



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

**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**

**Ana María Santizo Recinos**

Asesorado por el Ing. Mario José Mérida Meré

Coasesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANA MARÍA SANTIZO RECINOS**

ASESORADO POR EL ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ  
E INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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 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**

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



**Ana María Santizo Recinos**



Guatemala, 29 de Septiembre de 2014

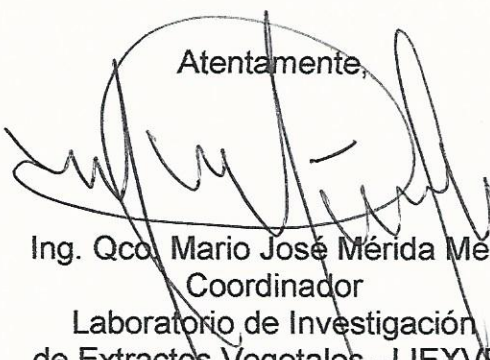
Ingeniero  
Victor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Ingeniero Monzón:


Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación 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, SACATEPEQUEZ”**, de la estudiante de Ingeniería Química Ana María Santizo Recinos quien se identifica con el carné número 2008-19313.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

  
Ing. Qco. Mario José Mérida Méndez  
Coordinador  
Laboratorio de Investigación  
de Extractos Vegetales –LIEXVE–  
Asesor



  
Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII  
Asesora





Guatemala, 03 de febrero de 2014  
Ref. EQ.TG-DI.010.2014

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Registro de Evaluación del diseño de investigación EQ-REG-TG-002, correlativo 152-2013, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Ana María Santizo Recinos**.

Identificada con número de carné: 2008-19313.

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 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**

El Trabajo de Graduación es asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré**.

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Hilda Piedad Palma de Martini  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.018.2015

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 de la estudiante, **ANA MARÍA SANTIZO RECINOS** 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"**. 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. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2015

Cc: Archivo  
VMMV/ale



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 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**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana María Santizo Recinos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, febrero de 2015



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Toda la gloria sea a tí Señor.
<b>Mis padres</b>	Julia Victoria Recinos de Santizo y Bilgai Natanael Santizo, por todo su apoyo, amor y entrega.
<b>Mi hermana</b>	María Alejandra Santizo, por hacerme reír cuando más lo necesitaba, por su apoyo y aliento
<b>Luis Pedro Ríos</b>	Por toda su ayuda y apoyo en la realización de este trabajo
<b>Mis amigos</b>	Por su apoyo y amistad a lo largo de la carrera

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mi familia</b>	Por su apoyo incondicional, a lo largo de mi vida.
<b>Todos mis catedráticos</b>	Por todas sus enseñanzas y experiencias compartidas.
<b>Asesores</b>	Ing. Mario Mérida e Inga. Telma Cano, por su guía en la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Licda. Amalia Guzmán</b>	Por sus enseñanzas y gran ayuda en la elaboración de este proyecto.
<b>Andrea Barrientos</b>	Por su ayuda para llevar a cabo este proyecto.
<b>Licdas. Ana Luisa Mendizábal y Silvia Ruiz</b>	Por su apoyo y consideración en realizar parte importante de este trabajo de graduación.

**Amigos de la  
Universidad**

Por todo su apoyo, guía, acompañamiento,  
experiencias y amistad proporcionada.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Macadamia .....	3
2.1.1. Condiciones ambientales.....	3
2.1.2. Nuez de macadamia.....	4
2.1.3. Procesamiento.....	4
2.1.3.1. Cosecha .....	5
2.1.3.2. Despochamiento.....	5
2.1.3.3. Secado .....	6
2.1.3.4. Remoción de concha .....	7
2.1.4. Clasificación de trastornos.....	9
2.2. Lípidos.....	10
2.2.1. Nomenclatura de los ácidos grasos saturados .....	12
2.2.2. Nomenclatura de ácidos grasos insaturados .....	13
2.2.3. Nomenclatura acilgliceroles .....	14
2.2.4. Propiedades físicas de los lípidos.....	15

2.2.5.	Medición de ácidos grasos del aceite fijo .....	16
2.2.6.	Índices de calidad.....	16
2.2.6.1.	Índice de yodo .....	16
2.2.6.2.	Índice de saponificación .....	17
2.2.6.3.	Índice de acidez .....	17
2.2.6.4.	Índice de peróxidos .....	17
2.3.	Métodos de extracción de aceites fijos.....	17
2.3.1.	Métodos industriales .....	19
2.3.2.	Métodos a escala laboratorio .....	22
2.3.2.1.	Método de extracción Soxhlet .....	23
2.4.	Usos del aceite de macadamia .....	25
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Variables .....	27
3.1.1.	Variables independientes .....	27
3.1.2.	Variables dependientes .....	28
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	29
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	30
3.4.	Recursos materiales.....	30
3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa.....	32
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	34
3.6.1.	Técnica de muestreo.....	34
3.6.2.	Ordenamiento de muestras.....	34
3.6.3.	Preparación de muestras .....	35
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	36
3.8.	Análisis estadístico.....	43
4.	RESULTADOS.....	55

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	61
CONCLUSIONES .....	67
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
APÉNDICES .....	77
ANEXOS .....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Nuez de macadamia, caparazón fibroso, en su concha y kernel .....	5
2.	Procesamiento de la nuez de macadamia .....	7
3.	Triacilglicerol .....	11
4.	Sistema pentadiénico .....	14
5.	Extracción mecánica de aceite de semillas oleaginosas.....	19
6.	Extracción por disolvente de aceite de semilla oleaginosa .....	21
7.	Equipo de extracción Soxhlet.....	23
8.	Clasificación de muestras de nueces de macadamia .....	35
9.	Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) obtenido de nueces inmaduras..	56
10.	Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) obtenido de muestras de tipo lote completo.....	56
11.	Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) obtenido de nueces maduras ....	57
12.	Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ).....	57
13.	Distribución t .....	79
14.	Cromatografía de gases, nueces maduras (parte I).....	80
15.	Cromatografía de gases, nueces maduras (parte II).....	81
16.	Cromatografía de gases nuez inmadura (parte I).....	82
17.	Cromatografía de gases nuez inmadura (parte II).....	83
18.	Cromatografía de gases nuez inmadura (parte III).....	84



19.	Informe (parte I) .....	85
20.	Informe (parte II) .....	86
21.	Informe (parte III) .....	87
22.	Informe (parte IV).....	88

## TABLAS

I.	Estándares de calidad nuez en concha.....	8
II.	Estándares de calidad kernel .....	8
III.	Ácidos grasos comúnmente encontrados en alimentos .....	12
IV.	Ejemplos de acilgliceroles .....	15
V.	Descripción equipos y flujos de sistema para extracción mecánica de aceite de semillas oleaginosas .....	20
VI.	Descripción equipos y flujos de sistema para extracción por disolvente de aceite fijo de semillas oleaginosas .....	22
VII.	Nivel altitudinal de las fincas muestreadas.....	29
VIII.	Datos del disolvente .....	36
IX.	Datos nueces de macadamia .....	37
X.	Valores de tiempo de extracción .....	37
XI.	Rendimiento muestras de lote completo .....	38
XII.	Rendimiento nueces maduras.....	39
XIII.	Rendimiento muestras nueces inmaduras .....	40
XIV.	Índice de yodo .....	41
XV.	Índice de saponificación .....	41
XVI.	Índice de acidez.....	42
XVII.	Índice de peróxidos .....	42
XVIII.	Índice de refracción .....	43
XIX.	Densidad del aceite .....	43
XX.	Precisión mediciones de rendimiento de nueces inmaduras.....	44

XXI.	Precisión de rendimiento de nueces de lote completo .....	45
XXII.	Precisión mediciones de rendimiento de nueces maduras .....	46
XXIII.	Exactitud índice de acidez nueces inmaduras .....	47
XXIV.	Exactitud índice de acidez nueces maduras .....	48
XXV.	Exactitud índice de peróxidos nueces inmaduras .....	48
XXVI.	Exactitud índice de peróxidos nueces maduras .....	48
XXVII.	Exactitud índice de yodo nueces inmaduras .....	49
XXVIII.	Exactitud índice de yodo nueces maduras.....	49
XXIX.	Exactitud índice de saponificación nueces inmaduras .....	49
XXX.	Exactitud índice de saponificación nueces maduras .....	50
XXXI.	Exactitud densidad nueces inmaduras.....	50
XXXII.	Exactitud densidad nueces maduras.....	50
XXXIII.	Exactitud índice de refracción nueces inmaduras .....	51
XXXIV.	Exactitud índice de refracción nueces maduras .....	51
XXXV.	Resultados análisis de varianza para comprobación de hipótesis.....	53
XXXVI.	Resultados de análisis de varianza para comprobación del efecto de la altura de la finca sobre la cantidad de aceite fijo en las muestras de lote completo.....	54
XXXVII.	Rendimiento extractivo del aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) obtenido de nueces recolectadas de ocho fincas distintas .....	55
XXXVIII.	Comparación de propiedades físicas del aceite fijo extraído de todas las fincas de nueces maduras con las de nueces inmaduras .....	58
XXXIX.	Comparación de índices de calidad de aceite fijo extraído de todas las fincas de nueces maduras con los de nueces inmaduras .....	58

XL.	Perfil de ácidos grasos de aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) de nueces inmaduras de todas las fincas.....	59
XLI.	Perfil de ácidos grasos de aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) de nueces maduras de todas las fincas.....	59

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\sigma$	Coefficiente de variación
$\mu$	Dato teórico
$s$	Desviación
$s$	Desviación estándar de la media
$h(n - 1)$	Grados de libertad dentro de la muestra
$(h - 1)$	Grados de libertad entre muestras
$\bar{x}$	Media
$s_2^2$	Media cuadrática dentro de la muestra (error cuadrático medio).
$s_1^2$	Media cuadrática entre muestras (media cuadrática del tratamiento).
$\bar{x}_i$	Media de la muestra i
$h$	Número de muestras
$n$	Número de repeticiones
$x_{ij}$	Repetición j de la muestra i
$t$	t de Student



## GLOSARIO

<b>Aceite fijo</b>	Ésteres de la glicerina y ácidos grasos de alto peso molecular.
<b>Ácidos grasos</b>	Componentes mayoritarios de los lípidos. Son compuestos que contienen una cadena alifática con un grupo carboxilo.
<b>AOAC</b>	Siglas para Association Of Analytical Communities (Asociación de Comunidades Analíticas). Su actividad primaria consiste en desarrollar estándares aceptados globalmente.
<b>Cromatografía de gases</b>	Tipo de cromatografía en la que la muestra es vaporizada y arrastrada a través de la columna cromatográfica por medio de un gas inerte.
<b>Dedal</b>	Cilindro de celulosa de algodón dentro del cual se coloca la muestra a la que se le extraerá el aceite fijo utilizando equipo de extracción Soxhlet.
<b>Disolvente</b>	Medio disolvente de una solución. Normalmente es el componente de una solución presente en mayor cantidad.

<b>Extractor soxhlet</b>	Equipo utilizado para la extracción de solutos por medio de lixiviación.
<b>Índice de acidez</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 refracción</b>	Determina la pureza de los reactivos químicos.
<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>Kernel</b>	La parte más suave contenida en la concha de una nuez.
<b>Lípidos</b>	Compuestos insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos de polaridad semejante. Esta clasificación incluye dentro de los lípidos a una amplia gama de compuestos químicos

orgánicos, como las grasas, ceras, aceites, esteroides, prostaglandinas y vitaminas.

**Lixiviación**

Disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido.

**Nuez sana**

Nuez de macadamia completamente madura que no presenta ningún trastorno. En el desarrollo del presente trabajo se utilizan los términos “madura” y “sana” de forma intercambiable.

**Punto de humeo**

Temperatura del aceite en la que se hace visible el humo que desprende la acroleína de las grasas.

**Rancidez hidrolítica**

Rancidez producida por hidrólisis de los triglicéridos que integran una grasa o un aceite, por acción de enzimas presentes en el producto, formándose ácidos grasos y glicerina.

**Rancidez oxidativa**

Oxidación de los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados con formación de peróxidos.

**Rendimiento**

Relación entre el peso de materia vegetal y el peso de aceite fijo obtenido expresado como un porcentaje.

**Semilla oleaginosa**

Semilla de la cual puede extraerse aceite.





## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó el rendimiento de extracción y se caracterizó el 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.

Para dicho procedimiento se evaluaron los rendimientos de aceite fijo de nueces de macadamia cosechadas en ocho fincas del suroccidente del país, utilizando el método de extracción Soxhlet. Para cada finca se contaba con tres tipos de muestra: nueces maduras e inmaduras y lote completo. Estas últimas consistían en nueces maduras e inmaduras mezcladas.

El mayor rendimiento obtenido en las muestras de nueces inmaduras fue de 54,060 por ciento y el menor de 48,238 por ciento, correspondientes a las fincas 4 y 5 respectivamente. Para las muestras de lote completo se obtuvo un rendimiento máximo de 58,453 por ciento en la finca 4 y un mínimo de 56,272 por ciento en la finca 7. Finalmente, el mayor rendimiento obtenido para las muestras de nueces maduras fue de 59,981 por ciento y el menor de 56,231 por ciento correspondientes a las fincas 5 y 7 respectivamente.

Seguidamente se determinaron los índices de refracción, densidades, índices de saponificación, índices de yodo, ácidos grasos libres e índices de peróxidos de la mezcla del aceite fijo de nuez de macadamia de todas las fincas, utilizando los métodos descritos en la AOAC y se determinó el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases con espectrometría de masa del aceite fijo de nueces maduras y al aceite de nueces inmaduras.

Los índices de refracción de nueces maduras e inmaduras fueron de 1,463. El valor de la densidad de las nueces maduras fue de 0,9668 g/mL y las nueces inmaduras de 0,9669 g/mL. Los índices de saponificación fueron de 163,43 y 165,94, los índices de yodo fueron de 73,56 y 73,15, los ácidos grasos libres fueron de 0,28 y 0,26 y los índices de peróxidos fueron de 1,89 y 2,42 para nueces maduras e inmaduras respectivamente.

Los ácidos grasos que se encuentran tanto en nueces inmaduras como maduras en los porcentajes más altos son: oleico, palmitoleico y palmítico. El ácido palmítico se encuentra en igual proporción, pero hay mayor cantidad de ácido oleico y menor cantidad de ácido palmitoleico en las nueces maduras que en las nueces inmaduras. Asimismo, en las nueces inmaduras se encuentra el ácido margárico, mientras que en las nueces maduras se encuentra el ácido esteárico que no se encuentra en las nueces inmaduras.

Al determinar el porcentaje de error de los índices de calidad se observó que los obtenidos del aceite extraído por método Soxhlet son menores a los de la referencia. Los valores de la referencia indican, claramente, que esos resultados provienen de aceite extraído en frío, así que puede atribuirse a que la temperatura de extracción hace que el aceite disminuya su calidad.

En la comprobación de hipótesis por medio de ANOVA se determinó que sí existe diferencia significativa entre la cantidad de aceite extraído de nueces inmaduras con la cantidad extraída de nueces maduras. Se descartó la posibilidad que la diferencia fuera por la altura a la que se localiza la finca, realizando un análisis de varianza entre cada tipo de muestra por finca.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar el rendimiento de extracción y caracterización de 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.

### Específicos

1. Evaluar rendimiento de aceite fijo de nueces de macadamia cosechadas en ocho fincas del suroccidente del país.
2. Determinar índice de refracción, densidad, índice de saponificación, índice de yodo, ácidos grasos libres e índice de peróxidos del aceite fijo de nuez de macadamia, utilizando los métodos de la AOAC.
3. Determinar el perfil de ácidos grasos correspondiente por cromatografía de gases con espectrometría de masa.
4. Comparar el rendimiento de aceite fijo, propiedades físicas e índices de calidad del aceite fijo obtenido de nueces de macadamia sanas con el extraído de nueces inmaduras.

## Hipótesis

El porcentaje de rendimiento del aceite fijo está influenciado por el punto de madurez de la nuez de macadamia

### Hipótesis nula:

Ho: no existe diferencia entre el porcentaje de rendimiento del aceite fijo en nueces de macadamia inmaduras y nueces sanas.

$$\mu_a = \mu_b$$

Donde:

$\mu_a$  = cantidad de aceite fijo extraído de nueces de macadamia sanas

$\mu_b$  = cantidad de aceite fijo extraído de nueces de macadamia inmaduras

### Hipótesis alternativa:

Ha: hay diferencia entre el porcentaje de rendimiento del aceite fijo en nueces de macadamia inmaduras y nueces maduras

$$\mu_a \neq \mu_b$$

Donde:

$\mu_a$  = cantidad de aceite fijo extraído de nueces de macadamia sanas

$\mu_b$  = cantidad de aceite fijo extraído de nueces de macadamia inmaduras

## INTRODUCCIÓN

El árbol de macadamia pertenece al orden *Proteales*, familia *Proteaceae* y es originaria de los bosques lluviosos de Australia, específicamente de las regiones de Nuevo Gales del Sur y Queensland. Existen dos especies que producen nueces comestibles: *Macadamia integrifolia* y *Macadamia tetraphylla*.

Las macadamias son llamadas así en honor a John McAdam, colega del botánico Ferdinand von Mueller quien describió por primera vez el género en 1857. Fueron importadas por primera vez en Hawaii en 1882 y cosechadas con fines comerciales a partir de 1920. La mayoría de nueces cosechadas a nivel mundial, fuera de Australia, tienen su origen en las diferentes subespecies desarrolladas en Hawaii.

La nuez de macadamia es muy apreciada por todas sus propiedades. Siempre se ha comercializado exitosamente en la industria alimenticia como nueces tostadas con sal u otros sabores, con chocolate, miel o caramelo y en trozos para utilizarse en pastelería. Existe una gran gama de recetas en donde se puede utilizar la macadamia.

También se ha utilizado en productos de belleza debido a su aceite. Este tiene propiedades muy beneficiosas para la piel, siendo no solo una excelente fuente de hidratación sino también de vitaminas y antioxidantes, lo que da a la piel un aspecto radiante y más joven. También es muy utilizada en jabones, productos para el cabello, máscaras faciales, cremas y otros.

El aceite de macadamia es rico en ácidos grasos esenciales que desempeñan un papel importante en la función inmune e integridad de la membrana celular. Se le ha conocido por sus propiedades humectantes, suavizantes y nutricionales en la piel y cabello. Su contenido en ácidos oleico y palmitoleico proporciona propiedades antioxidantes, que lo hace aplicable no solo como producto de belleza sino también es recomendado para tratamiento de estrías, cicatrices e incluso reducción de colesterol en la sangre.

## 1. ANTECEDENTES

Guatemala es un país cuyos ingresos económicos dependen fuertemente de exportaciones agrícolas. Las exportaciones totales acumuladas a mayo 2013 alcanzaron un monto de \$4 480 millones de dólares, de los cuales el 33 por ciento corresponde a ingresos por exportación de productos tradicionales. “Estos se denominan de esta forma por su larga historia de cultivo y exportación en el país y corresponden al café, azúcar, banano, cardamomo y petróleo”<sup>1</sup>.

No es hasta el siglo XX, que se inicia la diversificación de cultivos o productos no tradicionales. El 67 por ciento restante de los ingresos económicos corresponde a productos no tradicionales, como: fruta, vestuario, tabaco, semilla de ajonjolí, muebles, caucho, metales preciosos, manufactura, entre otros. “Los principales importadores de productos guatemaltecos son: Estados Unidos, Europa, Centroamérica, México, Panamá, República Dominicana y el resto del Caribe”<sup>2</sup>.

“No es posible establecer la fecha exacta en que se inició el cultivo de macadamia en Guatemala, pero es sabido que fue introducida inicialmente como un árbol de sombra para cultivos de café”<sup>3</sup>. “Durante la segunda mitad del siglo XX, fue cobrando fuerza como producto de exportación, habiendo aumentado de 2 800 a 7 200 toneladas de nuez en concha de 1998 al 2001”<sup>4</sup>. “En la actualidad, los principales países productores de macadamia por orden de importancia son: Australia, Estados Unidos de América, Sudáfrica, Kenia,

---

<sup>1</sup> Asociación Guatemalteca de Exportadores, 2013.

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> ANACAFE, Asociación Nacional del Café, 2004.

<sup>4</sup> Muralles, 2011.



Guatemala, Costa Rica y Brasil”<sup>5</sup>. La oferta mundial de esta nuez ha ido aumentando en los últimos años, debido a la entrada en producción de las plantaciones jóvenes, existentes principalmente en: Australia, Sudáfrica, Guatemala y Brasil<sup>6</sup>.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizado trabajos de graduación acerca de la extracción y caracterización del aceite de macadamia, mencionando entre ellos: *Caracterización del aceite de nuez de macadamia producido en forma artesanal en el municipio de San Miguel Dueñas del departamento de Sacatepéquez, para establecer sus parámetros de calidad*, de Miguel Ángel Barreda Muralles; *Extracción del aceite de nuez de macadamia de la variedad HAES 246, sus propiedades y aplicaciones industriales*, de Francisco Khalil de León Barrios; y *Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de macadamia de las especies Tetraphyllia e Intergrifolia*, de Midzar Daniel García Estrada.

Se han realizado procesos similares de extracción para aceites fijos en los trabajos de graduación titulados: *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino Antigua obtenido por el proceso de prensado y Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (Crescentia alata HBK) proveniente de las regiones de Estanzuela, Zacapa y San Agustín Acasaguastlán, El Progreso*, de Lourdes María Ramírez Ovalle y Glenda Rocío Luna Zúñiga, respectivamente.

---

<sup>5</sup> International Nut and Dried Fruit Concil, 2012.

<sup>6</sup> Universidad Rafael Landívar, 2003.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Macadamia**

Las macadamias son llamadas así en honor a John McAdam quien describió por primera vez el género en 1857. Fueron importadas por primera vez en Hawaii en 1882 y cosechadas con fines comerciales a partir de 1920. La mayoría de nueces cosechadas a nivel mundial, fuera de Australia, tienen su origen en las diferentes subespecies desarrolladas en Hawaii.

#### **2.1.1. Condiciones ambientales**

El árbol de macadamia es muy adaptable a las regiones del bosque húmedo tropical con temperaturas desde 14 °C a 32 °C. La temperatura es el factor climático dominante en el crecimiento y productividad y sus valores óptimos se encuentran en el rango de 20 °C-25 °C, lo que la convierte en un árbol que crece fácilmente en suelo guatemalteco y cuyos frutos son de alta calidad.

“En Guatemala se cultiva en altitudes de 600 a 1 600 metros sobre el nivel del mar y se ha adaptado de 1 000 y 4 000 mm de precipitación pluvial anual”<sup>7</sup>. Algunas de las áreas del país aptas para el cultivo de macadamia, en especial la región occidental, se encuentran en terreno montañoso. Las macadamias crecen en una amplia gama de suelos bien drenados y pendientes pronunciadas, aunque estos deben evitarse para facilitar la cosecha de la nuez madura.

---

<sup>7</sup> ANACAFE, Asociación Nacional del Café, 2004.

### **2.1.2. Nuez de macadamia**

Es una nuez con forma esférica de color crema y aceitosa con un sabor y olor característico, muy apreciado en la cocina internacional. Las condiciones de cultivo de la macadamia en Guatemala son muy similares a las del café,, y es por esa razón, que habitualmente se encuentran estos cultivos juntos. Inicialmente se sembraron árboles de macadamia como árbol de sombra para el café y no fue hasta años recientes que se inició a comercializar sus nueces. Debido a este trasfondo, no se dio óptimo cuidado a los árboles, aunque a pesar de esto, las nueces han presentado un alto incremento en sus ventas, obligando a la industria a buscar alternativas o soluciones para mejorar la calidad y cantidad del producto.

### **2.1.3. Procesamiento**

Los árboles de macadamia crecen lentamente hasta alcanzar de los 12 a los 15 metros de altura. Tienen hojas verde oscuro brillantes y sus flores crecen en racimos largos de color blanco o rosado. Cada racimo de 40 o 50 flores produce de cuatro a quince nuececillas, que eventualmente maduran en nueces.

Las nueces en sí crecen encerradas en una concha dura de madera, que a su vez está protegida por un caparazón fibroso. El árbol de macadamia es capaz de tener flores, nuececillas y nueces a punto de caer al mismo tiempo en sus ramas, dando cosecha durante gran parte del año. Las nueces, una vez maduras, caen al suelo y son recogidas a intervalos regulares de tiempo para evitar la mayor cantidad de pérdidas a los insectos o moho.

Figura 1. **Nuez de macadamia, caparazón fibroso, en su concha y kernel**



Fuente: <http://www.organicforrest.com.au/large-Macadamia27.jpg>. Consulta: agosto de 2013.

#### **2.1.3.1. Cosecha**

Las macadamias maduras caen al suelo, una vez terminaron de transformar los azúcares y almidones en aceite esencial. Las primeras nueces que caen al suelo pueden estar inmaduras o haber sufrido ataque por insecto. Es deseable que se tengan rondas de recolección semanales para evitar que estas permanezcan mucho tiempo en el suelo y sean atacadas por moho o insectos. “Las floraciones de mayor importancia económica ocurren en los meses de agosto, septiembre y octubre durante la época lluviosa”<sup>8</sup>.

#### **2.1.3.2. Despochamiento**

La cáscara fibrosa externa de la macadamia se remueve dentro de las 24 horas a partir de su cosecha para reducir la transpiración de la nuez y facilitar el secado. Esta cáscara es reciclada, por lo general, convirtiéndose en abono orgánico y luego se almacena la nuez en su concha.

<sup>8</sup> ANACAFE, Asociación Nacional del Café, 2004.

Una vez se cuenta con la nuez en este estado, se hace una clasificación parcial de las nueces por medio de una prueba de flote. Todas aquellas que no se hundan en agua son desechadas, porque esto indica que la nuez dentro de la concha es muy pequeña o ha sido comida por insectos.

La mayoría de fincas vende sus nueces en concha, lo que significa que la recogen del terreno y, los campos que tengan la capacidad y equipo necesario, separan la nuez de su primera capa fibrosa para luego secarla hasta bajos porcentajes de humedad y, por último almacenarla en costales para trasladarla al cliente. Las conchas y cáscaras fibrosas, generalmente se reutilizan dentro de la plantación como abono o combustible para los hornos de secado.

### **2.1.3.3. Secado**

Es una parte crítica en el procesamiento de la macadamia, ya que este determina la vida de anaquel del producto terminado. Cuando son cosechadas, las macadamias tienen un porcentaje de humedad aproximado del 30 por ciento. “El secado puede durar hasta tres semanas y reduce esta humedad hasta aproximadamente el 1,5 por ciento”<sup>9</sup>. Este es el porcentaje de humedad recomendado, en el cual el kernel se encoje lo suficiente dentro de la concha, facilitando el rompimiento de la concha sin dañarlo.

Mantener una alta humedad mientras la nuez se encuentra dentro de la concha aumenta la incidencia de centros color café en kernel crudo, y este defecto se incrementa con el tiempo y temperatura. Las nueces deben ser procesadas lo más pronto posible, de preferencia en las granjas mismas donde fueron cultivadas.

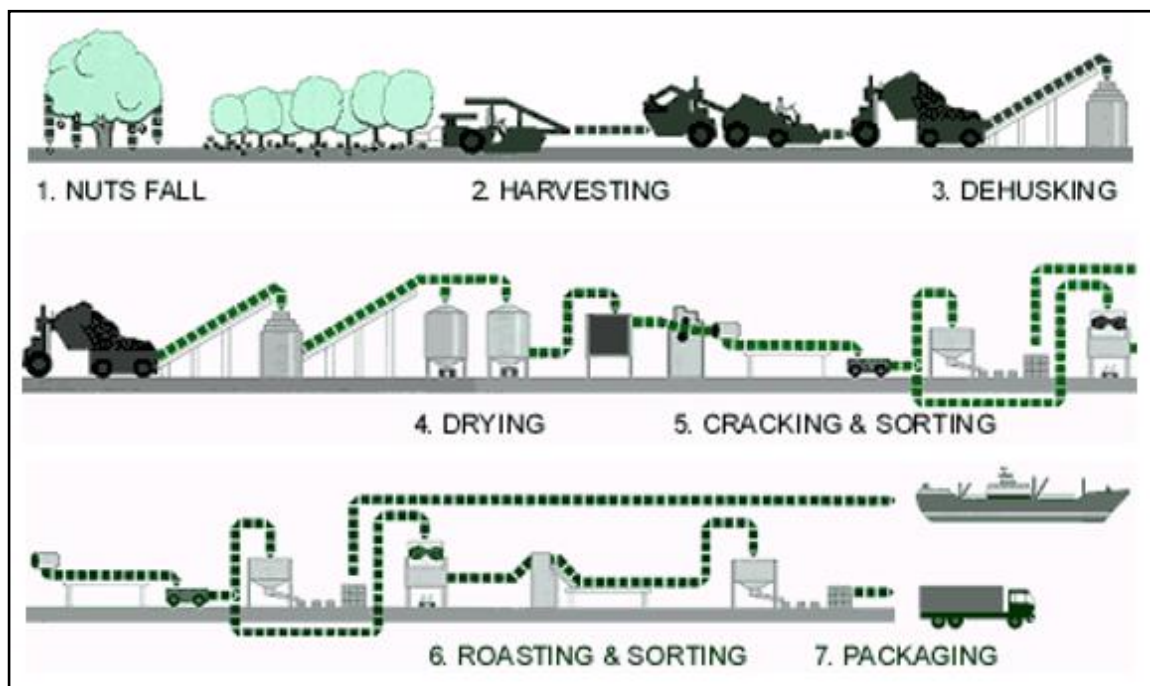
---

<sup>9</sup> Australian Macadamia Society, 2001.

#### 2.1.3.4. Remoción de concha

Cuando inició la exportación de la macadamia australiana, la concha era rota a mano, pero actualmente se cuenta con maquinaria especializada que evita dañar el kernel al remover la concha. Una vez se tiene el kernel separado de la concha, se prosigue a realizar una examinación visual para eliminar la mayor cantidad de nueces de baja calidad o con algún defecto y clasificarlas por tamaño y color.

Figura 2. **Procesamiento de la nuez de macadamia**



Fuente: <http://macadamias.org/pages/the-macadamia-story>. Consulta: agosto de 2013.

Tabla I. **Estándares de calidad nuez en concha**

<b>Factor</b>	<b>Límites</b>
Insectos	Ausentes
Materia extraña	No mayor al 1 %
Diámetro en eje más pequeño	Mayor a 18 mm
Polvo	Ausente
Humedad en superficie	Ausente
Daño <sup>10</sup>	Ausente
Peso de kernel no apto	Menor al 3,5 % en peso de nuez en base seca

Fuente: Australian Macadamia Society. *The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook*.  
p. 20.

Tabla II. **Estándares de calidad kernel**

<b>Factor</b>	<b>Límites</b>
Humedad superficial	Ausente
Polvo	No más del 0,1 %
Materia extraña	Ausente
Concha suelta	No más de 1 pieza por cada 100 kg
Kernel no apto	No más del 2 %
Daño por insecto	Ausente
Insectos, fragmentos de insectos o telarañas	No más de 0,1 % en peso
Moho visible	Ausente
Humedad de kernel	No más de 1,5 % en peso

Fuente: Australian Macadamia Society. *The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook*.  
p. 20.

<sup>10</sup> Se especifica como daño causado por roedores, rajadura (que excede la mitad del diámetro de la nuez y penetra al interior de la misma), agujeros o punzaduras, moho superficial u otras formas de daño.

#### 2.1.4. Clasificación de trastornos

“Se clasifican las nueces según su apariencia o daños presentes”<sup>11</sup>. Una sin trastornos (o sana) es la nuez completamente madura que no presenta ningún trastorno. Existe diversidad de trastornos y formas de clasificar los mismos, pero las definiciones más relevantes para el presente estudio son las siguientes:

- Nuez inmadura: de consistencia dura con apariencia arrugada o encogida. Se da por procesamiento de nueces que caen prematuramente del árbol.
- Decoloración basal: manchado, generalmente presente en la parte inferior de la nuez. A veces aparece junto con anillo decolorado.
- Decoloración interna: manchado presente en el interior de la nuez de color café o naranja.
- Anillos decolorados: anillos de color café o gris alrededor de la parte central externa de la nuez.
- Moho: aparece como una decoloración color naranja, café, negro o blanco sobre la superficie o en el centro de la nuez
- Daño provocado por insecto: las depresiones o lesiones en la nuez son características de cada especie de insecto. Este tipo de daño puede ir acompañado de moho.
- Centro lleno de hoyos: se presentan agujeros o depresiones en el centro de la nuez que solo pueden verse cuando estas están partidas por la mitad. Se relacionan con la tensión y nutrición de los árboles.
- Rancidez: se produce por la descomposición de las grasas y aceites presentes en la nuez para formar ácidos grasos. Se detecta por el olor o sabor de las nueces, muchas de las cuales presentan buena apariencia,

---

<sup>11</sup> Australian Macadamia Society, 2001.



pero otras se tornan ligeramente amarillas o verdosas y con una superficie levemente grasosa. Se presenta rancidez cuando la nuez se expone a altas temperaturas, almacenamiento prolongado, permanencia de las nueces en el piso durante largos períodos de tiempo antes de ser cosechadas y caída tardía de las varetas de los árboles

## 2.2. Lípidos

Son compuestos insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos de polaridad semejante. Esta clasificación incluye dentro de los lípidos a una amplia gama de compuestos químicos orgánicos, como las grasas, ceras, aceites, esteroides, prostaglandinas y vitaminas. Los lípidos de mayor relevancia para el presente estudio son los aceites. “El término aceite no es lo mismo que grasa, siendo la principal diferencia entre ellos, que una grasa es un sólido a temperatura ambiente mientras que un aceite es un líquido en las mismas condiciones. Generalmente, las grasas provienen de los animales y los aceites suelen obtenerse de las plantas”<sup>12</sup>.

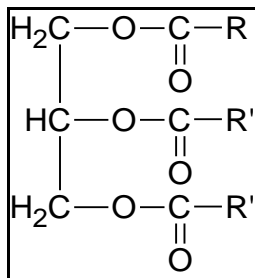
Químicamente, las grasas y aceites son ésteres de glicerol y ácidos grasos. Son el producto de reacción entre una molécula de glicerol con tres moléculas de ácidos grasos, las cuales dan como subproducto tres moléculas de agua. Estos ácidos grasos son, generalmente, ácidos alifáticos monocarboxílicos de cadena larga saturada, monoinsaturados o poliinsaturados.

---

<sup>12</sup> Wingrove & Caret, *Química orgánica*, 1981. p.

“Alrededor del 99 por ciento de los ácidos grasos encontrados en plantas y animales están esterificados al glicerol”<sup>13</sup>. Los acilgliceroles pueden existir como mono, di y tri ésteres, conocidos respectivamente como monoacilgliceroles, diacilgliceroles y triacilgliceroles. En alimentos, los más comunes son los triacilgliceroles. El carbono central de un triacilglicerol muestra quiralidad si están presentes ácidos grasos diferentes en los carbonos terminales. Debido a esto, los tres carbonos de la molécula del glicerol pueden diferenciarse con una numeración estereoespecífica (*sn*). Si el triacilglicerol se muestra en proyección planar de Fischer, los carbonos se numeran del 1 al 3 de arriba hacia abajo.

Figura 3. **Triacilglicerol**



Fuente: elaboración propia, con base a ChemSketch.

Entre la gran variedad de aceites que contienen las plantas, están los denominados aceites fijos y los aceites volátiles o esenciales. Se diferencian en que los aceites fijos tienen puntos de ebullición mucho más altos que los aceites esenciales debido a la menor cantidad de ácidos grasos insaturados que conforman las moléculas de los triglicéridos. Los aceites esenciales volátiles se relacionan con olores o sabores de la planta al ser los primeros que se perciben sensorialmente.

<sup>13</sup> Damodaran, Parkin, & Fennema, 2008.

### 2.2.1. Nomenclatura de los ácidos grasos saturados

Según el sistema IUPAC, se nombra el hidrocarburo original del ácido graso basándose en el número de carbonos y se cambia el sufijo *o* del nombre del hidrocarburo por *oico*. Existen nombres comunes para la mayoría de los ácidos grasos de cadena par de carbonos y varios de cadena impar.

Otra forma de nombrar los ácidos grasos es por medio del sistema numérico para nombres abreviados. El primer número en este sistema indica el número de carbonos del ácido graso y el segundo señala el número de dobles enlaces. Para los ácidos grasos saturados, este segundo número siempre va a ser cero.

Tabla III. **Ácidos grasos comúnmente encontrados en alimentos**

Nombre sistemático	Nombre común	Abreviatura numérica
Ácidos grasos saturados		
Hexanoico	Caproico	6:0
Octanoico	Caprílico	8:0
Decanoico	Cáprico	10:0
Dodecanoico	Láurico	12:0
Tetradecanoico	Mirístico	14:0
Hexadecanoico	Palmítico	16:0
Octadecanoico	Esteárico	18:0
Ácidos grasos insaturados		
<i>cis</i> -9-Octadecenoico	Oleico	18:1 $\Delta$ 9
<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Octadecadienoico	Linoleico	18:2 $\Delta$ 9
<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Octadecadienoico	Linolénico	18:3 $\Delta$ 9
<i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-Eicosatetraenoico	Araquidónico	20:4 $\Delta$ 5
<i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17-Eicosapentaenoico	EPA	20:5 $\Delta$ 5
<i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19 Docosaheptaenoico	DHA	22:6 $\Delta$ 4

Fuente: FENNEMA, Owen. *Química de los alimentos*. p.158.

### 2.2.2. Nomenclatura de ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos que contienen dobles enlaces en su cadena alifática son denominados como ácidos grasos insaturados. En el sistema IUPAC el sufijo *anoico* se cambia a *enoico* para señalar la presencia de un doble enlace. Con base en el número de dobles enlaces se agregan los prefijos *di-*, *tri-*, *tetra-* y así sucesivamente.

Para ácidos grasos insaturados, también existen nombres comunes y el sistema de abreviatura numérica es muy similar al utilizado para los ácidos grasos saturados, con la diferencia que el segundo número indica la cantidad de dobles enlaces, y la posición de estos se muestra mediante el sistema delta ( $\Delta$ ) que señala el lugar a partir del grupo carboxilo terminal.

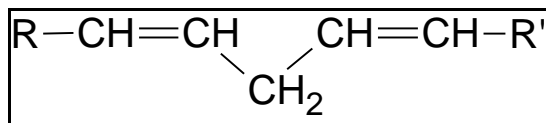
Un método alternativo de numeración que indica la posición del doble enlace contado a partir del metilo terminal de ácido graso se conoce como sistema omega ( $\omega$ ) el cual es útil para agrupar los ácidos grasos sobre su actividad biológica, “ya que muchas enzimas reconocen a los ácidos grasos a partir del metilo terminal libre de la molécula cuando está esterificada al glicerol”<sup>14</sup>.

La configuración natural de los dobles enlaces en los ácidos grasos insaturados es *cis*. Los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados se presentan frecuentemente como sistema pentadiénico en donde los dobles enlaces están separados por tres carbonos. Esto hace posible predecir la posición de todos los dobles enlaces en la mayor parte de ácidos grasos naturales conociendo únicamente la posición del primero de ellos.

---

<sup>14</sup> Damodaran, Parkin, & Fennema, 2008.

Figura 4. **Sistema pentadiénico**



Fuente: elaboración propia, con base a ChemSketch.

### 2.2.3. **Nomenclatura acilgliceroles**

Los triacilgliceroles se nombran con frecuencia utilizando los nombres comunes de los ácidos grasos que contienen. Si contiene un solo ácido graso, puede agregarse el prefijo *tri* y reemplazar la terminación *ico* del ácido graso por *oil*. Si contiene dos o tres ácidos grasos y se conoce la posición estereo específica de estos, se agrega *sn* al nombre y un número indicando la posición del ácido graso.

Tabla IV. Ejemplos de acilgliceroles

Estructura	Nombre sistemático
	Triestearatoil glicerol
	1-palmitoil-2-oleoil-3-estearoil-sn-glicerol
	1,2 dipalmitoil-3-estearoil-sn-glicerol

Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.4. Propiedades físicas de los lípidos

La presencia de dobles enlaces influye en el punto de fusión de los ácidos grasos. Asimismo, los dobles enlaces en configuración *cis* provocan que estos se ordenen en una configuración más torcida. Por ello, los ácidos grasos insaturados no son lineales, siendo difícil que se orienten por sí mismos en empaquetamiento compacto. “A causa de este impedimento estérico, las fuerzas de van der Waals en ácidos grasos insaturados en configuración *cis* son más débiles e incluso inexistentes lo que hace que existan en estado líquido bajo condiciones normales”<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Damodaran, Parkin, & Fennema, 2008.

### **2.2.5. Medición de ácidos grasos del aceite fijo**

Se utiliza la cromatografía de gases con espectrómetro de masas acoplado para la identificación y cuantificación de ácidos grasos presentes en el aceite fijo. Debido a la baja volatilidad del aceite fijo se debe realizar un procedimiento previo para volatilizar el analito y no utilizar temperaturas que lleguen a descomponerlo o evitar precipitaciones en la columna. Otra razón por la que se derivatiza la muestra es para agregar un grupo funcional que aumente la resolución de detección del compuesto.

La derivatización es el proceso mediante el cual se transforma el analito por una reacción química a un derivado que sea posible analizar con facilidad en el cromatógrafo de gases. En el caso de los ácidos grasos, los triglicéridos deben ser hidrolizados a ácidos grasos libres, y posteriormente metilados para formar el metilester correspondiente del ácido graso.

### **2.2.6. Índices de calidad**

Se evalúan diversos índices de calidad en aceites fijos según el uso que vaya a dárseles. En esta sección se describirán los más comunes.

#### **2.2.6.1. Índice de yodo**

Mide el grado de insaturación de los ácidos grasos en forma cuantitativa y se refiere a los gramos de yodo absorbido por 100 gramos de muestra. Cuanto más alto sea el índice de yodo, mayor es el grado de insaturación.

#### **2.2.6.2. Índice de saponificación**

Expresa el peso molecular medio de los ácidos grasos. Es una medida útil para cuantificar las propiedades de sabor y olor del aceite. Es el número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para saponificar un gramo de grasa.

#### **2.2.6.3. Índice de acidez**

Medida de los ácidos grasos libres presentes en la grasa. Se define como miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar un gramo de la grasa o aceite.

#### **2.2.6.4. Índice de peróxidos**

Expresa el grado de oxidación o de descomposición de las moléculas debido a la oxidación de los enlaces dobles de las grasas insaturadas. Se define como la cantidad de yodo liberada del yoduro de potasio por peróxidos.

### **2.3. Métodos de extracción de aceites fijos**

Los métodos de extracción de aceite de semillas oleaginosas se clasifican en dos grupos principales y uno adicional que los combina. Se describirán extracción mecánica, extracción por solventes

Una vez obtenido el aceite, se realizan posttratamientos para lograr características específicas en el producto final o cumplir con las normativas de calidad:

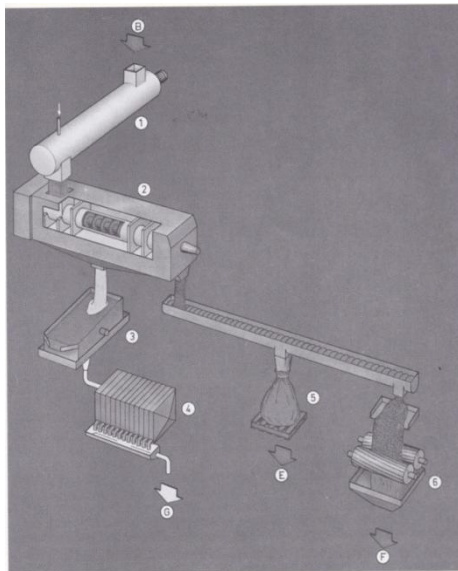


- Desgomado: los aceites vegetales obtenidos por medio de prensado o extracción con solventes siempre contienen sustancias similares a la grasa, como fosfolípidos o complejos de proteína y grasas, las cuales son gomosas. Cuando se les moja con agua estos materiales se hacen insolubles en el aceite y se separan de él.
- Refinación: el uso de una solución álcali logra eliminar otras impurezas menores del aceite. Estas incluyen ácidos grasos libres que se combinan con el álcali para formar jabones que posteriormente son eliminados mediante filtración o centrifugación.
- Blanqueo: incluso después de haber sido desgomado y refinado, el aceite vegetal puede contener pigmentos vegetales. Estos se pueden eliminar pasando el aceite aún caliente sobre carbón activado o cualquiera de varios barros y tierras absorbentes.
- Deodorización: algunos aceites contienen sustancias volátiles olorosas que les dan un olor no deseado. Estas se remueven por medio de calor y vacío. Con frecuencia el calor se suministra mediante la inyección de vapor al aceite en evaporadores de baja presión.
- Hidrogenación: se lleva a cabo para saturar todos los enlaces dobles de ácidos grasos con el fin de endurecer el aceite hasta una consistencia deseada. Se coloca en un tanque llamado convertidor y se bate el aceite caliente dentro de él con gas hidrógeno y un catalizador de níquel.
- Enfriamiento (*winterización*): los triglicéridos que contienen más ácidos grasos saturados y los ácidos grasos de cadena larga tienden a separarse por cristalización cuando se enfría el aceite. Se permite precipitar la grasa cristalizada para luego removerla del fondo del tanque de almacenamiento.

### 2.3.1. Métodos industriales

- Extracción mecánica: se utilizan varios tipos de prensas y expulsores para exprimir el aceite de las semillas que lo contienen. Para mejorar el rendimiento, se calienta y muele la nuez para facilitar la extracción de aceite. Se reduce su tamaño de partícula y aumenta su temperatura. El calor empleado para calentar debe ser utilizado cuidadosamente para evitar modificar el color del aceite.

Figura 5. Extracción mecánica de aceite de semillas oleaginosas



Fuente: CENZANO, I. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. p. 559.

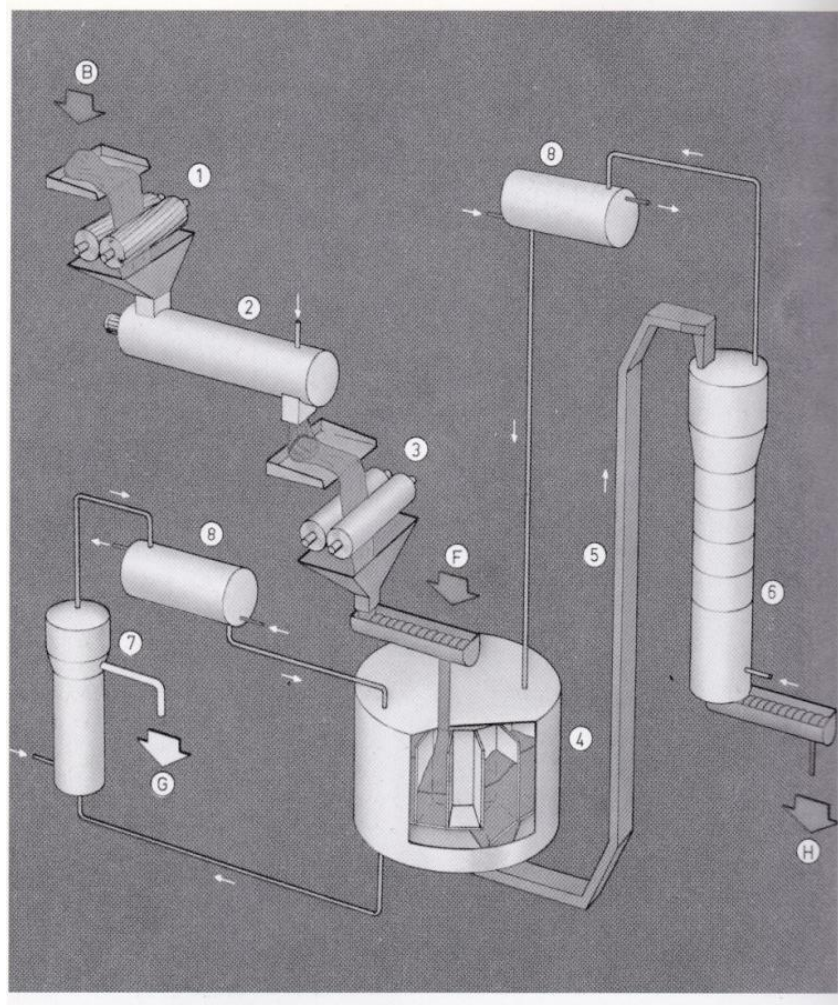
Tabla V. **Descripción equipos y flujos de sistema para extracción mecánica de aceite de semillas oleaginosas**

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Flujos</b>	<b>Descripción</b>
1	Acondicionador	B	Semillas oleaginosas
2	Prensa de tornillo	E	Torta proteínica ensacada
3	Tamiz vibratorio	G	Aceite de semillas
4	Filtro de aceite	F	Torta proteínica triturada
5	Estación de ensacado	-	-
6	Cilindros trituradores	-	-

Fuente: CENZANO, I. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. p. 559.

- Extracción por medio de solvente: en operaciones de gran escala es muy común extraer el aceite de semillas quebradas a temperaturas bajas mediante un disolvente no polar (comúnmente n-hexano). El solvente se filtra a través de las semillas y después que se haya extraído el aceite se recupera y vuelve a utilizar. Con frecuencia la extracción por medio de solventes logra sacar más aceite de las semillas que el prensado.

Figura 6. **Extracción por disolvente de aceite de semilla oleaginosa**



Fuente: CENZANO, I. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. p. 560.

Tabla VI. **Descripción equipos y flujos de sistema para extracción por disolvente de aceite fijo de semillas oleaginosas**

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Flujos</b>	<b>Descripción</b>
1	Cilindros trituradores	B	Semillas oleaginosas
2	Acondicionador	F	Torta proteínica triturada
3	Molino	G	Aceite crudo
4	Extractor	H	Harina desengrasada
5	Elevador	-	-
6	Separador del disolvente	-	-
7	Evaporador	-	-
8	Condensador	-	-

Fuente: CENZANO, I. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. p. 560.

- Procesos combinados: se utiliza el prensado para sacar la mayor parte del aceite seguido por la extracción con disolvente para recuperar los últimos residuos.

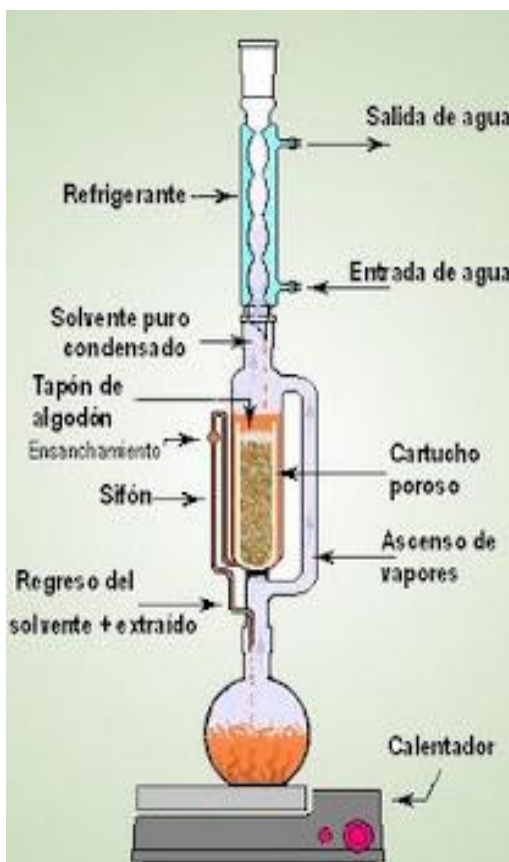
### **2.3.2. Métodos a escala laboratorio**

El aceite fijo de nueces oleaginosas puede obtenerse utilizando una gran variedad de métodos, entre los que se pueden mencionar: extracción Soxhlet, prensado en frío, extracción con fluidos supercríticos, extracción por microondas entre otros. Para los fines del presente trabajo, se desarrollará únicamente el método de extracción Soxhlet.

### 2.3.2.1. Método de extracción Soxhlet

Un extractor Soxhlet es un aparato de laboratorio originalmente diseñado para la extracción de un lípido de una matriz sólida. Sin embargo, su uso no se limita a la extracción de lípidos. Típicamente, un extractor Soxhlet solo requiere que el compuesto deseado sea soluble en un disolvente que en la matriz que lo contiene y que esta matriz sea insoluble en dicho disolvente.

Figura 7. Equipo de extracción Soxhlet



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/file/>. Consulta: septiembre de 2013.

Funciona realizando una gran cantidad de extracciones sobre la muestra sólida, reciclando el disolvente y realizando estas a temperaturas altas. La alta temperatura y la gran cantidad de extracciones hacen que el método sea altamente efectivo, convirtiéndolo en la referencia de los otros métodos de extracción. Tiene la desventaja de tardarse mucho tiempo por cada ciclo, pero para ello se han implementado mejoras como microondas o extracción utilizando fluidos supercríticos, que disminuyen los tiempos de extracción manteniendo eficiencias similares.

Para llevar a cabo el proceso de extracción, la muestra es colocada dentro del cartucho poroso. Los cartuchos se fabrican de varios materiales, desde celulosa hasta cerámica (reusables). El cartucho se coloca en la cámara de extracción con la muestra dentro de él y se coloca un algodón en la parte superior para prevenir que el sólido rebalse y se salga del cartucho en caso de que flote en el disolvente. Este disolvente se coloca dentro del balón inferior y es calentado.

Los vapores ascienden por el balón, hacia el brazo de ascenso de vapores para luego inundar la cámara de extracción. El condensador no permite el escape de vapores hacia el ambiente, disminuyendo la temperatura de los vapores y provocando goteo de condensado encima del cartucho.

Lentamente, la cámara de extracción se llena de condensado tibio causando que comience a solubilizarse el soluto deseado. Cuando la cámara de extracción se llena hasta cierto nivel, la solución es transportada en el sifón de regreso al balón con disolvente. Esta operación se repite durante el tiempo necesario para extraer el soluto de la matriz, el cual puede ser horas o días.

Durante cada ciclo, una porción del compuesto menos volátil se disuelve en el disolvente. Luego de muchos ciclos, el compuesto deseado se encuentra concentrado en el balón. La ventaja de este método es que en lugar de disolver el compuesto en varias etapas de disolvente tibio, el disolvente se reutiliza durante toda la extracción. Por último, se remueve el disolvente para obtener el soluto puro. Esto se realiza por medio de un evaporador rotatorio. El sólido insoluble que queda en el cartucho, por lo general es descartado.

#### **2.4. Usos del aceite de macadamia**

El aceite de macadamia encuentra gran cantidad de usos debido a sus beneficios. A pesar de esto, su utilidad no es común debido al alto costo de sus nueces. Se encuentra generalmente en productos de alto perfil.

Puede utilizarse como aderezo para ensaladas, aceite para cocina (su alto punto de humeo lo hace una buena opción para cocinar), aceite para turrone y pasteles. Otro de los beneficios del aceite de macadamia es la reducción del colesterol en la sangre. Contiene antioxidantes y ácidos grasos insaturados que ayuda a mantener la salud del sistema circulatorio. Aplicar aceite de macadamia sobre las quemaduras y manchas en la piel acelera el proceso de sanación y provee de alivio en el área afectada.

También se ha utilizado en productos de belleza debido a su aceite. Este tiene propiedades muy beneficiosas para la piel siendo no solo una excelente fuente de hidratación sino también de vitaminas y antioxidantes, lo que da a la piel un aspecto radiante y más joven. También es muy utilizada en jabones, productos para el cabello, máscaras faciales y cremas.





### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Variables**

A continuación se describirán las variables dependientes e independientes que fueron de relevancia para la realización de la parte experimental.

##### **3.1.1. Variables independientes**

- Temperatura: durante todas las extracciones de aceite fijo se mantuvo una misma temperatura.
- Tiempo de extracción: durante las extracciones de aceite fijo, el tiempo de extracción se mantuvo constante asegurando que se agotara el aceite en la matriz.
- Tamaño de partícula de la muestra: este dato permaneció constante a lo largo de la extracción de aceite fijo de todas las muestras.
- Porcentaje de humedad de la muestra: la humedad de las nueces fue menor a 1,6 por ciento a lo largo de todas las extracciones de aceite fijo.
- Densidad: se midió para obtener la relación entre el peso y volumen del aceite fijo obtenido.

### 3.1.2. Variables dependientes

- Porcentaje de rendimiento extractivo: depende de la muestra de la que se extrajo el aceite fijo, si es lote completo, nueces sanas o nueces inmaduras.
- Volumen de aceite extraído: depende de la muestra de la que se extrae el aceite fijo, si es lote completo, nueces sanas o nueces inmaduras.
- Volumen de disolvente extractor: depende de la cantidad de muestra y el tamaño del equipo de extracción Soxhlet.
- Perfil de ácidos grasos: los porcentajes de ácidos grasos en el perfil dependen del aceite que se está analizando, mientras que el porcentaje presente de cada ácido graso depende de la calidad del aceite analizado.
- Índice de yodo: depende del grado de insaturación de los ácidos grasos.
- Índice de peróxidos: depende del grado de descomposición del aceite debido a la oxidación de los enlaces dobles de las grasas insaturadas.
- Índice de acidez: la cantidad de hidróxido de sodio necesaria para neutralizar el aceite depende de la concentración de ácidos grasos libres.
- Índice de saponificación: depende de la cantidad de hidróxido de potasio necesaria para saponificar un gramo de aceite.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

La extracción de aceite fijo se llevó a cabo solamente por medio del método de extracción Soxhlet. Se realizó un estudio previo para definir la temperatura y tiempo de extracción de aceite fijo de nuez de macadamia, definiendo también, el tamaño de partícula y el peso del disolvente para asegurar la uniformidad de todas las extracciones.

Las nueces de macadamia fueron muestreadas en su concha y estas provenientes solamente de siete fincas ubicadas en los municipios de El Palmar y Colomba Costa Cuca del departamento de Quetzaltenango y una finca ubicada en Alotenango, Sacatepéquez. Una vez separadas las muestras según tipo de nuez (lote completo, madura o inmadura) y procedencia se separó la concha del kernel y se almacenaron en empaques al vacío, los cuales fueron abiertos hasta el momento de análisis.

Tabla VII. Nivel altitudinal de las fincas muestreadas

<b>Finca</b>	<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>
Finca 1	1 400 m	Colomba Costa Cuca	Quetzaltenango
Finca 2	1 100-1 300 m	El Palmar	Quetzaltenango
Finca 3	1 600 m	Colomba Costa Cuca	Quetzaltenango
Finca 4	1 400 m	Colomba Costa Cuca	Quetzaltenango
Finca 5	1 500 m	Alotenango	Sacatepéquez
Finca 6	850 m	El Palmar	Quetzaltenango
Finca 7	900-1 300 m	El Palmar	Quetzaltenango
Finca 8	1 000-1 200 m	El Palmar	Quetzaltenango

Fuente: elaboración propia.

De todos los defectos de la nuez de macadamia descritos en el *Manual de Aseguramiento de Calidad de la Sociedad Australiana de Macadamia*<sup>16</sup>, solamente se analizaron las que presentaban inmadurez o decoloración, siempre y cuando esta última no se deba a daño por moho o insecto en el kernel. Las nueces fueron elegidas antes de ser almacenadas en empaques al vacío.

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

- Investigador: Br. Ana María Santizo Recinos
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
- Coasesor: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Colaboradores Licda. Amalia Guzmán

### **3.4. Recursos materiales**

- Cristalería de laboratorio
  - Balones KIMAX 45/50
  - Condensadores de bolas KIMAX 45/50
  - Extractores Soxhlet KIMAX 45/50
  - Fráscos ámbar de 120 mL
  - Balones aforados de fondo plano
  - Beakers
  - Picnómetro de 1 mL
  - Pipetas serológicas
  - Pipetas volumétricas
  - Probetas

---

<sup>16</sup> Australian Macadamia Society, 2001.

- Varillas de agitación
- Otros materiales
  - Dedales de celulosa
  - Guantes de látex
  - Algodón
  - Criba de bronce mesh no. 4
  - Mangueras plásticas
  - Bomba de agua de 110V
  - Empaques de aluminio sellados al vacío
  - Soporte
  - Pinzas
- Equipo
  - Rotoevaporador BUCHI 45/50
  - Planchas de calentamiento VWR
  - Campana de extracción de gases
  - Balanza analítica VWR
  - Cromatografo de gases con espectrómetro de masas acoplado
  - Balanza de humedad METTLER TOLEDO
  - Desconchador manual
- Reactivos
  - N-hexano
  - Ácido clorhídrico
  - Ácido acético

- Agua destilada
- Almidón
- Hidróxido de potasio
- Solución de Wijs
- Etanol
- Fenolftaleína
- Solución de yodo a 0,1 N
- Solución de tiosulfato de sodio a 0,1 N
- Yoduro de potasio
- Cloroformo

### **3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa**

Se utilizó una combinación de técnica cualitativa y cuantitativa. La cualitativa se usó en la clasificación de nueces de macadamia entre sanas e inmaduras. Esta separación se llevó a cabo de forma manual, realizándose antes de almacenarlas al vacío para mantener la humedad deseada en las nueces, con base a las especificaciones de la Australian Macadamia Society.

La técnica cuantitativa se utilizó para el rendimiento de extracción de aceite fijo, comparación entre la cantidad de aceite presente en las nueces maduras e inmaduras, en la cuantificación de las propiedades físicas del aceite, determinación de los índices de calidad y el perfil de ácidos grasos.

El rendimiento de extracción de aceite fijo se realizó en todas las muestras después de haber llevado a cabo un estudio preliminar en donde se determinó que el tiempo óptimo de extracción, utilizando n-hexano como disolvente, es de 12 horas a un tamaño de partícula de 4,75 mm y a una temperatura de 170 °C.

Al concluir el tiempo de extracción, se separó el aceite fijo del disolvente utilizando un equipo de rotoevaporación.

Los métodos utilizados para la medición de índices de calidad fueron los descritos por la AOAC, siendo estos específicamente el método 993,20 para índice de yodo que consiste en una titulación con tiosulfato de sodio como titulante, indicador de almidón y solución de Wijs como titulado, método AOCS cd 3-25 para índice de saponificación en donde se saponifica el aceite y se detecta el hidróxido excedente por titulación con ácido clorhídrico e indicador fenolftaleína.

El método 940,28 es el descrito para cuantificación de ácidos grasos libres y consiste en una titulación ácido-base con fenolftaleína como indicador, método 965,33 para índice de peróxidos y consiste en una titulación con tiosulfato de sodio como titulante, indicador de almidón y yoduro de potasio como titulado y finalmente las mediciones de índice de refracción se basaron en el método 921,08.

El perfil de ácidos grasos se obtuvo de un cromatógrafo de gases con espectrómetro de masas acoplado. Al ser un aceite fijo, es poco volátil, así que se tuvo que derivatizar el mismo antes de analizarse para evitar la descomposición de ácidos grasos por las altas temperaturas que se requerirían.

La derivatización, en el caso de los ácidos grasos, es la descomposición de los triglicéridos a ácidos grasos libres por medio de hidrólisis, y posteriormente su metilación para formar el metilester correspondiente del ácido graso, el cual es mucho más volátil y permite evaporarlo a temperaturas menores y que la estructura molecular quede intacta.



### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

A continuación se detalla la técnica de muestreo, ordenamiento de muestras, clasificación de muestras, y preparación de las mismas.

#### **3.6.1. Técnica de muestreo**

Las muestras se recolectaron de sacos de nueces de macadamia en su concha cosechadas entre los meses de enero y febrero. Se muestrearon varios lotes hasta obtener 500 gramos de kernel por cada finca a analizar. Las muestras tomadas de los sacos se tomaron del fondo, medio y superficie del mismo y se mezclaron los diferentes lotes de cada finca. De esa mezcla, se clasificaron las nueces en sanas, inmaduras y lote completo.

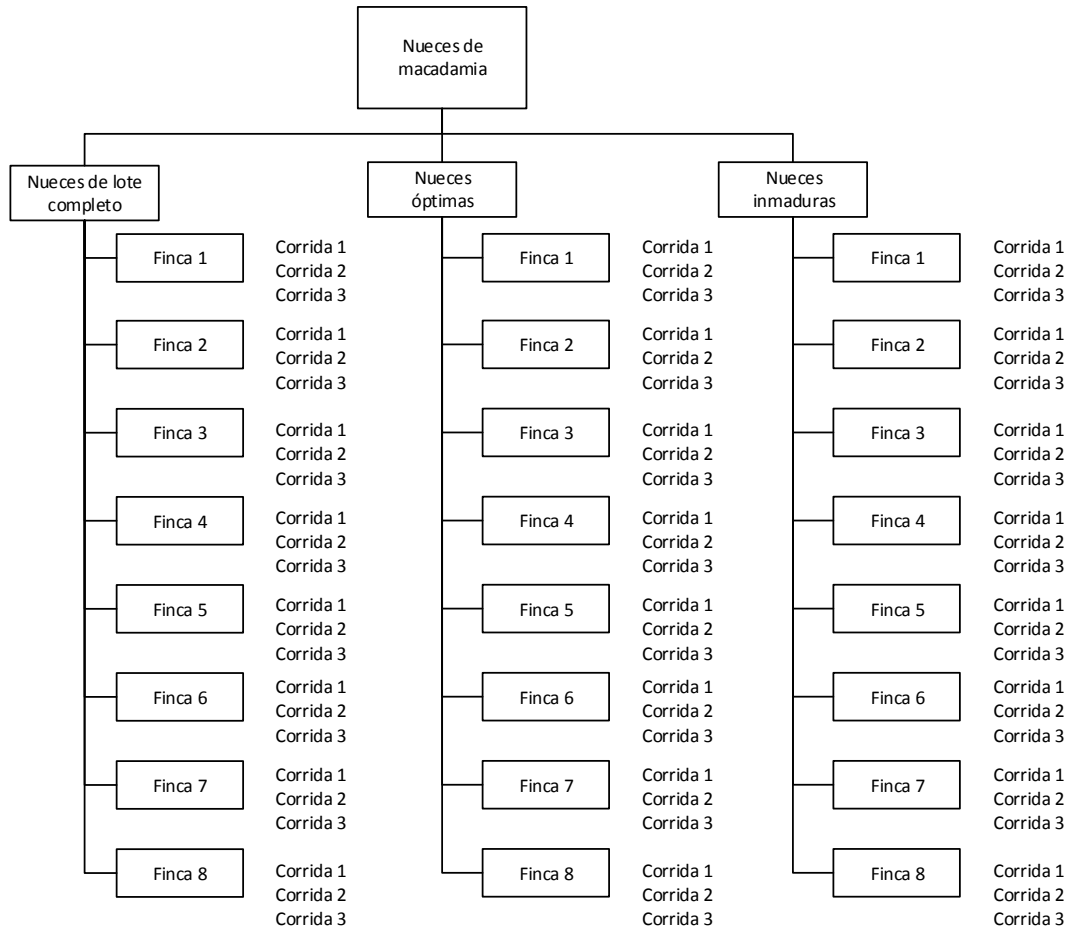
#### **3.6.2. Ordenamiento de muestras**

Las muestras representativas se clasificaron en tres subgrupos:

- Lote completo
- Nueces maduras
- Nueces inmaduras

Las muestras que representan el lote completo contienen kernel inmaduro y maduro. Se extrajo de esta manera, con el fin de cuantificar la cantidad neta de aceite fijo y así observar el efecto neto del porcentaje de nueces inmaduras sobre la cantidad global de aceite fijo para la finca analizada. Para cada tipo de submuestra correspondiente a cada una de las ocho fincas a analizar se realizaron tres corridas. Es de importancia mencionar que, cuando se encontraron nueces afectadas por insecto o moho estas fueron descartadas.

Figura 8. Clasificación de muestras de nueces de macadamia



Fuente: elaboración propia.

### 3.6.3. Preparación de muestras

Las muestras provenientes de las fincas se recolectaron dentro de su concha, a la humedad de almacenamiento en bodega. El kernel se separó de la concha mediante el quebrador, se separaron los tres subgrupos de muestras a analizar mediante la prueba de flote en el caso de las nueces maduras e inmaduras.

La prueba de flote consistió en dejar caer las nueces en un recipiente hondo que contenga agua del grifo y funciona basado en la cantidad de aceite contenido en el kernel. Si estas son maduras, tienen suficiente aceite como para hacer que el kernel flote y si son inmaduras, su mismo peso hace que se hundan.

Luego de clasificarse, se secaron a 60 °C hasta que tuvieran una humedad menor al 1,6 % y se empacaron al vacío. Justo antes de cada extracción cada muestra fue molida utilizando mortero y pistilo para luego tamizar manteniendo un tamaño de partícula uniforme de 4,75 mm en todas las extracciones.

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

La información se ordenó y recolectó de la siguiente manera:

- Estudio preliminar
  - Datos disolvente
  - Datos nueces de macadamia
  - Valores de tiempo de extracción

Tabla VIII. **Datos del disolvente**

<b>Líquido extractor</b>	<b>n-hexano</b>	
<b>Densidad</b>	0,66	g/mL
<b>Ebullición</b>	69	°C

Fuente: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/13hexano.pdf>. Consulta: agosto de 2013.

Tabla IX. **Datos nueces de macadamia**

<b>Tamaño de partícula</b>	4,75	mm
<b>Descomposición aceite</b>	180	°C
<b>Temperatura de extracción</b>	170	°C
<b>Humedad</b>	0,7 – 1,55	%

Fuente: elaboración propia y Australian Macadamia Society. *The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook*. p. 40.

Tabla X. **Valores de tiempo de extracción**

<b>Tiempo de extracción (h)</b>	<b>Rendimiento %</b>
3	48,86
3	45,76
8	56,72
8	56,82
9	62,74
9	62,03
10	54,99
10	58,53
12	61,24
12	60,93

Fuente: elaboración propia.

- Rendimiento
  - Muestras lote completo
  - Muestras nueces maduras
  - Muestras nueces inmaduras

Tabla XI. Rendimiento muestras de lote completo

Finca	Peso aceite extraído (g)	Peso de muestra (g)	Rendimiento de aceite (%)
1	11,40	20,41	55,85
	11,31	20,06	56,38
	11,75	20,68	56,82
2	12,43	20,66	60,16
	11,68	20,51	56,95
	11,57	20,32	56,94
3	11,83	20,15	58,71
	12,28	20,48	59,96
	11,02	20,24	54,45
4	12,02	20,73	57,98
	12,00	20,08	59,76
	11,84	20,55	57,62
5	11,59	20,10	57,66
	11,29	20,21	55,86
	11,55	20,33	56,81
6	12,04	20,42	58,96
	11,46	20,44	56,07
	11,58	20,45	56,63
7	11,28	20,56	54,86
	12,10	20,07	60,29
	11,48	20,26	56,66
8	12,07	20,18	59,81
	11,47	20,42	56,17
	12,23	20,63	59,28

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Rendimiento nueces maduras

<b>Finca</b>	<b>Peso aceite extraído (g)</b>	<b>Peso de muestra (g)</b>	<b>Rendimiento de aceite (%)</b>
1	11,73	20,53	57,14
	11,96	20,33	58,83
	11,59	20,29	57,12
2	13,01	20,48	63,53
	11,29	20,23	55,81
	11,71	20,84	56,19
3	12,72	20,34	62,54
	12,07	20,22	59,69
	11,44	20,6	55,53
4	11,53	20,02	57,59
	12,15	20,75	58,55
	11,89	20,35	58,43
5	11,84	20,11	58,88
	12,46	20,04	62,17
	11,99	20,36	58,90
6	12,19	20,18	60,41
	11,97	20,39	58,70
	12,35	20,31	60,81
7	10,92	20,20	54,41
	10,90	20,09	54,26
	12,19	20,19	60,38
8	12,21	20,26	60,27
	11,96	20,08	59,56
	11,46	20,20	56,73

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Rendimiento muestras nueces inmaduras

Finca	Peso aceite extraído (g)	Peso de muestra (g)	Rendimiento de aceite (%)
1	9,15	20,38	44,89
	10,42	20,32	51,28
	10,87	20,07	54,16
2	10,06	20,37	49,39
	10,37	20,16	51,44
	9,80	20,08	48,80
3	10,22	20,14	50,74
	9,58	20,04	47,80
	9,83	20,31	48,39
4	11,19	20,01	55,92
	10,88	20,97	51,88
	11,00	20,23	54,37
5	9,48	20,11	47,14
	10,12	20,17	50,17
	10,10	20,04	50,39
6	10,44	20,34	51,33
	10,24	20,10	50,95
	10,74	20,43	52,57
7	9,70	20,18	48,07
	10,36	20,37	50,86
	9,74	20,03	48,63
8	9,92	20,05	49,48
	9,64	20,52	46,98
	9,83	20,26	48,52

Fuente: elaboración propia.

- Índices de calidad
  - De yodo
  - De saponificación
  - De acidez
  - De peróxidos

Tabla XIV. Índice de yodo

<b>Nueces maduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de yodo
1	0,3297	42,55	24,10	71,02
2	0,3351		23,10	73,66
3	0,3340		22,55	75,99
<b>Nueces inmaduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de yodo
1	0,3405	42,55	23,20	72,49
2	0,3224		24,50	71,41
3	0,3292		23,05	75,56

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Índice de saponificación

<b>Nueces maduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de saponificación
1	5,0230	54	24,80	163,83
2	5,0302		23,80	169,20
3	5,0094		26,05	157,25
<b>Nueces inmaduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de saponificación
1	5,0015	54	24,75	164,82
2	5,0197		24,60	165,07
3	5,0176		24,10	167,94

Fuente: elaboración propia.



Tabla XVI. Índice de acidez

<b>Nueces maduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de acidez
1	7,0573	0,1	0,20	0,20
2	7,0575		0,23	0,26
3	7,0588		0,30	0,40
<b>Nueces inmaduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de acidez
1	7,0904	0,1	0,25	0,30
2	7,0602		0,20	0,20
3	7,0502		0,25	0,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Índice de peróxidos

<b>Nueces maduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de peróxidos
1	5,0176	0,05	0,90	1,69
2	5,0124		1,30	2,49
3	5,0358		0,80	1,49
<b>Nueces inmaduras</b>				
Muestra	Peso muestra (g)	Blanco (ml)	Muestra (ml)	Índice de peróxidos
1	5,0177	0,05	1,00	1,89
2	5,0097		1,80	3,49
3	5,0481		1,00	1,88

Fuente: elaboración propia.

- Propiedades físicas
  - Índice de refracción
  - Densidad del aceite

Tabla XVIII. **Índice de refracción**

Muestra	Nueces maduras	Nueces inmaduras
1	1,462	1,462
2	1,464	1,464
3	1,463	1,463

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Densidad del aceite**

Volumen de picnómetro	1 ml	Peso de picnómetro	3,1592	g
Muestra	Nueces maduras (g)	Densidad nueces maduras (g/mL)	Nueces inmaduras (g)	Densidad nueces inmaduras (g/mL)
1	4,1236	0,9644	4,1257	0,9665
2	4,1253	0,9661	4,1244	0,9652
3	4,1291	0,9699	4,1283	0,9691

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

- Precisión

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

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

Tabla XX. **Precisión mediciones de rendimiento de nueces inmaduras**

<b>Finca</b>	<b>Corridas</b>	<b>Media</b>	<b><math>C_v</math></b>
7	48,07 %	49,18 %	3,003
	50,86 %		
	48,63 %		
2	49,39 %	49,88 %	2,774
	51,44 %		
	48,80 %		
1	44,90 %	50,11 %	9,460
	51,28 %		
	54,16 %		
6	51,33 %	51,61 %	1,646
	50,95 %		
	52,57 %		
4	55,92 %	54,06 %	3,769
	51,88 %		
	54,37 %		
5	47,14 %	49,24 %	3,696
	50,17 %		
	50,40 %		
3	50,74 %	48,98 %	3,174
	47,80 %		
	48,40 %		
8	49,48 %	48,32 %	2,608
	46,98 %		
	48,52 %		

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

Tabla XXI. **Precisión de rendimiento de nueces de lote completo**

<b>Finca</b>	<b>Corridas</b>	<b>Media</b>	<b><math>C_v</math></b>
7	54,86 %	57,27 %	4,82
	60,29 %		
	56,66 %		
2	60,16 %	58,02%	3,21
	56,95 %		
	56,94 %		
1	55,85 %	56,35 %	0,86
	56,38 %		
	56,82 %		
6	58,96 %	57,22 %	2,68
	56,07 %		
	56,63 %		
4	57,98 %	58,45 %	1,96
	59,76 %		
	57,62 %		
5	57,66 %	56,78 %	1,58
	55,86 %		
	56,81 %		
3	58,71 %	57,71 %	5,01
	59,96 %		
	54,45 %		
8	59,81 %	58,42 %	3,37
	56,17 %		
	59,28 %		

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

Tabla XXII. **Precisión mediciones de rendimiento de nueces maduras**

<b>Finca</b>	<b>Corridas</b>	<b>Media</b>	<b><math>C_v</math></b>
7	54,06 %	56,23 %	6,388
	54,26 %		
	60,38 %		
2	63,53 %	58,51 %	7,434
	55,81 %		
	56,19 %		
1	57,14 %	57,70 %	1,702
	58,83 %		
	57,12 %		
6	60,41 %	59,97 %	1,861
	58,71 %		
	60,81 %		
4	57,59 %	58,19 %	0,898
	58,55 %		
	58,43 %		
5	58,88 %	59,98 %	3,169
	62,18 %		
	58,89 %		
3	62,54 %	59,25 %	5,944
	59,69 %		
	55,53 %		
8	60,27 %	58,85 %	3,178
	59,56 %		
	56,73 %		

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

- Exactitud

Se evaluó la exactitud de los datos de tres maneras diferentes:

- Datos físicos e índices de calidad

Se utilizó el procedimiento de comparación de una media experimental con un valor conocido con una confiabilidad del 95 %. El procedimiento consistió en aplicar la siguiente ecuación y luego comparar el resultado con el valor correspondiente en la figura 14. Si el valor calculado es menor al valor en la tabla, entonces no existe diferencia significativa entre la media y el valor conocido. Los valores teóricos que se utilizarán provienen del *Macadamia Industry Quality Assurance Handbook (Manual de Aseguramiento de Calidad de Industria de Macadamia)*.

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu)\sqrt{n}}{s} \quad [\text{Ecuación No. 2}]$$

Tabla XXIII. **Exactitud índice de acidez nueces inmaduras**

Índice de acidez	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
0,297	0,265	0,057	0,300	-0,252	4,3
0,199					CONFIABLE
0,299					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14. *The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook*. p. 40 y tabla XVI.

Tabla XXIV. **Exactitud índice de acidez nueces maduras**

Índice de acidez	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
0,199	0,285	0,102	0,300	-0,079	4,3
0,259					CONFIABLE
0,398					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XVI.

Tabla XXV. **Exactitud índice de peróxidos nueces inmaduras**

Índice de peróxidos	Media	Desviación estándar	Dato teórico	T	t de Student
1,894	2,423	0,927	3,500	-1,937	4,3
3,494					CONFIABLE
1,882					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XVII.

Tabla XXVI. **Exactitud índice de peróxidos nueces maduras**

Índice de peróxidos	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
1,694	1,893	0,531	3,500	-3,821	4,3
2,494					CONFIABLE
1,490					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p.40 y tabla XVII.

Tabla XXVII. **Exactitud índice de yodo nueces inmaduras**

Índice de yodo	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
72,488	73,153	2,150	75,000	-2,181	4,3
71,414					CONFIABLE
75,558					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XIV.

Tabla XXVIII. **Exactitud índice de yodo nueces maduras**

Índice de yodo	Media	Desviación estándar	Dato teórico	T	t de Student
71,021	73,561	2,489	75,000	-1,580	4,3
73,664					CONFIABLE
75,997					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XIV.

Tabla XXIX. **Exactitud índice de saponificación nueces inmaduras**

Índice de saponificación	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
164,821	165,944	1,736	190,000	-31,622	4,3
165,066					CONFIABLE
167,944					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XV.



Tabla XXX. **Exactitud índice de saponificación nueces maduras**

Índice de saponificación	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
163,835	163,429	5,988	190,000	-18,807	4,3
169,204					CONFIABLE AL 95 %
157,248					

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XV,

Tabla XXXI. **Exactitud densidad nueces inmaduras**

Densidad	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
0,967	0,967	0,002	0,930	1,436	4,3
0,965					CONFIABLE AL 95 %
0,969					

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XIX.

Tabla XXXII. **Exactitud densidad nueces maduras**

Densidad	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
0,964	0,967	0,003	0,930	1,201	4,3
0,966					CONFIABLE AL 95 %
0,970					

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XIX.

Tabla XXXIII. **Exactitud índice de refracción nueces inmaduras**

Índice de refracción	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
1,462	1,463	0,001	1,466	-0,164	4,3
1,464					CONFIABLE
1,463					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p.40 y tabla XVIII.

Tabla XXXIV. **Exactitud índice de refracción nueces maduras**

Índice de refracción	Media	Desviación estándar	Dato teórico	t	t de Student
1,462	1,463	0,001	1,466	-0,164	4,3
1,464					CONFIABLE
1,463					AL 95 %

Fuente: elaboración propia, con base a la figura 14, The Macadamia Industry Quality Assurance Handbook p. 40 y tabla XVIII.

Los datos de rendimiento de extracción de aceite se analizaron por medio de análisis de varianza para comprobar las hipótesis nula y alternativa planteadas. El análisis de varianza se utilizó como método de comparación múltiple propuesto por Tukey a nivel de significación 0,10. El procedimiento de análisis de varianza es el siguiente:

- La variación dentro de la muestra se calcula utilizando la ecuación de cuadrados medios:

$$s_2^2 = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 / h(n - 1) \quad [\text{Ecuación No. 3}]$$

- Se calculará la variación entre muestras por medio una estimación de la varianza de la media muestral

$$s_1^2 = n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 / (h - 1) \quad [\text{Ecuación No. 4}]$$

- Si la hipótesis nula es correcta, la variación entre ambas estimaciones de  $\sigma_0^2$  no debería ser significativa. Esto se comprueba mediante una prueba F de una cola.

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad [\text{Ecuación No. 5}]$$

En donde los valores de  $s_1^2$  y  $s_2^2$  se disponen de tal forma que sea siempre  $F > 1$ . Si la relación es mayor al valor de F obtenido de la tabla 22 significa que las medias muestrales difieren en forma significativa y se rechaza la hipótesis nula.

Tabla XXXV. **Resultados análisis de varianza para comprobación de hipótesis**

<b>Análisis de la varianza</b>					
<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>	
Rendimiento	48	0.75	0.74	4.61	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0.08	1	0.08	134.82	<0.0001
MUESTRA	0.08	1	0.08	134.82	<0.0001
Error	0.03	46	6.3E-04		
Total	0.11	47			
<b>Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01458</b>					
Error: 0.0006 gl: 46					
<u>MUESTRA</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
Inmaduras	0.50	24	0.01	A	
Maduras	0.59	24	0.01	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Fuente: elaboración propia, tabla obtenida de Infostat.

Tabla XXXVI. **Resultados de análisis de varianza para comprobación del efecto de la altura de la finca sobre la cantidad de aceite fijo en las muestras de lote completo**

Corrida LC					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Corrida LC	24	0.17	0.00	3.31	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.2E-03	7	1.7E-04	0.47	0.8448
Finca	1.2E-03	7	1.7E-04	0.47	0.8448
Error	0.01	16	3.6E-04		
Total	0.01	23			
Test: Tukey Alfa=0.10 DMS=0.04793					
Error: 0.0004 gl: 16					
Finca	Medias	n	E.E.		
3.00	0.56	3	0.01	A	
6.00	0.57	3	0.01	A	
4.00	0.57	3	0.01	A	
1.00	0.57	3	0.01	A	
7.00	0.58	3	0.01	A	
2.00	0.58	3	0.01	A	
8.00	0.58	3	0.01	A	
5.00	0.59	3	0.01	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.10)					

Fuente: elaboración propia, tabla obtenida de Infostat.

## 4. RESULTADOS

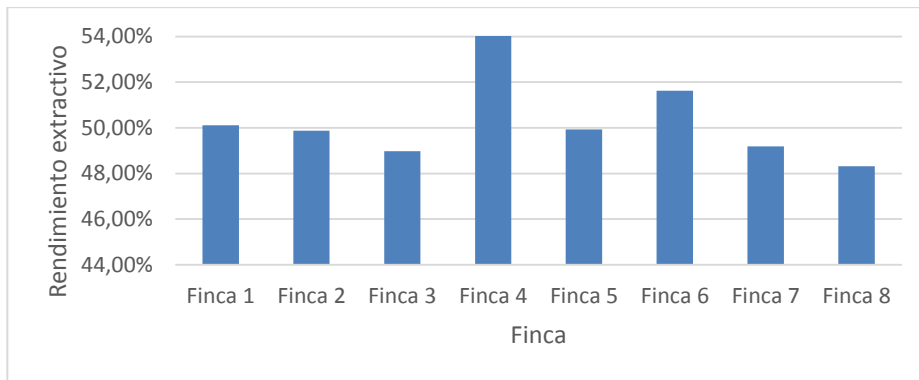
A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla XXXVII. **Rendimiento extractivo del aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) obtenido de nueces recolectadas de ocho fincas distintas**

Procedencia	MSNM	Inmadura %	$\sigma$	Lote completo %	$\sigma$	Madura %	$\sigma$
<b>Finca 1</b>	1 400	50,112	0,047	56,351	0,005	57,696	0,010
<b>Finca 2</b>	1 100-1 300	49,877	0,014	58,017	0,019	58,508	0,043
<b>Finca 3</b>	1 600	48,983	0,016	57,706	0,029	59,255	0,035
<b>Finca 4</b>	1 400	54,060	0,020	58,453	0,011	58,191	0,005
<b>Finca 5</b>	1 500	49,238	0,018	56,779	0,009	59,981	0,019
<b>Finca 6</b>	850	51,614	0,008	57,218	0,015	59,973	0,011
<b>Finca 7</b>	900-1 300	49,185	0,015	57,272	0,028	56,231	0,036
<b>Finca 8</b>	1 000-1 200	48,325	0,013	58,422	0,020	58,854	0,019

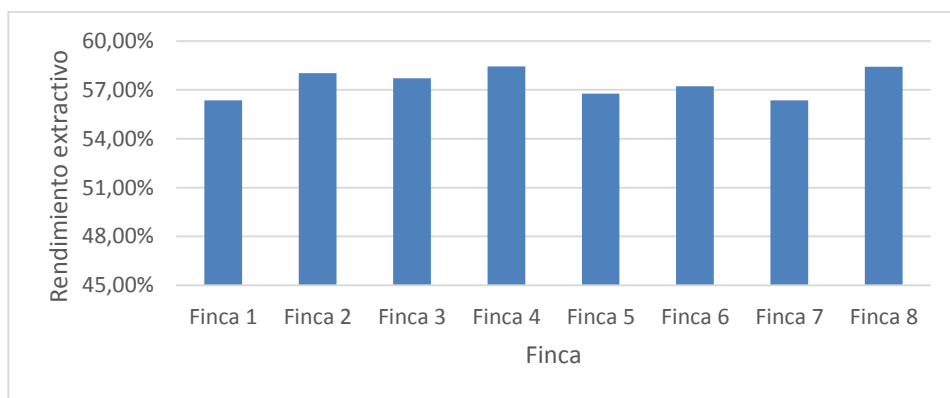
Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XI, XII y XIII.

Figura 9. **Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) obtenido de nueces inmaduras**



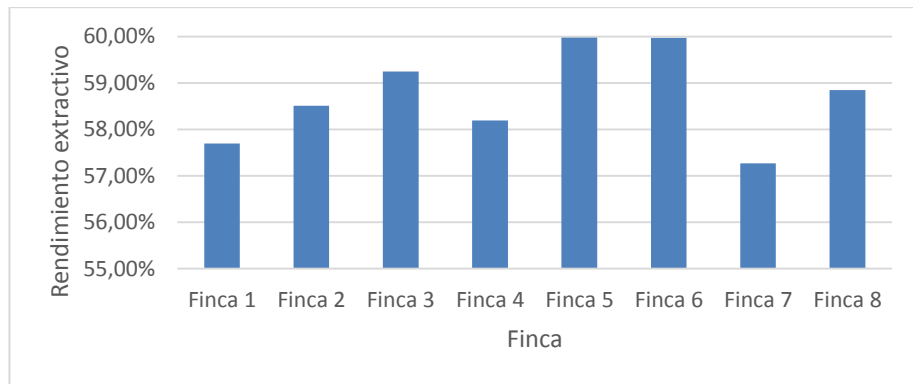
Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXIII.

Figura 10. **Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) obtenido de muestras de tipo lote completo**



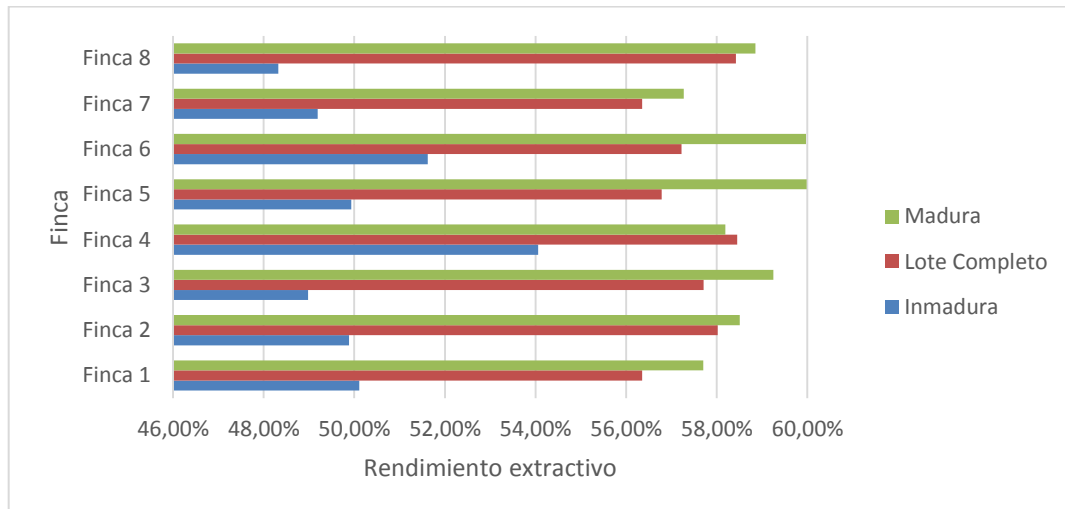
Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXIII.

Figura 11. **Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) obtenido de nueces maduras**



Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXIII.

Figura 12. **Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*)**



Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XXIII.



Tabla XXXVIII. **Comparación de propiedades físicas del aceite fijo extraído de todas las fincas de nueces maduras con las de nueces inmaduras**

Medición	Nueces maduras	$\sigma$	Nueces inmaduras	$\sigma$
Índice de refracción	1,463	0,001	1,463	0,001
Densidad (g/mL)	0,967	0,003	0,967	0,002

Fuente: elaboración propia, con base a la tabla XIX.

Tabla XXXIX. **Comparación de índices de calidad de aceite fijo extraído de todas las fincas de nueces maduras con los de nueces inmaduras**

Medición	Nueces maduras	$\sigma$	Nueces inmaduras	$\sigma$
Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	0,285	0,102	0,265	0,057
Índice de peróxidos (meq/kg aceite)	1,893	0,531	2,423	0,927
Índice de yodo	73,561	2,489	73,153	2,150
Índice de saponificación	163,430	5,988	165,940	1,736

Fuente: elaboración propia, con base a las tablas XIV, XV, XVI y XVII.

Tabla XL. **Perfil de ácidos grasos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) de nueces inmaduras de todas las fincas**

Área %	Éster metílico de ácido graso	Ácido graso
55,700	Ácido cis-9-octadecenoico, metil éster	Oleico
20,220	Ácido delta-9-cis-hexadecénico, metil éster	Palmitoleico
9,620	Ácido hexadecanoico metil éster	Palmítico
3,340	Ácido heptadecanoico, 16-methyl-, metil éster	Margárico
3,280	Ácido eicosanoico, metil éster	Araquídico
2,890	Ácido 11-eicosenoico, metil éster	Eicosenoico
2,460	Ácido 9,12-octadecadienoico, metil éster	Linolénico
1,170	Metil tetradecanoato	Mirístico
1,330	Otros compuestos	

Fuente: elaboración propia, con base a las figuras 15 a 16.

Tabla XLI. **Perfil de ácidos grasos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) de nueces maduras de todas las fincas**

Área %	Ester metílico de ácido graso	Ácido graso
59,490	Ácido cis-9-octadecenoico, metil ester	Oleico
17,830	Ácido delta-9-cis-hexadecénico, metil ester	Palmitoleico
9,610	Ácido hexadecanoico metil ester	Palmítico
3,750	Ácido octadecanoico, metil éster	Esteárico
3,320	Ácido eicosanoico, metil éster	Araquídico
2,780	Ácido 11-eicosenoico, metil éster	Eicosenoico
2,110	Ácido 9,12-octadecadienoico, metil éster	Linolénico
1,110	Metil tetradecanoato	Mirístico

Fuente: elaboración propia, con base a figuras 17 a 19.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo general evaluar el rendimiento de extracción y caracterización de 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 la tabla XXIII: Rendimiento extractivo del aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) obtenido de nueces recolectadas de ocho fincas distintas, se encuentran los rendimientos de aceite fijo de macadamia para cada tipo de muestra. Se ilustran estos mismos resultados en la figura 13: Comparación de rendimientos extractivos de aceite fijo, donde se puede observar la comparación gráfica de los datos de la tabla XXIII.

Para todas las fincas existe una diferencia entre la cantidad de aceite fijo extraído de nueces maduras contra el de nueces inmaduras. La severidad de esta diferencia depende del grado de inmadurez de la nuez. En las fincas 3, 5 y 8 esta diferencia es del 10 por ciento mientras que en las fincas 1, 2, 6 y 7 se encuentra entre el 7 y 8 por ciento. Se distinguen las nueces inmaduras de la finca 4 porque presentan una diferencia de solo el 4 por ciento, mostrando que las nueces de esta finca, clasificadas como inmaduras por la prueba de flote se contenían ya gran parte del aceite.

La finca 4 presentó un mayor porcentaje de aceite en la muestra de lote completo que en las nueces maduras. Esto puede atribuirse a aleatoriedad estadística e interpretar que las muestras de lote completo y nueces maduras contienen la misma cantidad de aceite. En cambio, en las fincas 5 y 6 hay una diferencia del 3,20 y 2,75 por ciento entre los rendimientos de nueces maduras y de lote completo, indicando que estas fincas en particular tienen una menor cantidad de aceite. La diferencia de rendimientos entre maduras e inmaduras para esas dos fincas es de 10,05 y 8,35 por ciento, respectivamente, lo cual lleva a pensar que el porcentaje de nueces inmaduras, en este caso, podría tener influencia sobre el rendimiento del lote completo.

En la comparación de las propiedades físicas e índices de calidad del aceite, los valores establecidos por la Sociedad Australiana de Macadamia provienen de aceite extraído en frío, es decir, por métodos extractivos a temperatura ambiente. El aceite extraído para realizar los análisis del presente trabajo se expuso a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo. A esto se atribuye que los resultados de los índices de calidad obtenidos no sean iguales a los de la bibliografía, pero aun así, algunos índices sí se encuentran dentro de los rangos de la especificación correspondiente.

Las propiedades físicas, densidad e índice de refracción, no se encuentran dentro del rango establecido por el *Manual de Aseguramiento de Calidad de la Sociedad Australiana de Macadamia*, lo que indica que el aceite no se está en estado puro. Se presume que aún quedan trazas del disolvente o sólidos suspendidos y, que este requeriría mayor refinamiento, para cumplir con los índices de calidad.

Los índices que se mantuvieron dentro del rango establecido por el *Manual de Aseguramiento de Calidad de la Sociedad Australiana de Macadamia* tanto en las nueces maduras como en las inmaduras fueron los índices de peróxidos y acidez. El índice de acidez mide los ácidos grasos libres presentes en la grasa. Esto significa que “la temperatura de extracción no fue suficiente para provocar enranciamiento hidrolítico o rancidez oxidativa”<sup>17</sup>. Se dio una variación de 0,03 mg KOH/g aceite en el índice de acidez, lo que representa una diferencia del 7,62 % con respecto al valor mínimo. El aceite proveniente de nueces maduras tiene una concentración de ácidos grasos libres mayor, pero aun así cumple con los requerimientos de calidad australianos.

El índice de peróxidos expresa el grado de oxidación o de descomposición de las moléculas debido a la oxidación de los enlaces dobles de las grasas insaturadas. Se define como la cantidad de yodo liberada del yoduro de potasio por peróxidos. “En las primeras etapas de la rancidez oxidativa se producen diversos peróxidos que modifican las propiedades sensoriales de la grasa, por lo que la prueba del índice de peróxido sólo es representativa en las primeras etapas de la oxidación de grasas”<sup>18</sup>. Hay una diferencia de 0,53 meq/kg aceite, lo que representa una diferencia del 28,03 % entre el índice de peróxidos de las nueces inmaduras con las nueces maduras. Al igual que en el índice de acidez, ambos valores se encuentran por debajo del límite de 3,5 meq/kg aceite establecido por la Sociedad Australiana de Macadamia.

---

<sup>17</sup> Potter, 1978.

<sup>18</sup> Ibid.

Los índices restantes resultaron en valores más bajos que los de la referencia. El índice de yodo indica el grado de insaturación de los ácidos grasos, mientras que el índice de saponificación expresa el peso molecular medio de los ácidos grasos. Los resultados menores no significan que estén completamente ausentes los ácidos grasos característicos del aceite de macadamia, sino que están en una proporción distinta que la esperada para cumplir con los índices de calidad. El valor mayor obtenido en índice de yodo se encuentra a un 1,92 % menor que el valor de la referencia mientras que el índice de saponificación a un 12,66 % menos.

En las tabla XL: Perfil de ácidos grasos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) de nueces inmaduras de todas las fincas, se enumeran los cinco ácidos grasos en las nueces inmaduras que son oleico, palmitoleico, palmítico, margárico, araquídico, eicosenoico, linolénico y mirístico y en la tabla XLI: Perfil de ácidos grasos de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) de nueces maduras de todas las fincas, se indica que los ácidos grasos presentes en las nueces maduras son oleico, palmitoléico, palmítico, esteárico, araquídico, eicosenoico, linolénico y mirístico. El que se encuentran en las nueces inmaduras que no está presente en las nueces maduras es el ácido margárico, mientras que en las nueces maduras se encuentra el ácido esteárico que no se encuentra en las nueces inmaduras.

Los ácidos grasos que se encuentran tanto en nueces inmaduras como maduras en los porcentajes más altos son oleico que se encuentra en un 55,70 % en nueces inmaduras y en un 59,49 % en nueces maduras, palmitoléico en un 20,22 % en nueces inmaduras y 17,83 % en nueces maduras y palmítico en un 9,62 % en nueces inmaduras y un 9,61 % en nueces maduras.

En la comprobación de hipótesis por medio de ANOVA se determinó que sí existe diferencia significativa entre la cantidad de aceite extraído de nueces inmaduras con la cantidad extraída de nueces maduras. Esto indica que las nueces clasificadas como inmaduras aún no contienen parte del aceite que contienen las maduras. Se descartó la posibilidad que la diferencia fuera por la altura a la que se localiza la finca, realizando un análisis de varianza de las nueces de lote completo por finca.





## CONCLUSIONES

1. Los rendimientos de las nueces maduras varían entre el 59,98 y 57,27 por ciento, los de las nueces de lote completo entre 58,35 y 56,35 por ciento y de las nueces inmaduras de 48,32 y 54,06 por ciento.
2. Los rendimientos de las nueces maduras son en promedio un 8,45 por ciento mayor que los rendimientos obtenidos de las nueces inmaduras.
3. Los rendimientos de las nueces de lote completo son en promedio un 7,15 por ciento mayor que los rendimientos de las nueces inmaduras.
4. Los valores de índice de refracción y la densidad del aceite fijo de macadamia son iguales para las nueces maduras e inmaduras siendo estos de 1,46 y 0,97 g/ml, respectivamente.
5. Los índices de calidad obtenidos en las nueces maduras fueron de 0,29 mg KOH/g aceite en índice de acidez, 1,89 mmeq/kg aceite en índice de peróxidos, 73,56 en índice de yodo y 163,43 en índice de saponificación.
6. Los índices de calidad obtenidos en las nueces inmaduras fueron de 0,27 mg KOH/g en índice de acidez, 2,42 mmeq/kg aceite en índice de peróxidos, 73,15 en índice de yodo y 165,94 en índice de saponificación.

7. Existe diferencia estadística significativa al 5 por ciento de confianza, entre el rendimiento de aceite fijo obtenido de nueces maduras y el rendimiento de nueces inmaduras, por lo tanto, el grado de madurez de la nuez tiene incidencia sobre la cantidad de aceite obtenido.
8. Los ácidos grasos mayoritarios presentes en las nueces maduras y en las nueces inmaduras son oleico al 59,49 por ciento en nueces maduras y 55,70 por ciento en nueces inmaduras, palmitoleico al 17,8 por ciento 3 en nueces maduras y 20,22 por ciento en nueces inmaduras y palmítico al 9,61 por ciento en nueces maduras y 9,62 por ciento en nueces inmaduras.
9. El ácido esteárico se encuentra solamente en las nueces maduras, al 3,75 por ciento. En su lugar, las nueces inmaduras contienen ácido margárico al 3,34 por ciento.

## RECOMENDACIONES

1. Comparar el rendimiento del aceite fijo de semillas oleaginosas por método Soxhlet, utilizando distintos disolventes orgánicos.
2. Comparar rendimientos de aceite fijo de macadamia y tiempos de extracción, utilizando distintos tamaños de partícula para realizar la extracción
3. Buscar una relación entre rendimiento y calidad de aceite fijo de semillas oleaginosas, con la nutrición de las plantas de donde provengan.
4. Buscar puntos críticos del proceso de clasificación de nuez de macadamia para obtener un mejor producto basado en la cantidad del aceite fijo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGEXPORT. *Hasta abril 2013, productos no tradicionales exportaron US\$2 mil 400 millones* [en línea], publicado el 24 de junio de 2013. <<http://agexporthoy.export.com.gt/2013/06/hasta-abril-2013-productos-no-tradicionales-exportaron-us2-mil-400-millones/>>. [Consulta: 8 de septiembre de 2013].
2. AOAC Internacional. *AOAC método 965.33, AOAC método 940.28, AOAC método 993.20, AOAC método 921.08 y AOCS cd 3-25*. 16a ed. 2009.
3. Australian Macadamia Society *Growing* [en línea] <http://www.australianmacadamias.org/consumer/en/about/growing>. [Consulta: octubre de 2013].
4. 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 parámetros de calidad*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 88 p.

5. CENZANO, I. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. Coautores: Madrid Vicente, Antonio y Vicente, J.M. Madrid: A. Madrid Vicente, 1993. 575 p. ISBN 84-87440-43-6.
6. CHAKRABARTY, M.M. *Chemistry and Technology of Oils and Fats*. Nueva Dehli, India: Allied Publishers PVT, LTD, 2003. 760 p. ISBN 81-7764-495-5.
7. EVANS, R., *Kernel Assesment Manual*. Con la colaboración de P. Hofman. 5a ed. Australia: Australian Macadmia Society LTD, 2011. 50 p.
8. FENNEMA, Owen. *Química de los alimentos*. Editado por Srinivasan Damodaran, Kirk Parkin y Owen Fennema, traducido por Dr. Albert Ibarz Ribas. 3a ed. Zaragoza, España: ACRIBIA, S. A., 2008. 1160 p. ISBN 978-84-200-1142-4.
9. GARCÍA ESTRADA, Midzar Daniel. *Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de macadamia de las especies tetraphyllia e intergrifolia*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 91 p.
10. HARBORNE, Jeffrey. *Chemical Dictionary of Economic Plants*. Inglaterra: Wiley 2001. 236 p. ISBN 0-471-49226-4.
11. International Nut and Dried Fruit Council *Macadamia* [en línea] [http://www.nutfruit.org/en/macadamia\\_7461](http://www.nutfruit.org/en/macadamia_7461)>.[Consulta: 02 de septiembre de 2013].

12. KUCHEL, Philip. *Bioquímica general*. Coautor: Gregory Ralston. México: McGraw-Hill/Interamericana, 1997. 635 p. ISBN 9789701004760.
13. LÓPEZ CAYAX, Leonel David. *Sistema de costos predeterminados por proceso continuo de una agroindustria guatemalteca procesadora y exportadora de nuez de macadamia*. Trabajo de graduación de Contador Público y Auditor. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas, 108 p.
14. LUTHRIA, D.L. *Oil Extraction and Analysis: Critical Issues and Comparative Studies*. Florida, EE.UU.: CRS Press 2004. 288 p. ISBN 1893997782.
15. MILLER, J.C. *Estadística para química analítica*. 2a ed. Delaware, EE.UU: Addison-Wesley Iberoamerican S. A., 1993. 113 p. ISBN 0-201-60140-0.
16. MIRANDA, Primo. *Cultivo de macadamia (*macadamia integrifolia*), control biológico del barrenador de la nuez de macadamia (*ecdytolopha torticornis*), con tres diferentes niveles de concentración del hongo entomopatógeno *beauveria bassiana* (*Bals*)*. Guatemala: [en línea] <http://www.url.edu.gt/PortalURL/Archivos/83/Archivos/Departamento%20de%20Investigaciones%20y%20publicaciones/Articulos%20Doctrinarios/Agr%C3%ADcolas/Macadamia%20Barrenador%20y%20Hongo%20Beauveria.pdf>. [Consulta: 30 de agosto de 2013].



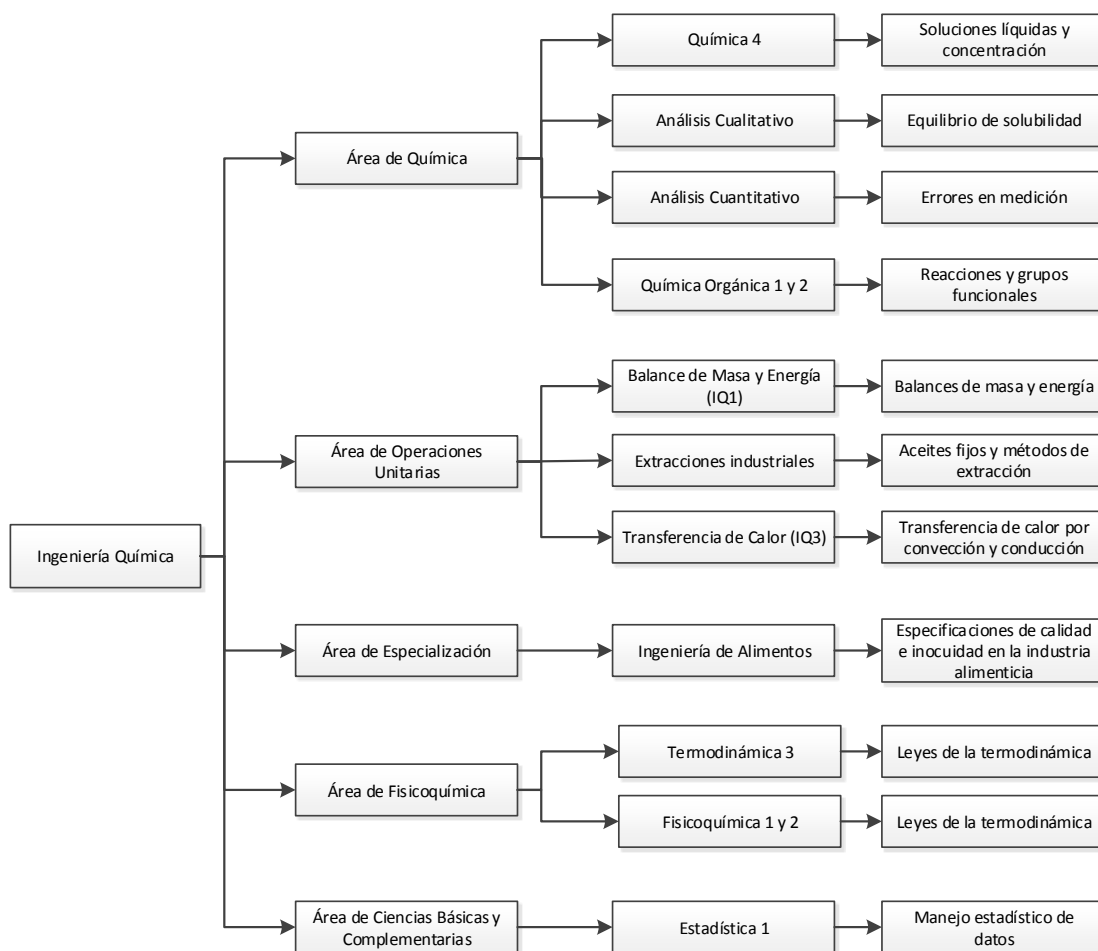
17. MORRISON, Robert. *Organic Chemistry*. 6a ed. Nueva Dehli, India: Prentice-Hall, Inc. 2002. 1283 p. ISBN 81-203-0765-8.
  
18. NOTTEBOHM, Carlos. *Guatemalan macadamias* [en línea]. <http://www.slideshare.net/MacadamiaSociety/international-roundup-a-comprehensive-report-on-the-state-of-the-global-macadamia-industry-guatemala>. [Consulta: 31 de agosto de 2013].
  
19. PAPPA, Florencio. *Cultivo de nuez de macadamia* [en línea]. ANACAFE. <<http://portal.anacafe.org.gt/Portal/Documents/Documents/200412/33/16/Cultivo%20de%20la%20Nuez%20de%20Macadamia.pdf>> [Consulta: 30 de agosto de 2013].
  
20. POTTER, Norman. *La Ciencia de los alimentos*. México: EDUTEX S. A., 1978. 608 p. ISBN 968-7032-00-6.
  
21. QUINLAN, K. *Macadamia culture in NSW* [en línea]. Coautor: P. Wilk., Alstonville, Australia. <[http://www.dpi.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/75740/Macadamia-culture-in-NSW-Primefact-5---final.pdf](http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/75740/Macadamia-culture-in-NSW-Primefact-5---final.pdf)>. [Consulta: octubre de 2013].
  
22. SÁNCHEZ, Henry Walforth. *El cultivo de la macadamia* Con la colaboración de Carlod de los Ríos. [en línea]. [http://www.delalba.com.co/assets/applets/EI\\_Cultivo\\_de\\_la\\_Macadamia.pdf](http://www.delalba.com.co/assets/applets/EI_Cultivo_de_la_Macadamia.pdf). [Consulta: 03 de septiembre de 2013].

23. United States Department of Agriculture. *Basic report: Raw macadamia nuts* [en línea]. Agricultural Research Service Disponible en la Web:<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3705?fg=&man=&facet=&format=&count=&max=25&offset=&sort=&qlookup=macadamia>. [Consulta: 09 de septiembre de 2013].
  
24. ZAMORA, Antonio. *Nuts increase longevity* [en línea] <http://www.scientificpsychic.com/fitness/fattyacids.html>. [Consulta: octubre de 2013].



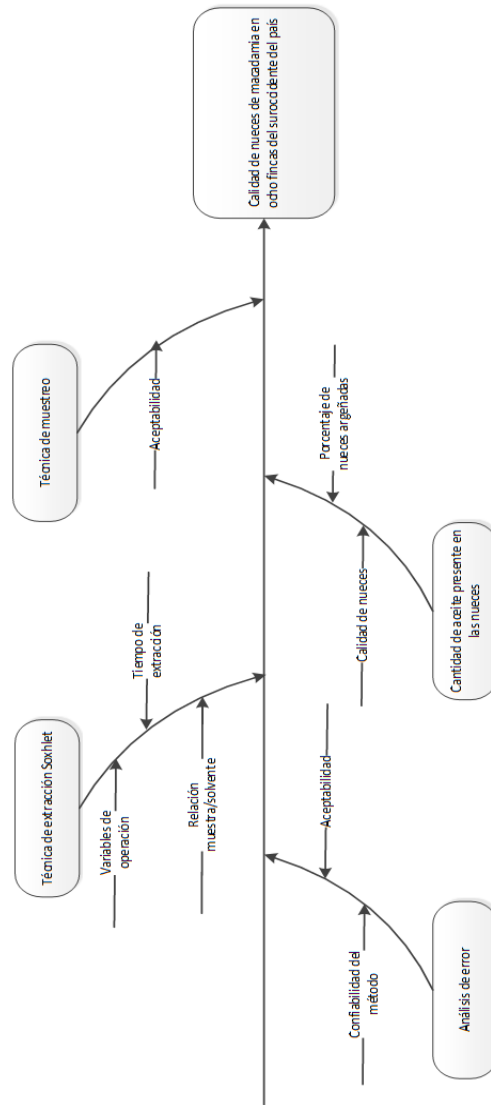
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Datos estadísticos

#### Distribución t

Valor de $t$ para un intervalo de confianza de Valor crítico de $ t $ para valores de $P$ de Número de grados de libertad	90%	95%	98%	99%
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
$\infty$	1.64	1.96	2.33	2.58

Fuente: MILLER, J.C. *Estadística para química analítica*. p. 199.

## Anexo 2. Cromatografía de gases, nueces maduras (parte I)

### LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis Macadamia\  
 Data File : 140627-06.D  
 Title :  
 Acq On : 27 Jun 2014 19:09  
 Operator : AdaM  
 Sample : Muestra N Ma 2  
 Misc : Macadamia Nuez Madura  
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

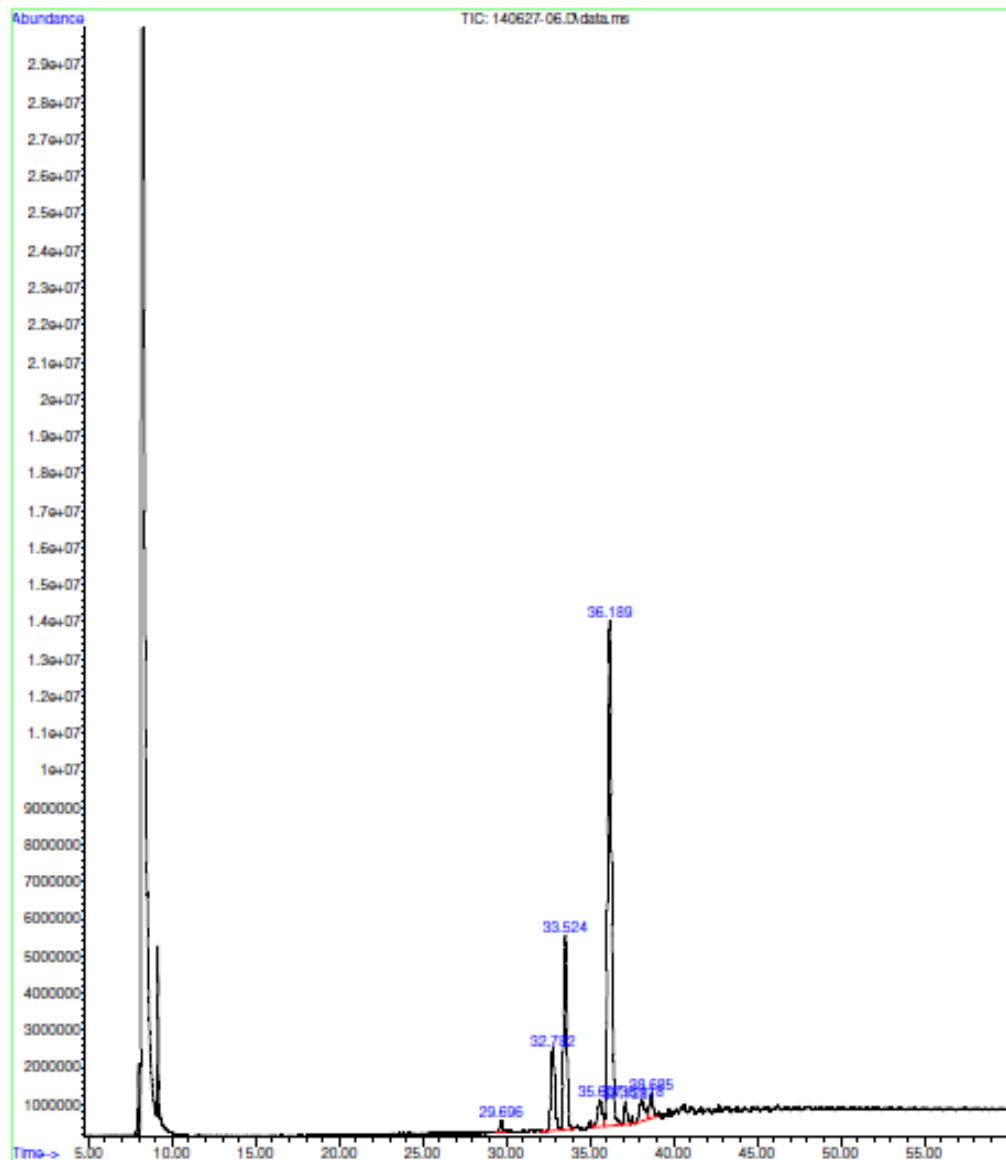
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	29.695	1.11	C:\Database\NIST05a.L Methyl tetradecanoate Methyl tetradecanoate Heptadecanoic acid, methyl ester	86751 86753 114854	000124-10-7 000124-10-7 001731-92-6	98 97 97
2	32.779	9.61	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105639 105646 105644	000112-39-0 000112-39-0 000112-39-0	97 95 95
3	33.525	17.83	C:\Database\NIST05a.L 9-Hexadecanoic acid, methyl ester, (Z)- 9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl e ster 11-Hexadecanoic acid, methyl ester	104152 122321 104135	001120-25-8 000112-62-9 055000-42-5	99 93 91
4	35.609	3.75	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester Heptadecanoic acid, 16-methyl-, me thyl ester	123709 123700 123732	000112-61-8 000112-61-8 005129-61-3	99 99 98
5	36.191	59.49	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl e ster 7-Octadecanoic acid, methyl ester 11-Octadecanoic acid, methyl ester , (Z)-	122323 122298 122331	000112-62-9 057396-98-2 001937-63-9	99 99 99
6	37.128	2.11	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester 10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester 8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093 121100 121092	002462-85-3 056554-62-2 056599-58-7	99 99 99
7	38.119	3.32	C:\Database\NIST05a.L Eicosanoic acid, methyl ester Eicosanoic acid, methyl ester Cyclopentatriaidecanoic acid, meth yl ester	140312 140314 122333	001120-28-1 001120-28-1 024828-61-3	99 97 97
8	38.683	2.78	C:\Database\NIST05a.L 11-Eicosanoic acid, methyl ester Cyclooctadecane, ethyl- Hexadecanoic acid, 2-11-	139171 112111 94748	003946-08-5 1000151-22-5 002416-20-8	97 68 44

## Cromatografía de gases, nueces maduras (parte II)

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis Macadamia\140627-06.D  
Operator : AdaM  
Acquired : 27 Jun 2014 19:09 using AcqMethod ACIDOS GRASOS HP88 SCAN BIO.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: Muestra N Ma 2  
Misc Info : Macadamia Nuez Madura  
Vial Number: 6



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.



### Anexo 3. Cromatografía de gases nuez inmadura (parte I)

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis Macadamia\  
 Data File : 140627-03.D  
 Title :  
 Acq On : 27 Jun 2014 15:50  
 Operator : AdaM  
 Sample : Muestra N In 1  
 Misc : Macadamia Nuez inmadura  
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	29.718	1.17	C:\Database\NIST05a.L Methyl tetradecanoate Methyl tetradecanoate Methyl tetradecanoate	86751 86752 86753	000124-10-7 000124-10-7 000124-10-7	98 96 96
2	32.807	9.62	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105639 105662 105644	000112-39-0 005129-60-2 000112-39-0	97 97 97
3	33.543	20.22	C:\Database\NIST05a.L 9-Hexadecanoic acid, methyl ester, (Z)- 7-Hexadecanoic acid, methyl ester, (Z)- 9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl ester	104152 104151 122321	001120-25-8 056875-67-3 000112-62-9	99 95 93
4	35.636	3.34	C:\Database\NIST05a.L Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester	123732 123709 123700	005129-61-3 000112-61-8 000112-61-8	98 98 98
5	36.218	55.70	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl ester 7-Octadecanoic acid, methyl ester 8-Octadecanoic acid, methyl ester, (E)-	122323 122298 122325	000112-62-9 057396-98-2 026528-50-7	99 99 99
6	37.150	2.46	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester 10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester 8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093 121100 121092	002462-85-3 056554-62-2 056599-58-7	99 99 99
7	37.523	0.39	C:\Database\NIST05a.L 2-Diethylamino-4-phenylthiooct-2-ene nitrile 4-(5-Amino-[1,3,4]thiadiazol-2-yl)ulfanylmethyl-6-morpholin-4-yl-[1,3,5]triazin-2-ylamine Tetrasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7-octamethyl-	126042 139718 113583	1000090-57-0 1000278-19-4 001000-05-1	43 42 42
8	38.133	3.28	C:\Database\NIST05a.L Eicosanoic acid, methyl ester Eicosanoic acid, methyl ester Eicosanoic acid, methyl ester	140313 140310 140312	001120-28-1 001120-28-1 001120-28-1	98 98 97
9	38.702	2.89	C:\Database\NIST05a.L 11-Eicosanoic acid, methyl ester 9-Hexadecanoic acid, methyl ester,	139171 104156	003946-08-5 001120-25-8	97 64

ACIDOS GRAS...8 SCAN BIO.M Wed Jul 02 13:23:11 2014

## Cromatografía de gases nuez inmadura (parte II)

### LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis Macadamia\  
 Data File : 140627-03.D  
 Title :  
 Acq On : 27 Jun 2014 15:50  
 Operator : AdM  
 Sample : Muestra N In 1  
 Misc : Macadamia Nuez inmadura  
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

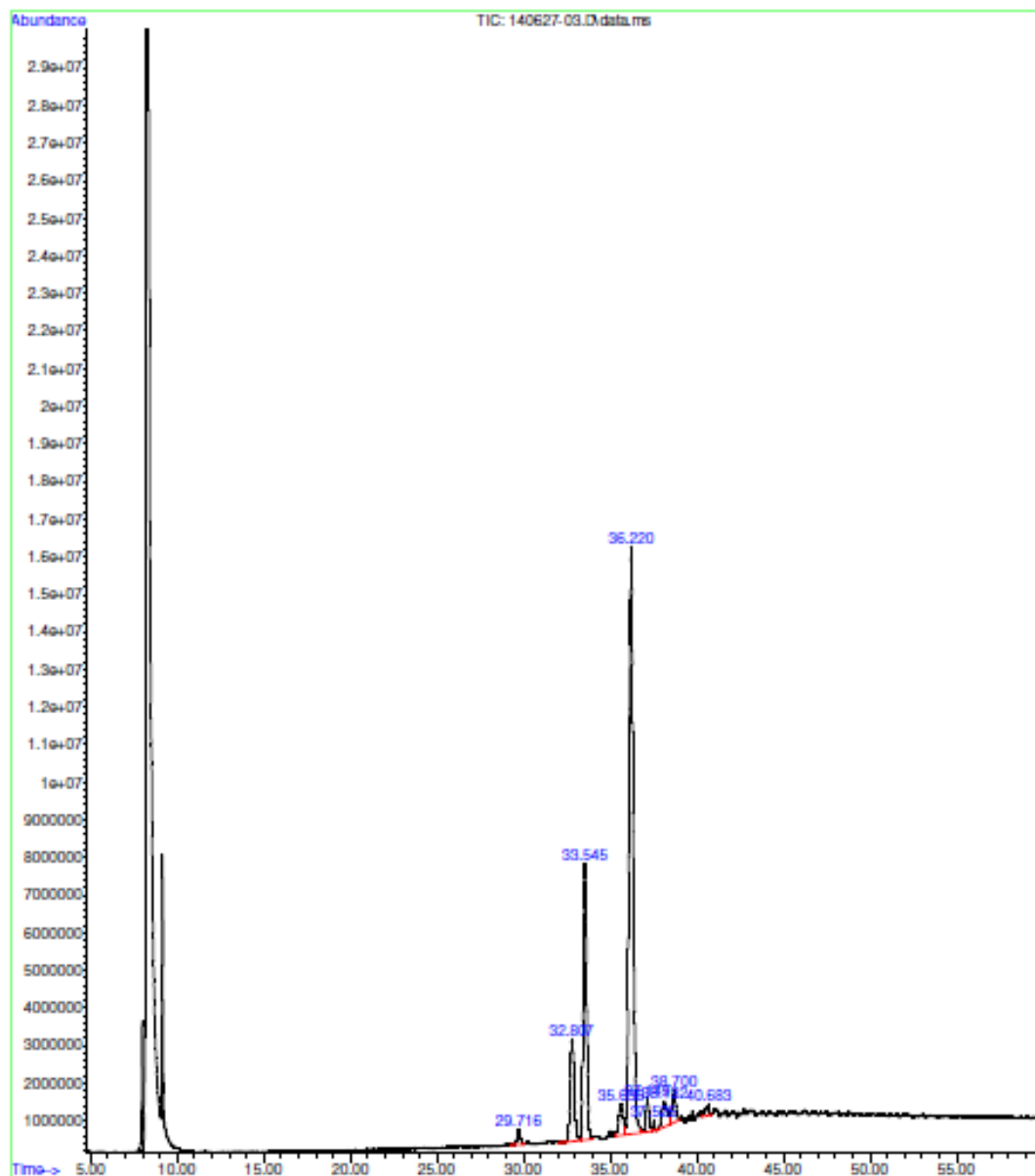
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			(Z)- Oxiranaundecanoic acid, 3-pentyl-, methyl ester, trans-	132223	038520-31-9	53
10	40.685	0.94	C:\Database\NIST05a.L Benzoisofuran-1-one, 1,3-dihydro-6, 7-dimethoxy-3-(4,5,6,7-tetrahydro benzothiazol-2-yl)amino- Trisiloxane, 1,1,3,3,5,5-hexamethy l- Butan-2-one, 1-[3-(3,3-dimethyl-2- oxo-butylidene)piperazin-2-ylidene 1-3,3-dimethyl-	150553 63148 110629	1000295-73-5 001189-93-1 1000303-34-2	35 35 27



### Cromatografía de gases nuez inmadura (parte III)

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis Macadamia\140627-03.D  
Operator : Adem  
Acquired : 27 Jun 2014 15:50 using AcqMethod ACIDOS GRASOS HP88 SCAN BIO.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: Muestra N In 1  
Misc Info : Macadamia Nuez inmadura  
Vial Number: 3



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala

## Anexo 4. Informe (parte I)

	<p>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>	
		<p>No. <b>0791</b></p>
		<p>O.T. No. 32542 No. Informe LIEXVE-QI 16-2014</p>
<b>Interesado:</b>	Ana María Santizo Recinos Estudiante de Ingeniería Química/USAC Carné No. 2008-19313	
<b>Proyecto:</b>	Trabajo de de Graduación a nivel tesis "Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> ) extraído de nueces sanas e inmaduras provenientes de los municipios de El Palmar y Coloma Costa Cuca, Quetzaltenango, y Alotenango, Sacatepéquez".	
<b>Fecha:</b>	Guatemala, 04 de junio de 2014	

A continuación se presentan los resultados de la extracción de aceite fijo de macadamia utilizando la técnica Soxhlet y como solvente hexano, realizando su evaluación de nueces sanas e inmaduras.

**EXTRACCIÓN DE ACEITE FIJO DE MACADAMIA (*Macadamia integrifolia*) A ESCALA LABORATORIO**

Se realizó la extracción del aceite fijo de macadamia proveniente de nueces sanas e inmaduras por medio de la técnica soxhlet.

Se realizó la molienda de la materia prima con un molino de discos, luego se hizo pasar a través del tamiz No.4 para que los tamaños de las partículas tuvieran un tamaño estándar en todas las corridas realizadas.

Se procedió a colocar 20 g de nuez de muestra preparada en un dedal de celulosa y se agregó 100 mL de hexano grado analítico en un balón de fondo plano de 500 mL, siendo la relación materia prima y solvente de 1:5.

El tiempo de extracción fue de 12 horas. Finalizada la extracción de aceite fijo de macadamia se procedió a separar el aceite fijo del solvente utilizando el sistema de rotavaporación, obteniendo en aceite fijo y recuperando el solvente hexano, el cual se reutilizó para el lote de 8 fincas monitoreadas de macadamia de nueces inmaduras, lote completo y maduro.

Página 1 de 4

---

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 98209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

## Informe (parte II)



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. 0792

### RESULTADOS

**Tabla No.1** Rendimiento porcentual de aceite fijo de macadamia LOTE COMPLETO (*Macadamia integrifolia*) para 8 fincas monitoreadas.

FINCA	RENDIMIENTO (%)	PRMEDIO (%)	FINCA	RENDIMIENTO (%)	PRMEDIO (%)
1	55.85	56.35 ± 0.005	5	57.66	56.78 ± 0.009
	56.38			55.86	
	56.82			56.81	
2	60.16	58.02 ± 0.019	6	58.96	57.22 ± 0.015
	56.95			56.07	
	56.94			56.63	
3	58.71	57.71 ± 0.029	7	54.86	57.27 ± 0.028
	59.96			60.29	
	54.45			56.66	
4	57.98	58.45 ± 0.011	8	59.81	58.42 ± 0.020
	59.76			56.17	
	57.62			59.28	

Fuente: Datos experimentales -LIEXVE-

**Tabla No.2** Rendimiento porcentual de aceite fijo de macadamia NUECES MADURAS (*Macadamia integrifolia*) para 8 fincas monitoreadas.

FINCA	RENDIMIENTO (%)	PRMEDIO (%)	FINCA	RENDIMIENTO (%)	PRMEDIO (%)
1	57.14	57.70 ± 0.009	5	58.88	59.98 ± 0.019
	58.83			62.18	
	57.12			58.89	
2	63.53	58.51 ± 0.043	6	60.41	59.97 ± 0.011
	55.81			58.71	
	56.19			60.81	
3	62.54	59.25 ± 0.035	7	54.06	56.23 ± 0.035
	59.69			54.26	
	55.53			60.38	
4	57.59	58.19 ± 0.005	8	60.27	58.85 ± 0.018
	58.55			58.88	
	58.43			62.18	

Fuente: Datos experimentales -LIEXVE-

Página 2 de 4

## Informe (parte III)



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. 0793

**Tabla No.3** Rendimiento porcentual de aceite fijo de macadamia **NUECES INMADURAS** (*Macadamia integrifolia*) para 8 fincas monitoreadas.

FINCA	RENDIMIENTO (%)	PRMEDIO (%)	FINCA	RENDIMIENTO (%)	PRMEDIO (%)
1	44.90	50.11 ± 0.047	5	47.14	49.24 ± 0.018
	51.28			50.17	
	54.16			50.40	
2	49.39	49.88 ± 0.013	6	51.33	51.61 ± 0.008
	51.44			50.95	
	48.80			52.57	
3	50.74	48.98 ± 0.015	7	48.07	49.18 ± 0.014
	47.80			50.86	
	48.40			48.63	
4	55.92	54.06 ± 0.020	8	49.48	48.32 ± 0.012
	51.88			46.98	
	54.37			48.52	

Fuente: Datos experimentales—LIEXVE—

### PROPIEDADES FÍSICAS

**Tabla No.4** Propiedades físicas de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) para nueces maduras y nueces inmaduras procedentes de 8 fincas monitoreadas.

PROPIEDADES FÍSICAS	NUECES MADURAS	NUECES INMADURAS
Índice de refracción	1.463	1.463
Densidad (g/mL)	0.9668	0.9669

Fuente: Datos experimentales—LIEXVE—

**Tabla No.5** Índices de calidad de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) procedentes de 8 fincas monitoreadas.

MATERIA PRIMA	ÍNDICES DE CALIDAD PARA ACEITE FIJO DE MACADAMIA			
	Índice de acidez	Índice de peróxidos	Índice de yodo	Índice de saponificación
Macadamia ( <i>Macadamia integrifolia</i> )	0.2854 g KOH/g aceite	1.8926 meq/ Kg aceite	73.5606	163.43
	0.2652 g KOH/g aceite	2.4231 meq/ Kg aceite	73.1534	165.94

Fuente: Datos experimentales—LIEXVE—

Página 3 de 4

## Informe (parte IV)



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**No. 0794**

**ANEXOS**

Extracción de aceite fijo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) evaluando lote completo, nueces maduras y nueces inmaduras para 8 fincas monitoreadas.



Evaluación de propiedades físicas e índices de calidad del aceite fijo de macadamia para 8 fincas monitoreadas.





Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
COORDINADOR  
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales  
-LIEXVE-  
Sección Química Industrial CII/USAC



Vo.Bo. Inga. Qca. Telma Maricela Caño Morales  
DIRECTORA  
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC

Página 4 de 4

---

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.