,94
	2	2,40	198,32
	3	2,40	201,44
Tercera	1	2,45	184,21
	2	2,56	189,67
	3	2,53	187,38
Estilo 8	1	2,47	181,34
	2	2,42	180,25
	3	2,40	183,44

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Índice de yodo

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de yodo
Primera	1	2,52	81,27
	2	2,47	80,44
	3	2,47	80,25
Segunda	1	2,47	80,29
	2	2,40	78,70
	3	2,40	79,53
Tercera	1	2,45	85,35
	2	2,56	82,40
	3	2,53	80,33
Estilo 8	1	2,47	85,56
	2	2,42	79,43
	3	2,40	82,36

Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En el presente estudio de investigación se tabularon, ordenaron y procesaron los datos obtenidos en la validación de la boquilla por utilizar y humedad de la nuez, así como la medición del rendimiento de extracción e índices de calidad. Se obtuvo a partir de los mismos las siguientes tablas:

Tabla XV. Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de tercera

Boquilla	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{x}$
10	1	24,21	24,17
	2	23,88	
	3	24,42	
8	1	29,41	29,19
	2	30,02	
	3	28,15	
6	1	55,84	55,42
	2	54,96	
	3	55,45	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla II.

Tabla XVI. **Validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de segunda**

Boquilla	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{x}$
10	1	18,50	17,97
	2	18,15	
	3	17,26	
8	1	18,90	19,44
	2	20,05	
	3	19,37	
6	1	31,40	31,67
	2	32,78	
	3	30,82	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla III.

Tabla XVII. **Validación de la humedad de la nuez**

Humedad (%)	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{x}$
5,07	1	40,37	40,58
	2	41,22	
	3	40,14	
3,54	1	47,72	45,92
	2	45,66	
	3	44,39	
2,97	1	45,82	45,36
	2	44,92	
	3	45,35	
2,53	1	56,11	56,14
	2	55,87	
	3	56,43	
2,38	1	49,09	48,87
	2	48,65	
	3	48,86	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla IV.

Tabla XVIII. Rendimiento en función del tipo de nuez

Tipo de nuez	Humedad (%)	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$
Primera	2,52	1	59,89	62,36
	2,47	2	62,97	
	2,47	3	64,51	
Segunda	2,47	1	61,58	60,63
	2,40	2	58,01	
	2,40	3	62,30	
Tercera	2,45	1	57,74	60,88
	2,56	2	62,09	
	2,53	3	62,81	
Estilo 8	2,47	1	62,20	61,84
	2,42	2	62,71	
	2,40	3	60,61	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla V.

Tabla XIX. Rendimiento en función de la mezcla de primera con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$
80 % primera – 20 % estilo 8	1	63,57	61,95
	2	60,44	
	3	61,85	
50 % primera – 50 % estilo 8	1	64,73	61,84
	2	59,35	
	3	61,44	
20 % primera – 80 % estilo 8	1	62,70	62,30
	2	64,05	
	3	60,14	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla VI.

Tabla XX. Rendimiento en función de la mezcla de nuez de segunda con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$
80 % segunda – 20 % estilo 8	1	62,17	61,49
	2	61,27	
	3	61,02	
50 % segunda – 50 % estilo 8	1	62,07	61,83
	2	62,67	
	3	60,75	
20 % segunda – 80 % estilo 8	1	63,00	62,37
	2	62,24	
	3	61,87	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla VII.

Tabla XXI. Rendimiento en función de la mezcla de tercera A con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$
20% estilo 8 – 80% tercera A	1	62,95	63,28
	2	63,76	
	3	63,14	
40% estilo 8 – 60% tercera A	1	58,85	58,04
	2	57,34	
	3	57,92	
50% estilo 8 – 50% tercera A	1	56,95	56,87
	2	56,45	
	3	57,21	
70% estilo 8 – 30% tercera A	1	62,15	61,14
	2	60,44	
	3	60,82	
80% estilo 8 – 20% tercera A	1	56,85	55,84
	2	55,94	
	3	54,73	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla VIII.

Tabla XXII. Rendimiento en función de la mezcla de tercera B con estilo 8

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$
20 % estilo 8 – 80 % tercera B	1	59,75	59,25
	2	59,23	
	3	58,76	
40 % estilo 8 – 60 % tercera B	1	62,40	61,69
	2	61,89	
	3	60,78	
50 % estilo 8 – 50 % tercera B	1	56,95	57,62
	2	57,87	
	3	58,05	
70 % estilo 8 – 30 % tercera B	1	61,90	61,37
	2	61,25	
	3	60,96	
80 % estilo 8 – 20 % tercera B	1	56,45	55,59
	2	55,87	
	3	54,44	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla IX.

Tabla XXIII. Índice de ácidos grasos

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de ácidos grasos	$\bar{x}$
Primera	1	2,52	0,09	0,09
	2	2,47	0,08	
	3	2,47	0,10	
Segunda	1	2,47	0,07	0,10
	2	2,40	0,09	
	3	2,40	0,13	
Tercera	1	2,45	0,12	0,17
	2	2,56	0,17	
	3	2,53	0,22	
Estilo 8	1	2,47	0,42	0,38
	2	2,42	0,37	
	3	2,40	0,35	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla X.

Tabla XXIV. Índice de peróxidos

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de peróxidos	$\bar{x}$
Primera	1	2,52	0,10	0,10
	2	2,47	0,11	
	3	2,47	0,09	
Segunda	1	2,47	0,40	0,25
	2	2,40	0,10	
	3	2,40	0,26	
Tercera	1	2,45	0,20	0,25
	2	2,56	0,36	
	3	2,53	0,20	
Estilo 8	1	2,47	0,37	0,54
	2	2,42	0,68	
	3	2,40	0,56	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XI.

Tabla XXV. Índice de saponificación

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de saponificación	$\bar{x}$
Primera	1	2,52	210,15	207,94
	2	2,47	205,46	
	3	2,47	208,20	
Segunda	1	2,47	193,94	197,90
	2	2,40	198,32	
	3	2,40	201,44	
Tercera	1	2,45	184,21	187,90
	2	2,56	189,67	
	3	2,53	187,38	
Estilo 8	1	2,47	181,34	181,68
	2	2,42	180,25	
	3	2,40	183,44	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XII.

Tabla XXVI. Índice de yodo

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de yodo	$\bar{x}$
Primera	1	2,52	81,27	80,65
	2	2,47	80,44	
	3	2,47	80,25	
Segunda	1	2,47	80,29	79,51
	2	2,40	78,70	
	3	2,40	79,53	
Tercera	1	2,45	85,35	82,69
	2	2,56	82,40	
	3	2,53	80,33	
Estilo 8	1	2,47	85,56	82,45
	2	2,42	79,43	
	3	2,40	82,36	

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XIII.

### 3.8. Análisis estadístico

- Precisión

Se evaluó la precisión de todos los datos por medio del coeficiente de variación:

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad \text{[Ecuación No. 1]}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{[Ecuación No. 2]}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n} \quad \text{[Ecuación No. 3]}$$



Tabla XXVII. **Precisión en la validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de tercera**

Boquilla	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{x}$	$C_v$
10	1	24,21	24,17	1,13
	2	23,88		
	3	24,42		
8	1	29,41	29,19	3,27
	2	30,02		
	3	28,15		
6	1	55,84	55,42	1,80
	2	54,96		
	3	55,45		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XIV.

Tabla XXVIII. **Precisión en la validación de la boquilla por utilizar en extrusor Komet DD85 con nuez de segunda**

Boquilla	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{x}$	$C_v$
10	1	18,50	17,97	3,56
	2	18,15		
	3	17,26		
8	1	18,90	19,44	2,97
	2	20,05		
	3	19,37		
6	1	31,40	31,67	3,18
	2	32,78		
	3	30,82		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XV.

Tabla XXIX. **Precisión en la validación de la humedad de la nuez**

<b>Humedad (%)</b>	<b>Corrida</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	$\bar{x}$	$C_v$
5,07	1	40,37	40,58	1,40
	2	41,22		
	3	40,14		
3,54	1	47,72	45,92	3,66
	2	45,66		
	3	44,39		
2,97	1	45,82	45,36	0,99
	2	44,92		
	3	45,35		
2,53	1	56,11	56,14	0,71
	2	55,87		
	3	56,43		
2,38	1	49,09	48,87	0,45
	2	48,65		
	3	48,86		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVI.

Tabla XXX. **Precisión del rendimiento en función del tipo de nuez**

<b>Tipo de nuez</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Corrida</b>	<b>Rendimiento en extrusor + prensa (%)</b>	$\bar{x}$	$C_v$
Primera	2,52	1	59,89	62,36	3,78
	2,47	2	62,97		
	2,47	3	64,51		
Segunda	2,47	1	61,58	60,63	3,79
	2,40	2	58,01		
	2,40	3	62,30		
Tercera	2,45	1	57,74	60,88	4,51
	2,56	2	62,09		
	2,53	3	62,81		
Estilo 8	2,47	1	62,20	61,84	1,77
	2,42	2	62,71		
	2,40	3	60,61		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVII.

Tabla XXXI. **Precisión del rendimiento en función de la mezcla de primera con estilo 8**

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$	$C_v$
80 % primera – 20 % estilo 8	1	63,57	61,95	2,53
	2	60,44		
	3	61,85		
50 % primera – 50 % estilo 8	1	64,73	61,84	4,39
	2	59,35		
	3	61,44		
20 % primera – 80 % estilo 8	1	62,70	62,30	3,19
	2	64,05		
	3	60,14		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVIII.

Tabla XXXII. **Precisión del rendimiento en función de la mezcla de segunda con estilo 8**

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$	$C_v$
80 % segunda – 20 % estilo 8	1	62,17	61,49	0,98
	2	61,27		
	3	61,02		
50 % segunda – 50 % estilo 8	1	62,07	61,83	1,59
	2	62,67		
	3	60,75		
20 % segunda – 80 % estilo 8	1	63,00	62,37	0,92
	2	62,24		
	3	61,87		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XIX.

Tabla XXXIII. **Precisión del rendimiento en función de la mezcla de tercera A con estilo 8**

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$	$C_v$
20 % estilo 8 – 80 % tercera A	1	62,95	63,28	0,67
	2	63,76		
	3	63,14		
40 % estilo 8 – 60 % tercera A	1	58,85	58,04	1,31
	2	57,34		
	3	57,92		
50 % estilo 8 – 50 % tercera A	1	56,95	56,87	0,68
	2	56,45		
	3	57,21		
70 % estilo 8 – 30 % tercera A	1	62,15	61,14	1,87
	2	60,44		
	3	60,82		
80 % estilo 8 – 20 % tercera A	1	56,85	55,84	1,90
	2	55,94		
	3	54,73		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XX.

Tabla XXXIV. **Rendimiento en función de la mezcla de tercera B con estilo 8**

Mezcla	Corrida	Rendimiento en extrusor + prensa (%)	$\bar{x}$	$C_v$
20 % estilo 8 – 80 % tercera B	1	59,75	59,25	0,84
	2	59,23		
	3	58,76		
40 % estilo 8 – 60 % tercera B	1	62,40	61,69	1,34
	2	61,89		
	3	60,78		
50 % estilo 8 – 50 % tercera B	1	56,95	57,62	1,02
	2	57,87		
	3	58,05		

Continuación tabla XXXIV.

70 % estilo 8 – 30 % tercera B	1	61,90	61,37	0,78
	2	61,25		
	3	60,96		
80 % estilo 8 – 20 % tercera B	1	56,45	55,59	1,86
	2	55,87		
	3	54,44		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXI.

Tabla XXXV. Índice de ácidos grasos

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de ácidos grasos	$\bar{x}$	$C_v$
Primera	1	2,52	0,09	0,09	11,11
	2	2,47	0,08		
	3	2,47	0,10		
Segunda	1	2,47	0,07	0,10	30,8
	2	2,40	0,09		
	3	2,40	0,13		
Tercera	1	2,45	0,12	0,17	29,41
	2	2,56	0,17		
	3	2,53	0,22		
Estilo 8	1	2,47	0,42	0,38	5,58
	2	2,42	0,37		
	3	2,40	0,35		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXII.

Tabla XXXVI. Índice de peróxidos

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de peróxidos	$\bar{x}$	$C_v$
Primera	1	2,52	0,10	0,10	10
	2	2,47	0,11		
	3	2,47	0,09		
Segunda	1	2,47	0,40	0,25	60,04
	2	2,40	0,10		
	3	2,40	0,26		
Tercera	1	2,45	0,20	0,25	100,36
	2	2,56	0,36		
	3	2,53	0,20		
Estilo 8	1	2,47	0,37	0,54	28,96
	2	2,42	0,68		
	3	2,40	0,56		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXIII.

Tabla XXXVII. Índice de saponificación

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de saponificación	$\bar{x}$	$C_v$
Primera	1	2,52	210,15	207,94	1,13
	2	2,47	205,46		
	3	2,47	208,20		
Segunda	1	2,47	193,94	197,90	1,90
	2	2,40	198,32		
	3	2,40	201,44		
Tercera	1	2,45	184,21	187,90	1,55
	2	2,56	189,67		
	3	2,53	187,38		
Estilo 8	1	2,47	181,34	181,68	0,89
	2	2,42	180,25		
	3	2,40	183,44		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXIV.

Tabla XXXVIII. Índice de yodo

Tipo de nuez	Corrida	Humedad (%)	Índice de yodo	$\bar{x}$	$C_v$
Primera	1	2,52	81,27	80,65	6,27
	2	2,47	80,44		
	3	2,47	80,25		
Segunda	1	2,47	80,29	79,51	1,00
	2	2,40	78,70		
	3	2,40	79,53		
Tercera	1	2,45	85,35	82,69	3,05
	2	2,56	82,40		
	3	2,53	80,33		
Estilo 8	1	2,47	85,56	82,45	3,73
	2	2,42	79,43		
	3	2,40	82,16		

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXV.





## 4. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla XXXIX. **Parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85**

Temperatura	Velocidad	Tornillo	Boquilla	Humedad (%)
120 °C	1 = 26 rpm	R8	6	2,4 -2,6

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla I, XIV, XV y XVI.

Tabla XL. **Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función del tipo de nuez**

Tipo de nuez	Rendimiento (%)	$\sigma$
Primera	62,36	2,36
Segunda	60,63	2,30
Tercera	60,88	2,74
Estilo 8	61,84	1,10

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXIX y tres corridas para cada tipo de nuez.

Tabla XLI. **Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de primera con estilo 8**

Mezcla	Rendimiento (%)	$\sigma$
80 % primera – 20 % estilo 8	61,95	1,57
50 % primera – 50 % estilo 8	61,84	2,71
20 % primera – 80 % estilo 8	62,30	1,99

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXX y tres corridas para cada mezcla.

**Tabla XLII. Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de segunda con estilo 8**

<b>Mezcla</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b><math>\sigma</math></b>
80 % segunda – 20 % estilo 8	61,49	0,60
50 % segunda – 50 % estilo 8	61,83	0,98
20 % segunda – 80 % estilo 8	62,37	0,58

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXI y tres corridas para cada mezcla.

**Tabla XLIII. Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de tercera A con estilo 8**

<b>Mezcla</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b><math>\sigma</math></b>
80 % tercera A – 20 % estilo 8	63,28	0,42
60 % tercera A – 40 % estilo 8	58,04	0,76
50 % tercera A – 50 % estilo 8	56,87	0,39
30 % tercera A – 70 % estilo 8	61,14	1,14
20 % tercera A – 80 % estilo 8	55,84	1,06

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXII y tres corridas para cada mezcla.

**Tabla XLIV. Rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de la mezcla de tercera B con estilo 8**

<b>Mezcla</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b><math>\sigma</math></b>
80 % tercera B – 20 % estilo 8	59,25	0,50
60 % tercera B – 40 % estilo 8	61,69	0,83
50 % tercera B – 50 % estilo 8	57,62	0,59
30 % tercera B – 70 % estilo 8	61,37	0,48
20 % tercera B – 80 % estilo 8	55,59	1,03

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXIII y tres corridas para cada mezcla.

Tabla XLV. Índice de ácidos grasos

Tipo de nuez	Índice de ácidos grasos	$\sigma$
Primera	0,09	0,01
Segunda	0,10	0,03
Tercera	0,17	0,05
Estilo 8	0,38	0,02

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXIV y tres corridas para cada mezcla.

Tabla XLVI. Índice de peróxidos

Tipo de nuez	Índice de peróxidos	$\sigma$
Primera	0,10	0,01
Segunda	0,25	0,15
Tercera	0,25	0,25
Estilo 8	0,54	0,16

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXV y tres corridas para cada mezcla.

Tabla XLVII. Índice de saponificación

Tipo de nuez	Índice de saponificación	$\sigma$
Primera	207,94	2,36
Segunda	197,90	3,77
Tercera	187,90	2,92
Estilo 8	181,68	1,62

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXVI y tres corridas para cada mezcla.

Tabla XLVIII. Índice de yodo

<b>Tipo de nuez</b>	<b>Índice de yodo</b>	<b><math>\sigma</math></b>
Primera	80,65	0,54
Segunda	79,51	0,80
Tercera	82,69	2,52
Estilo 8	82,45	3,07

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXVII y tres corridas para cada mezcla.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo, se evaluó el rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies *Integrifolia* y *Tetraphylla*, variando la humedad y tipo de nuez mediante extracción mecánica.

En la tabla XXXIX se puede observar los parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85; la temperatura y la velocidad ya se encontraban definidas con anterioridad. Para la elección del tornillo había dos opciones, R8 y R9. El ancho del diente era directamente proporcional con el número de tornillo. Por tanto, al utilizar el tornillo R9, las nueces se quedaban atrapadas en el mismo sin poder ser extruidas. Esta razón llevó a escoger el tornillo R8. Se validó así la afirmación realizada en el *Manual de Instrucciones Prensado en frío KOMET DD 85 G*, donde indica que “el tornillo R8 se adapta mejor para la gran mayoría de semillas”. En la validación de la boquilla por utilizar, se disponía de tres diámetros (10, 8 y 6), que eran directamente proporcionales. Como se observa en la tabla XIV y XV, se hicieron pruebas utilizando nuez de tercera y nuez de segunda. Para ambos casos se obtiene un mayor rendimiento al utilizar la boquilla 6, de 55,42 y 31,67 %, respectivamente. Se valida la afirmación realizada en el *Manual de Instrucciones Prensado en frío KOMET DD 85 G*, donde indica que “las boquillas de menor diámetro generan un rendimiento de paso más bajo, pero mayor cantidad relativa de aceite”. Para la validación de la humedad de la nuez, como se observa en la tabla XVI, se evaluaron cinco humedades diferentes entre el rango de 2,38 a 5,07 %. Se obtuvo el mayor rendimiento de 56,14 % a una humedad del 2,53 %, por lo que se definió la humedad en un rango de 2,4 a 2,6 % para la nuez de macadamia. Se difiere con lo indicado en el *Manual de Instrucciones Prensado en frío KOMET DD 85 G* para

el material por prensar, donde se valida que “la humedad de las semillas debe ser entre el 6 y 8 %”.

En la tabla XL se muestra el rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función del tipo de nuez. Se observa que se obtiene el mayor rendimiento utilizando nuez de primera, de 62,36 % y con una desviación estándar de 2,36.

En las tablas XLI, XLII, XLIII y XLIV se muestra el rendimiento del aceite obtenido mediante extrusión y prensado en función de las diferentes mezclas de nueces (primera, segunda, tercera A y tercera B) con estilo 8. Se obtuvo el mayor rendimiento para la mezcla de 80 % nuez de tercera A y 20 % nuez estilo 8, y fue del 63,28 %, respectivamente.

Los índices que se mantuvieron dentro del rango establecido en el *Manual de Calidad de la Industria de Macadamia* fueron los índices de ácidos grasos, peróxidos y yodo. El índice de acidez “es una medida de los ácidos grasos libres presentes en la grasa y se definen como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa”. En la tabla XLV se muestra el índice de ácidos grasos para los cuatro tipos de nuez evaluadas, donde se observa que en promedio se encuentran en el rango de 0,09 a 0,38 mg KOH/g aceite. Se cumple la especificación de grado alimenticio indicada en la sección 4.4.3 del *Manual de Calidad de la Industria de Macadamia*, el cual especifica que el mismo debe ser como máximo 1 mg KOH/g aceite. Esto comprueba que el aceite evaluado se encontraba fresco o recién preparado.

El índice de peróxidos “es la cantidad total de sustancias que oxidan el yoduro de potasio y se expresa en miliequivalentes de oxígeno peróxido por

kilogramo de muestra”. En la tabla XLVI se muestra el índice de peróxidos para los cuatro tipos de nuez evaluadas, donde se observa que en promedio se encuentran entre el rango de 0,10 a 0,54 meq/kg aceite. Se cumple la especificación de grado alimenticio indicada en la sección 4.4.3 del *Manual de Calidad de la Industria de Macadamia*, el cual especifica que el mismo debe ser como máximo 5 meq/kg aceite. Esto comprueba que el aceite evaluado se encontraba en las primeras fases de oxidación.

El índice de yodo “es una medida de la insaturación de los cuerpos grasos y se expresa en gramos de yodo absorbidos por 100 gramos de sustancia grasa”. En la tabla XLVIII se muestra el índice de yodo para los cuatro tipos de nuez evaluadas, donde se observa que en promedio se encuentran entre el rango de 79,51 a 82,69. Cumple así la especificación de grado alimenticio indicada en la sección 4.4.3 del *Manual de Calidad de la Industria de Macadamia*, el cual especifica que el mismo debe estar en un rango de 75 a 82.

El índice de saponificación “es la cantidad de álcali necesaria para saponificar una determinada cantidad de muestra y se expresa en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de sustancia grasa”. En la tabla XLVII se muestra el índice de saponificación para los cuatro tipos de nuez evaluadas, donde se observa que en promedio se encuentran entre el rango de 182 a 208, lo cual incumple la especificación de grado alimenticio indicada en la sección 4.4.3 del *Manual de Calidad de la Industria de Macadamia*. Este especifica que el mismo debe estar en un rango de 190 a 200, por lo que presenta una diferencia significativa del  $\pm 4$  %.





## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo satisfactoriamente en 100 %, la evaluación del rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas del aceite de macadamia de las especies *Integrifolia* y *Tetraphylla*, variando la humedad y tipo de nuez mediante extracción mecánica.
2. Los parámetros que optimizan la extracción en un extrusor Komet DD85 son: temperatura, 120 °C; velocidad, 1 (26 rpm); tornillo, R8 y boquilla, 6.
3. La humedad de la nuez debe encontrarse entre 2,4 y 2,6 % para obtener un mayor rendimiento en la extracción del aceite.
4. El mayor valor del rendimiento en la extracción del aceite es, en promedio, de 62,36 %, correspondiente a la nuez de primera.
5. El mayor valor del rendimiento en la extracción del aceite es, en promedio, de 63,28 %, correspondiente a la mezcla del 80 % de nuez de tercera A mezclada con el 20 % de estilo 8.
6. Los índices de calidad obtenidos en promedio que cumplen la especificación fueron: índice de ácidos grasos, en el rango de 0,09 a 0,38 mg KOH/g aceite; índice de peróxidos, en el rango de 0,10 a 0,54 meq/kg aceite y el índice de yodo, en el rango de 79,71 a 82,69. El índice de saponificación se encontró en el rango de 182 a 208, un  $\pm 4$  % fuera de especificación.



## RECOMENDACIONES

1. Comparar el rendimiento de extracción del aceite de nuez de macadamia por extracción mecánica, con diferentes tipos de extrusores.
2. Comparar el rendimiento de extracción obtenido de la macadamia *Integrifolia* con el rendimiento de extracción obtenido de la macadamia *Tetraphylla*, mediante extracción mecánica.
3. Comparar el perfil de ácidos grasos del aceite de nuez de macadamia con el aceite de oliva virgen para determinar el beneficio que aporta en la alimentación.
4. Determinar si es viable utilizar la cáscara de la nuez de macadamia como potencial biocombustible.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ácidos grasos. *Temas selectos de ciencias*. [en línea]. <<http://temas-selectos-de-ciencias.blogspot.com/p/lipidos.html>>. [Consulta: 23 de julio de 2018].
2. Australian Macadamia Society Ltd. *Macadamia Industry Quality Handbook: Recommended guidelines for macadamia oil*. Australia. 2001. 114 p.
3. BARREDA MURALLES, Miguel Ángel. *Caracterización del aceite de nuez de macadamia (Macadamia tetraphylla y Macadamia integrifolia) producido en forma artesanal en el municipio de San Miguel Dueñas del departamento de Sacatepéquez, para establecer sus parámetros de calidad*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 60 p.
4. COGUANOR. NGO 34 072 h1: *Determinación del índice de saponificación*. Guatemala. 1982. 65 p.
5. COGUANOR. NGO 34 072 h2: *Determinación del índice de yodo. Método de Wijs*. Guatemala. 1982. 65 p.
6. COGUANOR. NGO 34 072 h21: *Determinación del índice de peróxido*. Guatemala. 1982. 65 p.

7. COGUANOR. NGO 34 072 h30: *Determinación del contenido total de cuerpos grasos*. Guatemala. 1982. 65 p.
8. CUBILLO SANTANA, Guillermo. *Proyecto final macadamia* [en línea]. <[http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6775/10/PROYECTO\\_FINAL\\_macadamia.pdf](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6775/10/PROYECTO_FINAL_macadamia.pdf)>. [Consulta: 06 de junio de 2018].
9. DE LEÓN BARRIOS, Francisco Khalil. *Extracción del aceite de nuez de macadamia de la variedad HAES 246, sus propiedades y aplicaciones industriales*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 80 p.
10. GARCÍA ESTRADA, Mizdar Daniel. *Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de macadamia de las especies Tetraphyllia e Intergrifolia*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 62 p.
11. Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. *Ácidos grasos*. [en línea]. <<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos9.htm>>. [Consulta: 02 de agosto de 2018].
12. *Nuez de Macadamia de Segunda*. [en línea]. <[http://www.botanical-online.com/macadamia\\_integrifolia.htm](http://www.botanical-online.com/macadamia_integrifolia.htm)>. [Consulta: 23 de agosto de 2017].

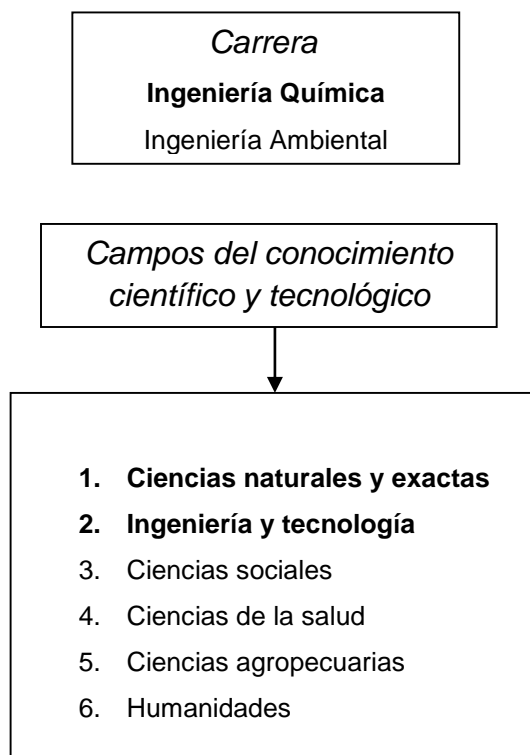
13. *Nuez de Macadamia Estilo 8*. [en línea]. <<http://www.alimentos-selectos.com/es/products.htm>>. [Consulta: 23 de agosto de 2017].
14. ORTIZ, Gustavo. *Nuez de Macadamia de Primera*. [en línea]. <<http://www.agroterra.com/p/nuez-macadamia-3043061/3043061>>. [Consulta: 23 de agosto de 2017].
15. SÁNCHEZ, Henry Walforth & DE LOS RÍOS, Carlos. *El cultivo de la macadamia*. [en línea]. <[www.delalba.com.co/assets/applets/El\\_Cultivo\\_de\\_la\\_Macadamia.pdf](http://www.delalba.com.co/assets/applets/El_Cultivo_de_la_Macadamia.pdf)>. [Consulta: 23 de agosto de 2017].
16. SANTIZO RECINOS, Ana María. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de macadamia (Macadamia integrifolia) extraído de nueces sanas e inmaduras provenientes de los municipios de El Palmar y Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango y Alotenango, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de Inga. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 88 p.
17. *Suplementos Deportivos*. [en línea]. <<http://www.suplementosdeportivos.org/noticias/beneficios-del-aceite-de-nuez-de-macadamia>> [Consulta: 15 de julio de 2018].
18. VON BREVERN, Roman. *Manual de Instrucciones Prensado en frío KOMET DD 85 G y D 85-1G*. Alemania: OEKOTEC IBG MONFORTS. 2010. 13 p.

19. WALPOLE, MYERS, & MYERS. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. 6ª ed. México: Prentice-Hall Hispanoamérica S.A. 1999. 840 p.

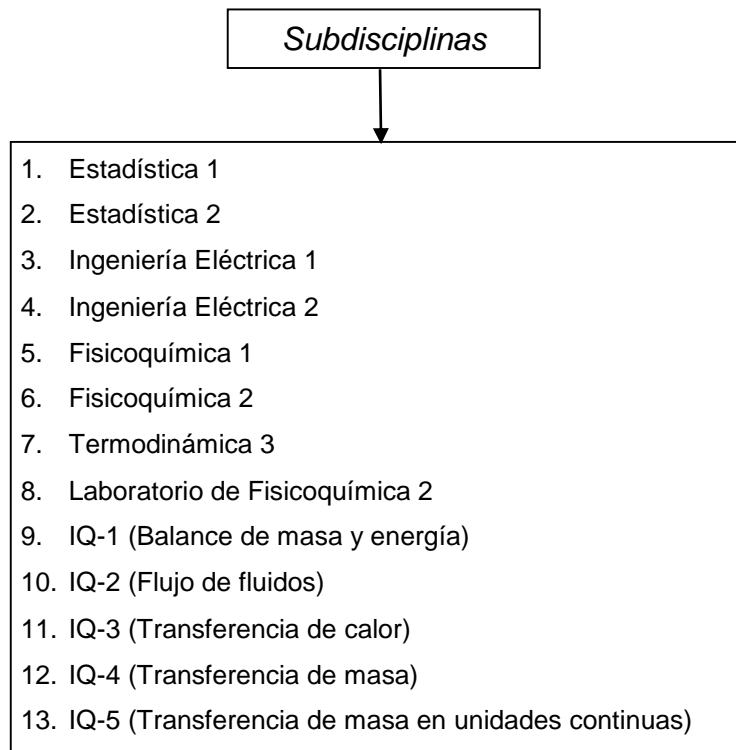
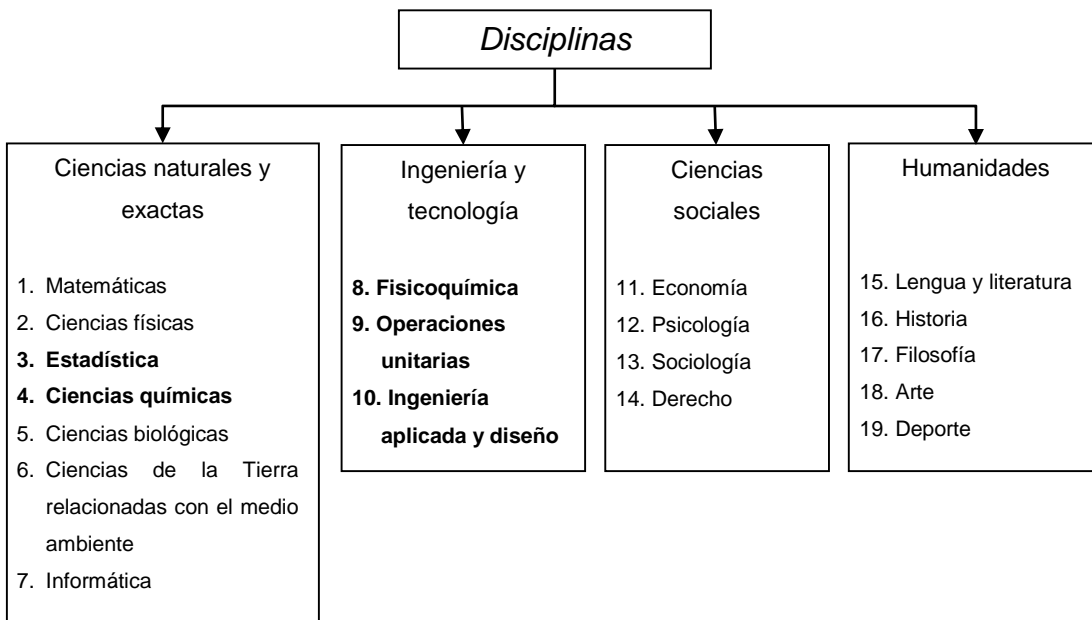


# APÉNDICES

## Apéndice 1. Requisitos académicos

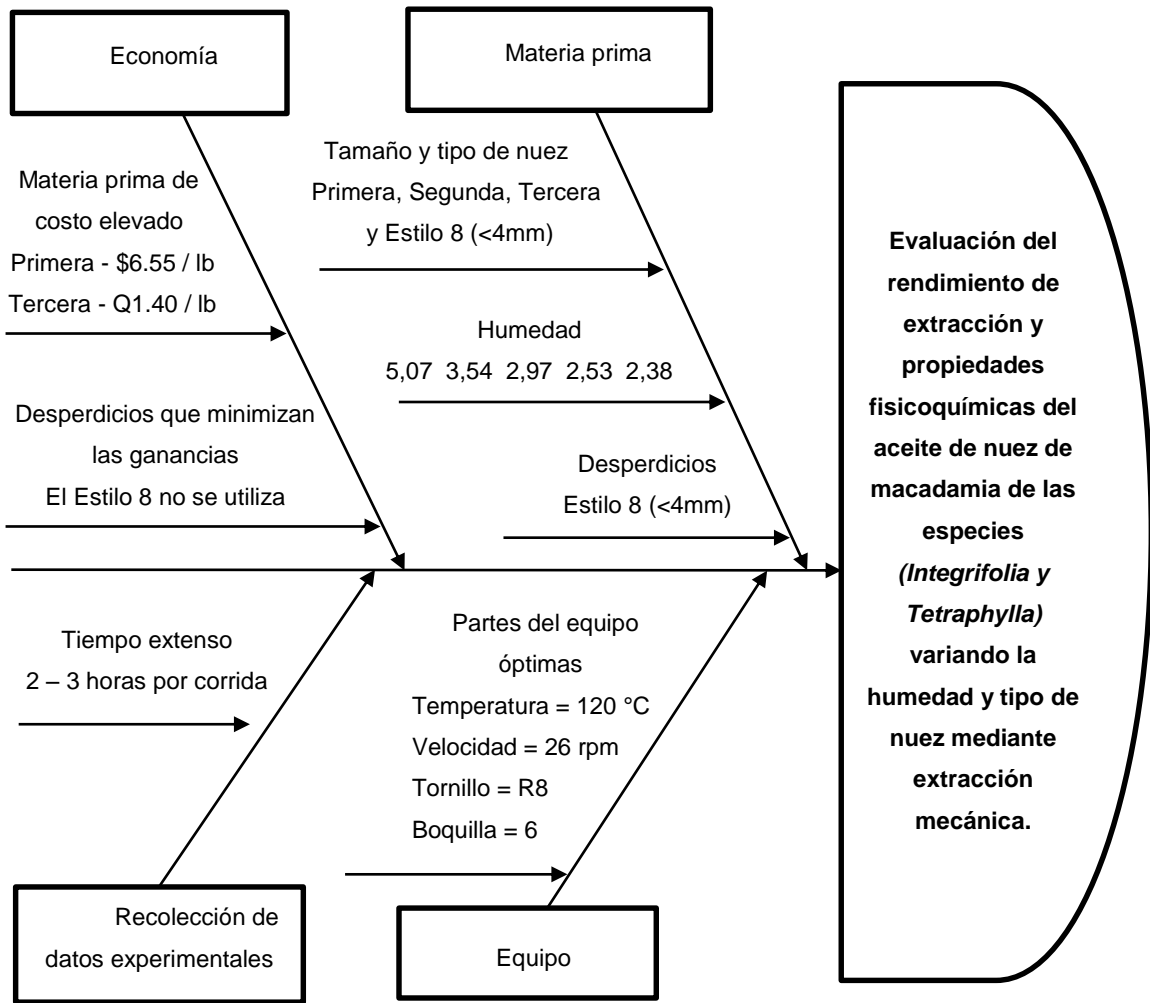


Continuación apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

