



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

**CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE NUEZ DE MACADAMIA (*Macadamia tetraphylla* y *Macadamia integrifolia*) PRODUCIDO EN FORMA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DUEÑAS DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, PARA ESTABLECER SUS PARÁMETROS DE CALIDAD**

**Miguel Ángel Barreda Muralles**

Asesorado por el Lic. Marco Tulio Urizar Moncrieff  
y el Ing. Sergio Penagos Dardón

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE NUEZ DE MACADAMIA (*Macadamia tetraphylla* y *Macadamia integrifolia*) PRODUCIDO EN FORMA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DUEÑAS DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, PARA ESTABLECER SUS PARÁMETROS DE CALIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MIGUEL ÁNGEL BARREDA MURALLES**

ASESORADO POR EL LIC. MARCO TULIO URIZAR MONCRIEFF  
Y EL ING. SERGIO PENAGOS DARDÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## 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:

**CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE NUEZ DE MACADAMIA (*Macadamia tetraphylla* y *Macadamia integrifolia*) PRODUCIDO EN FORMA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DUEÑAS DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, PARA ESTABLECER SUS PARÁMETROS DE CALIDAD**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha diciembre de 2006.



Miguel Ángel Barreda Muralles

Guatemala, 15 de enero 2010

Ingeniero Williams Álvarez

Director de la Escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ciudad Universitaria, Guatemala

Estimado Ingeniero:

Es un gusto dirigirnos a usted de nuevo, para comunicarle que hemos revisado el Informe Final del Trabajo de Graduación titulado "Caracterización del Aceite de Nuez de Macadamia (*Macadamia tetraphyla* y *Macadamia integrifolia*) producido en forma artesanal en el Municipio de San Miguel Dueñas departamento de Sacatepéquez para establecer sus parámetros de calidad", del estudiante Miguel Ángel Barreda Muralles, carné No. 1997-12178.

A nuestra consideración, queremos comentarle que es un excelente trabajo de graduación, completamente actualizado al momento difícil que vive la industria nacional y que puede ser de mucha utilidad para ayudarla a salir adelante; contribuyendo especialmente en los aspectos de explotación de productos no tradicionales y la apertura de fuentes de trabajo.

Por lo tanto, después de haber revisado este documento, damos nuestra total aprobación como asesores de tesis del estudiante Barreda Muralles.

Atentamente,



Ing. Sergio Penagos

Ingeniero Químico

Colegiado 828



Lic. Marco Tulio Urizar Moncrieff

Químico Biólogo

Colegiado 623



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 03 de febrero de 2010  
Ref. EI.Q.047.2010

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-019-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **MIGUEL ÁNGEL BARREDA MURALLES**, identificado con carné No. **1997-12178**, titulado: "**CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE NUEZ DE MACADAMIA (*Macadamia tetraphylla* y *Macadamia integrifolia*)**" PRODUCIDO EN FORMA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DUEÑAS DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, PARA ESTABLECER SUS PARÁMETROS DE CALIDAD el cual ha sido asesorado por el Licenciado Marco Tulio Urizar Moncrieff y el Ingeniero Sergio Penagos, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Barreda Muralles** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **MIGUEL ÁNGEL BARRERA MURALLES** titulado: **"CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE NUEZ DE MACADAMIA (Macadamia Tetraphilla y Macadamia Integrifolia) PRODUCTO EN FORMA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DUEÑAS DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, PARA ESTABLECER SUS PARÁMETROS DE CALIDAD "**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, C.Dr.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2011

Cc: Archivo  
WGAM/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: **CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE NUEZ DE MACADAMIA (*Macadamia tetraphylla* y *Macadamia integrifolia*) PRODUCIDO EN FORMA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DUEÑAS DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, PARA ESTABLECER SUS PARÁMETROS DE CALIDAD**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Ángel Barreda Muralles**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2011

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios todopoderoso**

Por ser inspiración y guía en mi vida y por haberme permitido culminar exitosamente mis estudios universitarios.

### **Mis padres**

Por haberme dado la oportunidad de estudiar y acompañarme en todo momento de mi vida, mostrándome el camino correcto a seguir, dando siempre lo mejor de ellos.

### **Mi asesor**

Lic. Marco Tulio Urizar Moncrieff, por brindarme su amistad y compartir sus conocimientos y experiencias.

### **La gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por las enseñanzas, conocimientos y experiencias brindadas durante mis años de estudio. Por darme la oportunidad de ser un orgulloso profesional egresado de esta prestigiosa casa de estudio.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida y llenarme de su amor y bendiciones.
- Mi madre** Rosa Carolina Muralles Caballeros, por su entrega, amor y determinación en cada momento de mi vida, logrando hacer de mí un hombre de bien.
- Mi abuelo** Guillermo Muralles González (q.e.p.d.), por ser un ejemplo de superación, amor, amistad, honradez y confianza, quién me enseñó que todo es posible cuando se actúa con inteligencia, humildad y perseverancia. Siempre estará presente en mi vida.
- Mi padre** Jorge Fernando Barreda Herrera, por su amor, apoyo y enseñanza.
- Mi abuela** Carolina Caballeros Rangel de Muralles, por ser ejemplo de amor, comprensión y apoyo en mi vida.
- Mis hijos** Guillermo, María Paula y José Carlos, que son la ilusión y el motor que me motiva a ser un padre responsable y un hombre de bien.

**Mis hermanos**

Juan Pablo, Jorge Fernando y José Eduardo, por su apoyo incondicional.

**Mi tía**

Claudia, por su cariño y sabios consejos, y ser la persona que con su ejemplo de dedicación y excelencia me motiva a ser un profesional exitoso.

**Mi esposa**

Carlota, por su amor, amistad, apoyo y comprensión.

**Mis primas**

Anaitte y Andrea, por su cariño.

**Mis abuelos**

Isidro Caballeros Mauri (q.e.p.d.) y Rosa Rangel (q.e.p.d.), por ser ejemplo de amor y entrega a su familia, inculcando en cada miembro de ella, valores y principios que guían su camino.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	I
LISTA DE SÍMBOLOS .....	III
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. LA NUEZ DE MACADAMIA.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Países competidores.....	4
1.3. Países importadores .....	7
1.4. Aceites esenciales.....	8
1.5. Composición de las grasas y aceites .....	8
1.6. Importancia de los ácidos grasos polinsaturados .....	10
1.6.1. Ácidos grasos polinsaturados .....	10
1.6.2. Familia Omega 3 y Omega 6.....	11
1.6.2.1. Omega 3. ....	11
1.6.2.2. Omega 6 .....	11
1.6.3. Relación Omega 3 y Omega 6.....	12
1.6.4. Omega 3 en la prevención y tratamiento de Enfermedades .....	12
1.6.4.1. Omega 3 y enfermedades Cardiovasculares .....	12
1.6.4.2. Omega 3 y su papel en los genes.....	12
1.6.4.3. Omega 3 y cáncer .....	13

1.6.4.4.	Omega 3 y diabetes.....	13
1.6.4.5.	Omega 3 y control de peso .....	13
1.6.4.6.	Omega 3 y desarrollo cerebral.....	14
1.6.4.7.	Omega 3 en desórdenes psiquiátricos.....	14
1.6.4.8.	Omega 3 y sistema inmunológico .....	14
1.7.	Extracción de aceite de nueves.....	15
2.	NUEZ DE MACADAMIA CULTIVADA EN FINCA VALHALLA.....	17
2.1.	Estudios publicados de la nuez de macadamia cultivada .....	18
2.2.	Extracción de aceite por prensado en frío.....	18
2.3.	Aceite prensado en frío más ano.....	19
2.4.	Artículo publicado acerca de la nuez de macadamia	
	Cultivada en la Finca Valhalla.....	20
2.4.1.	Macadamia la nuez de oro .....	20
2.4.2.	Macadamia atrae turistas y divisas .....	24
2.4.3.	Agricultura sostenible en acción.....	26
2.5.	Diagrama de flujo del proceso de extracción.....	27
2.5.1.	Descripción del proceso.....	27
2.5.2.	Recolección.....	27
2.5.3.	Pelado.....	27
2.5.4.	Secado.....	28
2.5.5.	Clasificado .....	28
2.5.6.	Quebrado.....	29
2.5.7.	Tostado.....	29
2.5.8.	Empaque y almacenaje .....	29

3. METODOLOGÍA .....	35
3.1. Medios .....	35
3.1.1. Recursos humanos.....	35
3.1.2. Recursos físicos.....	35
3.1.3. Recursos materiales.....	35
3.2. .Método de investigación.....	36
3.2.1. Determinación de propiedades físicas.....	36
3.2.2. Análisis químico del aceite.....	36
3.3. Descripción detallada de las propiedades físicas y químicas del aceite de nuez de macadamia.....	36
4. RESULTADOS .....	43
5. DISCUSIÓN .....	47
CONCLUSIONES .....	51
RECOMENDACIONES.....	53
APÉNDICE.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	59

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Producción y exportación de nuez de macadamia en Guatemala	6
2.	Diagrama de flujo del proceso	30

### TABLAS

I.	Composición nutricional de la macadamia	2
II.	Composición mineralógica de la macadamia	3
III.	Contenido vitamínico de la macadamia	3
IV.	Contenido de aminoácidos de la macadamia	4
V.	Proveedores mundiales de macadamia	5
VI.	Participación de mercado de consumo por país	8
VII.	Propiedades físicas del aceite de macadamia	43
VIII.	Propiedades químicas del aceite de macadamia	44
IX.	Parámetros físicos propuestos	45
X.	Parámetros químicos propuestos	45
XI.	Características químicas y físicas de los aceites de oliva, maíz y soja	48



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>C</b>	Carbono
<b>cc</b>	Centímetros cúbicos
<b>cp</b>	Centipoises
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°</b>	Grados
<b>g</b>	Gramos
<b>KOH</b>	Hidróxido de potasio
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>Kcal</b>	Kilocalorías
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>m</b>	Metros
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar

<b>mq</b>	Mili-equivalentes
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mm</b>	Milímetros
<b>'</b>	Minutos para coordenadas
<b>Nm</b>	Nanómetros
<b>N</b>	Normalidad
<b>Ω</b>	Omega
<b>H</b>	Potencial de hidrógeno
<b>''</b>	Segundos para coordenadas
<b>V</b>	Volumen
<b>I</b>	Yodo

## GLOSARIO

<b>Acidez</b>	Contenido en porcentaje de los ácidos grasos libres.
<b>Ácido esteárico</b>	Ácido octadecanoico presente en todas las grasas animales y vegetales.
<b>Ácido linoleico</b>	Ácido octadecadienoico, abunda en los aceites de semillas vegetales, en los que puede llegar a alcanzar el 75% del total de ácidos grasos.
<b>Ácidos carboxílicos</b>	Cada uno de los compuestos orgánicos que contienen en su molécula uno o más grupos carboxilo, -COOH.
<b>Ácidos grasos</b>	Ácidos carboxílicos alifáticos de cadena recta con un número par de átomos de carbono. Son llamados ácidos grasos, ya que sus éteres glicéridos, son de los principales componentes de los aceites y grasas.
<b>Ácidos grasos insaturados</b>	Ácidos grasos en los que el residuo molecular que se une al carboxilo puede derivarse de cualquiera de las series de hidrocarburos insaturados (olefinicos, acetilénicos, diolefinicos).

<b>Ácidos grasos saturados</b>	Ácidos grasos cuya fórmula general es $C_nH_{2n}O_2$ .
<b>Artritis</b>	Inflamación de las articulaciones.
<b>Arterioesclerosis</b>	Endurecimiento o pérdida de elasticidad de las arterias debido a un aumento del tejido fibroso de la capa media del vaso.
<b>Arritmia</b>	Ritmo anormal del corazón.
<b>Cardiovascular</b>	Relativo al corazón o vasos sanguíneos.
<b>Clarificación</b>	Eliminación de materias insolubles en los aceites contaminados.
<b>Color</b>	Propiedad del aceite, que según su clase, puede variar entre verde y amarillo hasta color café muy oscuro.
<b>Coníferas</b>	Planta gimnosperma, del orden coníferales, cuyos frutos tienen forma de cono o piña.
<b>Filtro prensa</b>	Filtro de presión constituido por una estructura metálica de las que se cuelgan unas placas separadas por telas filtrantes que son prensadas conjuntamente mediante un dispositivo de tornillo. La suspensión que se va a filtrar se bombea hacia las cavidades que quedan entre las placas, en las que se retiene el sólido, recogándose el líquido en una única corriente.

<b>Hipertensión</b>	Aumento anormal de la presión sanguínea.
<b>Oleaginoso</b>	Aceitoso, oleoso.
<b>Prensado</b>	Operación mecánica de dar una forma determinada a un material por moldeo con compresión.
<b>Taquicardia</b>	Aceleración fisiológica o patológica de los latidos del corazón.



## RESUMEN

Se evaluaron las características físicas y químicas de muestras del aceite de nuez de macadamia, extraído artesanalmente en una planta procesadora ubicada en el municipio de San Miguel Dueñas del departamento de Sacatepéquez y se compararon con las características de aceites de oliva, maíz y soja.

Los resultados mostraron índices de acidez y peróxidos mayores al 2% y 5 meq/kg respectivamente, lo que refleja cierta estabilidad frente a la oxidación.

Los índices de saponificación y yodo se encuentran dentro de los parámetros señalados por la literatura para el aceite virgen de oliva. El índice de refracción se ubicó en el intervalo de 1,4677 a 1,4705 que coincide con los valores señalados para el aceite de oliva virgen y se alejan de los correspondientes a los de los aceites de soja y maíz, que son ligeramente superiores. La gravedad específica del aceite de nuez de macadamia demostró un valor que se asemeja a los parámetros de aceites más insaturados como el maíz y la soja. El aceite de nuez de macadamia no presenta coloración en el intervalo de 400 a 680nm del espectro visible.

Se concluyó que el aceite de nuez de macadamia presentó características muy semejantes a las del aceite de oliva virgen, lo que representa una ventaja para su explotación a nivel comercial.



## OBJETIVOS

### General

Establecer las características físicas y químicas del aceite de nuez de macadamia (*Macadamia tetraphylla* - *Macadamia integrifolia*) utilizando muestras de una planta de extracción de aceite ubicada en el municipio de San Miguel Dueñas del departamento de Sacatepéquez, para establecer sus parámetros de calidad.

### Específicos

1. Determinar las propiedades físicas: viscosidad, índice de refracción, índice de color y gravedad específica.
2. Establecer los siguientes indicadores químicos principales del aceite de nuez de macadamia, en muestras obtenidas de una planta extractora de aceite: índice de saponificación, índices de yodo, acidez, peróxidos, pH y contenido de cenizas.
3. Proponer los parámetros de calidad para el aceite de nuez de macadamia, que puedan ser utilizados para el diseño de una planta productora de aceite en gran escala.



## INTRODUCCIÓN

Uno de los productos naturales y renovables utilizados en la extracción de aceite, que ha cobrado mucha relevancia en la actualidad, es la nuez de macadamia. Este aceite posee gran cantidad de propiedades lo que permite utilizarlo en diferentes procesos químicos. Por la diversidad de sus propiedades, es factible su utilización en la fabricación de cosméticos, como alimento, fuente de ácidos grasos polinsaturados  $\Omega 3$  y  $\Omega 6$ , estos últimos se utilizan en el tratamiento y reducción de riesgo de padecimientos cardiovasculares, control de peso, control de la diabetes, desarrollo cerebral, fuente de vitaminas y estimula el sistema inmunológico.

Éstas y otras razones propician que su demanda aumente notablemente cada día. En el país se cuenta con plantaciones de nuez de macadamia, aunque aún, existe poca información documentada y publicada, acerca de su producción, manejo, cosecha, manejo pos cosecha y almacenamiento.

La extracción del aceite, a partir de la nuez, se hace de forma artesanal o discontinua, esto demanda mucho tiempo; haciendo el proceso lento, bajo en productividad y rendimiento.

En el presente estudio se establecerán las propiedades físicas y químicas básicas del aceite de nuez de macadamia, extraído en una planta procesadora ubicada en el municipio de San Miguel Dueñas del departamento de Sacatepéquez, con el propósito de determinar sus parámetros de calidad. También se espera que contribuya a generar fuentes de trabajo, que permitan

coadyuvar al desarrollo sostenible de las personas que participan en estas actividades.

La información recopilada permitirá diseñar plantas extractoras de proceso continuo que sean más eficientes.

# 1. LA NUEZ DE MACADAMIA

## 1.1. Generalidades

La nuez de macadamia es considerada como la “reina de las nueces”.

Históricamente se relata que desde antes de la llegada de los europeos a Australia, los aborígenes se congregaban en las lomas del llamado *Great Diving Range* (Queensland) para alimentarse de la semilla de árboles siempre verdes, que llamaban “kindal kindal”. Más tarde, en 1850, botánicos ingleses caracterizaron las dos principales variedades de macadamia: *Macadamia integrifolia* y *Macadamia tetraphylla*. El nombre de esta nuez, originaria de Australia, honra al científico prominente de la época, Dr. John Mc.Adam.

La nuez blanca-cremosa está encerrada en un fuerte casco liso de color café, que a su vez está dentro de una cáscara verde suave. Ésta se abre cuando la nuez está madura.

*Entre las nueces, la macadamia se distingue por su bajo contenido de grasa saturada y sodio. La variedad integrifolia está compuesta de un 80% de aceite y 4% de azúcar, mientras que la variedad tetraphylla contiene entre el 65% y 75% de aceite y 6 a 8% de azúcar.*

Según los resultados de un estudio realizado en Estados Unidos en 1993, esta nuez tiene un contenido “naturalmente bajo en grasa saturada”, sobre el 80% de su contenido corresponde a grasa monoinsaturada, llamada la “buena grasa”. Este nivel supera el 75% presente en el aceite de oliva. Se ha

demostrado que la buena grasa disminuye el colesterol en la sangre, con un posible efecto limpiador en las arterias, lo que reduce el riesgo de enfermedades del corazón.

Tabla I. **Composición nutricional de la macadamia**

<b>Nutrientes</b>	<b>Contenido de 100 g de parte comestible</b>
Calorías	702 Kcal
Proteínas	8,3 g
Carboidratos	13,7 g
Grasa total	73,7 g
Cálcio	70 mg
Fósforo	136 mg
Hierro	2,4 mg
Tiamina	0,35 mg
Riboflavina	0,11 mg
Niacina	2,14 mg
Fracción comestible	0,31 %
Agua	2,9 %
Cenizas	1,4 g

Fuente: Menchú. Ma. Teresa, Tabla de composición de alimentos de Centro América. INCAP. Guatemala,1996. 214 p.

Tabla II. **Composición mineralógica de la macadamia**

<b>Minerales</b>	<b>Contenido de 100 g de parte comestible</b>
Calcio	70 mg
Hierro	2,41 mg
Magnesio	116 mg
Fósforo	136 mg
Potasio	368 mg
Sodio	5 mg
Zinc	1,71 mg
Cobre	0,29 mg
Manganeso	0 mg

Fuente: <http://users.aol.com/CalMacSociety/nutritional.html>

Tabla III. **Contenido vitamínico de la macadamia**

<b>Vitaminas</b>	<b>Contenido de 100 g de parte comestible</b>
Acido ascórbico	0 mg
Tiamina	0,35 mg
Riboflavina	0,11 mg
Niacina	2,14 mg
Ácido pantoténico	0 mg
Vitamina B6	0 mg
Vitamina A	0 mg
Folacina	0 mg

Fuente: <http://users.aol.com/CalMacSociety/nutritional.html>

Tabla IV. **Contenido de aminoácidos de la macadamia**

<b>Aminoácidos</b>	<b>Contenido de 100 g de parte comestible</b>
Tryptofina	0 mg
Threonina	0,263 mg
Isoleucina	0,244 mg
Leucina	0,462 mg
Lisina	0,324 mg
Methionina	0,092 mg
Cistina	0,096 mg
Fenilalanina	0,26 mg
Tirosina	0,337 mg
Valina	0,321 mg
Arginina	0,899 mg
Histidina	0,168 mg
Alanina	0,329 mg
Acido aspartámico	0,827 mg
Acido glutâmico	1,782 mg
Glicina	0,371 mg
Prolina	0,396 mg
Serina	0,351 mg

Fuente: <http://users.aol.com/CalMacSociety/nutritional.html>

## 1.2. Países competidores

Esta nuez, originaria de Australia, fue introducida en Hawai en 1881 con propósitos ornamentales y de reforestación, iniciándose la moderna e importante industria de macadamia en las islas. Existe producción en África del Sur, Centro y Sudamérica.

Aún manteniendo un nivel de precios relativamente alto en el mercado internacional de nueces, la demanda de la nuez de macadamia se mantiene insatisfecha. Se calcula que la producción total de macadamia representa apenas el 0,5 % del comercio mundial de nueces de árbol.

Australia es el proveedor más importante de nuez de macadamia a nivel mundial, seguido por Estados Unidos (Hawai y, en muy pequeña proporción, California).

En la tabla V se presenta la participación de mercado de los principales proveedores mundiales de macadamia:

Tabla V. **Proveedores mundiales de macadamia**

<b>Principales Productores de Nuez de Macadamia</b>	
Estados Unidos	31,18 %
Australia	39,39 %
Kenya	6,67 %
Costa Rica	2,73 %
Sudáfrica	11,03 %
Guatemala	6,49 %
Brasil	2,51 %

Fuente: FAS Agricultural Attaché Reports, NASS/USDA, and HASS.

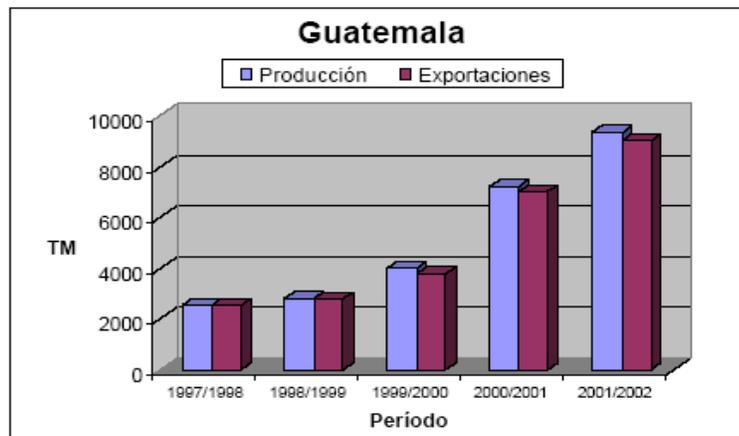
La industria de macadamia en Guatemala está aumentando tanto en producción como en exportación y se predice que seguirá creciendo en los próximos años.

La cantidad de nuez producida en el país aumentó del período de 1998-1999 al período de 1999-2000 de 2800 a 4000 toneladas de nuez en concha.

Para el período 2000-2001 la producción aumentó a 7200 toneladas. Esto debido principalmente al aumento en rendimiento y la cosecha de las plantaciones jóvenes.

En 1999 los rendimientos promedios eran de 3,01 t/ha un 30% más que en 1998, que alcanzó rendimientos de 2,32 t/ha. En el año 2000, se alcanzaron rendimientos promedio de 4,92 t/ha. En la figura 3 se muestra la producción y exportación de nuez de macadamia en Guatemala durante los años 1997 al 2002.

Figura 1. **Producción y exportación de nuez de macadamia en Guatemala**



Fuente: FAS Foreign Agricultural Service/USDA.

Los productores del hemisferio norte (Estados Unidos, Guatemala, Costa Rica) disponen de altos niveles de producción desde julio hasta diciembre, mientras que en el hemisferio sur (Australia, Sudáfrica, Ecuador), la nuez se produce entre enero y junio.

El 60% del producto a nivel mundial va dirigido a la industria y el 40% restante se consume como *snack* en varias presentaciones: nueces enteras, en pedazos o miga cubiertas de chocolate, y otras similares. Además se utiliza en la elaboración de una variedad de confites y pastelería. El aceite, la mantequilla, cremas y productos cosméticos pueden recuperarse como subproductos. Al natural, con una variedad de coberturas de dulce y de sal, en diversas preparaciones de pastelería. La macadamia es reconocida por chefs a nivel mundial, quienes la llaman la *creme de la creme* por su textura cremosa y el sabor exótico que añade a sus recetas.

### **1.3. Países importadores**

Los principales países consumidores de nuez de macadamia en el mundo, en orden de importancia, son: Alemania, Estados Unidos, Japón.

A continuación se presenta un estimado de participación de mercado de consumo por países:

Tabla VI. **Participación de mercado de consumo por países**

Estados Unidos	52%
Comunidad Europea	15%
Japón	16%
Australia (auto abastecimiento)	10%
Otros	7%

Fuente: ITMA-T, Quito – Ecuador.

#### **1.4. Aceites esenciales**

Los aceites esenciales se denominan así porque contienen la esencia (olor o sabor) de las plantas. Algunos de ellos son derivados de los isoprenos y tienen propiedades de hidrocarburos. Entre los aceites esenciales más comunes están: eugenol (aceite de clavo), isoeugenol (aceite de nuez moscada), anetol (aceite de anís), vainillina (aceite de vainilla), timol (aceite de menta y tomillo), safrol (aceite de saffras), entre otros.

#### **1.5. Composición de las grasas y aceites**

Los bioquímicos han definido a los lípidos como biomoléculas insolubles en agua, y solubles en disolventes orgánicos de polaridad baja, como éter y cloroformo.

Las grasas son los constituyentes principales de las células almacenadoras de energía, en animales y plantas, y constituyen una de las reservas alimenticias importantes del organismo. Se pueden extraer estas grasas de las células animales y vegetales (las grasas líquidas se describen como aceites), por diferentes procesos obteniéndose así aceite de maíz, de coco, de semilla de algodón, de palma; sebo, grasa de tocino y mantequilla.

Desde un punto de vista químico, las grasas son ésteres carboxílicos derivados de un solo alcohol, el glicerol,  $\text{HOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ , y se conocen como glicéridos, más específicamente se trata de triacilgliceroles. Las proporciones de los diversos ácidos grasos varían de unas grasas a otras; cada una de ellas tiene una composición característica.

Los ácidos grasos son compuestos de cadena recta de tres a dieciocho carbonos; salvo para los compuestos  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_5$ , solo se encuentran cantidades importantes de ácidos con número par de carbonos.

Aparte de ácidos saturados, también hay ácidos no saturados con uno o más enlaces dobles por molécula, siendo los más importantes: oleico, linoleico, linolenico, araquidónico y araquídico. La configuración de estos dobles y triples enlaces es casi invariablemente isómero cis, lo cual les proporciona mayor estabilidad.

La instauración con esta estereoquímica particular, reduce el punto de fusión. En la fase sólida, las moléculas se acomodan lo mejor que pueden, para que las fuerzas intramoleculares sean más fuertes y por lo tanto, es mayor el punto de fusión.

## **1.6. Importancia de los ácidos grasos polinsaturados**

Durante los últimos 30 años se han realizado diversos estudios acerca del metabolismo y función de los ácidos grasos polinsaturados, concluyendo que son de gran importancia para el desarrollo y crecimiento normal del ser humano y obteniendo evidencias del papel que tienen en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades como son las cardiovasculares, hipertensión, diabetes, cáncer, y otros desordenes inflamatorios y auto inmunes.

### **1.6.1. Ácidos grasos polinsaturados**

Los aceites y grasas están compuestos de ácidos grasos, los cuales pueden ser: saturados, monoinsaturados y polinsaturados.

Los ácidos grasos saturados son no indispensables, esto significa que el organismo puede sintetizarlos, sin embargo, los ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados son indispensables, por lo que deben obtenerse de la alimentación.

Los ácidos grasos polinsaturados: linoleico (familia omega 6) y ácido alfa-linolénico (familia omega 3) se encuentran principalmente en productos vegetales y frutos secos, mientras que el ácido docosahexanóico (DHA) y eicosapentaenoico (EPA) se encuentran en la mayoría de los aceites de pescados.

### **1.6.2. Familia omega 3 y omega 6**

La familia de los omega 3 corresponde a los ácidos grasos polinsaturados, el cuerpo humano a partir del ácido graso alfa-linolénico (ALA) y de enzimas específicas, puede alargar la molécula y formar DHA y el EPA, compuestos importantísimos para el buen funcionamiento del organismo.

Los ácidos omega 3 y omega 6 son esenciales para la salud y sus funciones se resumen a continuación:

#### **1.6.2.1. Omega 3**

- Forman parte de la estructura de las neuronas, cerebro, retina y nervios periféricos
- Componentes de las membranas celulares
- Forman eicosanoides que contraponen la función de los omega 6
- Evita la formación de trombos y riesgos de infartos

#### **1.6.2.2. Omega 6**

- Función plaquetaria e inmune
- Mantiene la integridad del cabello y nervios
- Interviene en procesos de coagulación y de inflamación por medio de la síntesis de eicosanoides
- Mantiene suave y flexible a la piel
- Favorecen la respuesta inmunológica

### **1.6.3. Relación omega 3 y omega 6**

La recomendación de la OMS de esta relación (omega 6: omega 3) es de 4-10:1; aunque algunos argumentan que debe disminuirse hasta 2-3:1.

También se ha visto que a una mayor relación omega 6: omega 3, (por arriba de 10:1) la probabilidad de problemas cardiovasculares y prevalecía en diabetes tipo 2 aumenta.

### **1.6.4. Omega 3 en la prevención y tratamiento de enfermedades**

#### **1.6.4.1. Omega 3 y enfermedades cardiovasculares**

Los omega 3 disminuyen la concentración de triglicéridos, la secreción de las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), la presión arterial y la acción de factores coagulantes, de adhesión y de crecimiento. Por esto es una excelente indicación para la prevención y tratamiento de hipertriglicemias, hipertensión, aterosclerosis, infartos y trombosis.

#### **1.6.4.2. Omega 3 y su papel en los genes**

Recientemente, se han estudiado los efectos de los ácidos grasos en la expresión genética, y se ha demostrado que tanto los ácidos grasos de las membranas celulares y los provenientes de la dieta son moléculas importantes para la expresión celular.

#### **1.6.4.3. Omega 3 y cáncer**

Hay evidencia de estudios epidemiológicos y experimentales que indican que el tipo y la cantidad de grasa que se consume, influye en el desarrollo de ciertos tipos de cáncer.

Se ha encontrado una relación entre la cantidad consumida de ácidos grasos polinsaturados y el cáncer de mama. Los estudios experimentales que indican que los ácidos grasos omega 3 inhiben el desarrollo y progresión de células tumorales. Los omega 3 han demostrado eficacia en el cáncer de mama y colon, suprimiendo su proliferación y metástasis.

#### **1.6.4.4. Omega 3 y diabetes**

Los ácidos grasos tienen efectos muy favorables en la reducción de triglicéridos, incremento de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y mejoramiento en el control de peso, por lo que todos estos factores mejoran el estado del paciente diabético.

#### **1.6.4.5. Omega 3 y control de peso**

Los omegas 3 parecen tener efectos termogénicos, reduciendo la acumulación de grasas. Estimula la oxidación de lípidos, favoreciendo la B-oxidación. De esta forma, los ácidos grasos omega 3 pueden ayudar a reducir el peso corporal y a disminuir la hipertensión y riesgo cardiovascular, muy comunes en personas con obesidad.

#### **1.6.4.6. Omega 3 y desarrollo cerebral**

Algunos estudios muestran relación de mejor desarrollo neurológico y cognoscitivo cuando las dietas maternas contienen omega 3.

#### **1.6.4.7. Omega 3 en desórdenes psiquiátricos**

En ciertos estudios, se han obtenido como resultado que la suplementación con EPA puede mejorar síntomas de pacientes esquizofrénicos. También al ácido omega 3 se les ha llamado “estabilizadores de comportamiento”.

Epidemiológicamente, las poblaciones que consumen gran cantidad de omega 3, tienen una menor tasa de depresión. Más del 65% del cerebro en peso seco está compuesto de lípidos, estos juegan un importante papel estructural y funcional.

#### **1.6.4.8. Omega 3 y sistema inmunológico**

El omega 3 es un potente anti-inflamatorio, por lo que se está probando como tratamiento de artritis reumatoides, enfermedad de Crohn y colitis ulcerosa, obteniendo resultados muy favorables al disminuir algunos síntomas típicos de estas enfermedades.

Además los ácidos grasos polinsaturados tienen actividad inmunoreguladora por lo que aumentan las defensas del ser humano.

## 1.7 Extracción de aceite de nueces

Las operaciones a que se someten las nueces para obtener el aceite son:

- Decortinado: tiene por objeto separar la corteza que cubre la nuez.
- Molienda: de las nueces tiene por objeto reducirla a una pasta muy fina para que se rompan las celdillas que contienen el aceite y dejen a este en libertad. Para la molienda se usan molinos de rodillos o de muelas. Cualquiera que sea la clase de molinos, lo que se debe procurar es que la pasta quede muy fina para que sea liberada la mayor parte del aceite que contiene.
- Prensado: es la operación más importante en la extracción del aceite de nueces. Además de la cantidad de molienda realizada, la proporción de aceite extraído varía con la presión a que se someta y de la manera en que esta se aplique.

Los aparatos que se usan para efectuar el prensado son: una prensa y una tela de tejido resistente para que contenga la pasta, deje pasar solo el aceite, que resista grandes presiones y que no absorba gran cantidad de aceite, ya que sería difícil separarlo de la tela.

- Clarificación: separa del aceite extraído de la prensa, impurezas como: polvo o sustancias sólidas extrañas. Se realiza con agua dando lavados y decantando varias veces. Este proceso se facilita lavando con agua caliente, pues el calor aumenta la fluidez del aceite y le permite subir a la superficie con facilidad.

- Purificación: consiste en separar del aceite las impurezas que quedaron después de la clarificación y que no se pueden separar por lavados, puesto que su densidad es casi igual que la del aceite y se encuentran en suspensión.

## **2. NUEZ DE MACADAMIA CULTIVADA EN FINCA VALHALLA**

El departamento de Sacatepéquez se localiza al suroeste de la República de Guatemala, está situado sobre las altas mesetas de la cordillera de la Sierra Madre, a una distancia de 70 a 110 kilómetros del Océano Pacífico, entre los paralelos 14° 22,5'43" de latitud norte y los 90° 38'53" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y cubre una extensión territorial de 465 km<sup>2</sup>.

La altitud oscila entre 700 y 3 980 msnm. En su orografía, posee zonas montañosas, altas mesetas, enormes picos volcánicos, profundas quebradas y altas llanuras.

La temperatura promedio en el departamento es de 17,90°C, con una precipitación pluvial promedio anual de 1 333 mm<sup>3</sup>. San Miguel Dueñas se encuentra a 1 460 msnm. Bosque muy húmedo subtropical -cálido- es la zona de vida más extensa en el país y en la región central.

El uso potencial de la tierra indica que el suelo de Sacatepéquez tiene una vocación eminentemente forestal. Sin embargo, la permanencia de una agricultura de subsistencia y su incremento debido a factores tales como el crecimiento poblacional, la desigualdad e inseguridad en la tenencia de la tierra, la pobreza y la situación política de la década pasada, junto a otros cambios de uso del suelo -agricultura comercial, ganadería-, a la dependencia de la leña como energético, a las talas ilícitas, así como a fenómenos naturales - incendios, plagas y enfermedades - han producido un acelerado y alarmante proceso de deforestación.

## **2.1. Estudios publicados de la nuez de macadamia cultivada en Guatemala**

En agosto de 2000 se publicó el estudio “Extracción del aceite de nuez de Macadamia de la Variedad HAES 246, sus propiedades y aplicaciones industriales”, en el cual se establece el porcentaje de rendimiento de esta variedad de nuez de macadamia, además de concluir que las propiedades fisicoquímicas de esta variedad corresponden adecuadamente con los resultados que presentan las referencias bibliográficas. Dentro de las recomendaciones de este estudio está continuar realizando estudios acerca de las propiedades de las variedades cosechadas en Guatemala, así como la de realizar un estudio de factibilidad para la extracción de aceite a nivel industrial.

En enero del 2006, se publicó el estudio “Propuesta para el Diseño de un modelo lineal de producción de derivados de la nuez de Macadamia, de la finca Valhalla experimental station, en el municipio San Miguel Dueñas, departamento de Sacatepéquez.”, en el cual se propone un modelo lineal de producción de derivados de nuez de macadamia. En este estudio se documentó el proceso actual de la finca y se sugieren los cambios que deben realizarse para incrementar la producción de la misma así como disminuir las pérdidas de materia prima.

## **2.2. Extracción de aceite por prensado en frío**

La extracción de aceites prensados en frío se sigue realizando hoy en día en forma simple y artesanal. La semilla se descascara parcialmente y se limpia mediante ventilación y zarandeo para eliminar impurezas. La semilla limpia se lleva a la prensa: un extrusor a tornillo sin fin. Aquí se vigila especialmente que la temperatura generada por la presión no supere los 45°C para asegurar la

estabilidad molecular de los ácidos grasos poli-insaturados. Se evita así también la disolución de ceras y otras sustancias.

Durante varios días el aceite bruto decanta en tanques de acero inoxidable. Luego se bombea por un filtro de algodón descartable y se envasa en botellas de vidrio oscuro o envases de hojalata para evitar la oxidación del aceite por acción de la luz ultra violeta. El refinado se hace innecesario, y el aceite conserva el suave sabor propio de la semilla de la cual proviene.

### **2.3. Aceite prensado en frío más sano**

Para que el aceite prensado en frío sea sano debe, además, proceder de semillas de cultivo orgánico y estas ser almacenadas en silos provistos de sistemas de aireación que permitan optimizar su conservación y frescura.

Por estar elaborado con materia prima orgánica debidamente certificada por organismos autorizados, por ser extraído mediante un procedimiento artesanal de rendimiento reducido y tener un envase que lo resguarde de la luz, este tipo de aceites llega al consumidor con un valor diferencial.

Se debe tener en cuenta que los diversos aceites (girasol, lino, sésamo, germen de trigo, etc.) con sus propiedades individuales no son sólo aderezos para las comidas y aporte calórico, sino un alimento esencial: porque aporta nutrientes que el organismo no puede elaborar por sí mismo a partir de otras sustancias.

Estos nutrientes son la vitamina E o tocoferol y los ácidos grasos polinsaturados. El tocoferol, por su acción contra los radicales libres es la vitamina anti envejecimiento y de la fertilidad. Se destruye en los procesos de refinado de los aceites industrializados, por lo cual debe ser restituida en su forma sintética.

## **2.4. Artículo publicado acerca de la nuez de macadamia cultivada en la Finca Valhalla**

### **2.4.1. Macadamia: la nuez de oro**

En el mes de mayo de 2003, la cooperante internacional Lone Hvass, publicó el artículo: "Macadamia la nuez de oro", en la que decía que: "cualquier antropólogo se pondría a dudar sobre el escenario del hombre histórico de maíz sembrando árboles de nuez en su milpa". Sin embargo, está funcionando de maravillas en Guatemala.

A principios de este año se viajó a Valhalla para saborear la comida de los dioses. Valhalla, en este caso, es una granja orgánica y experimental cerca de Antigua Guatemala en donde se cultiva la nuez de macadamia, y la comida de los dioses es ésta misma nuez. La macadamia no es una nuez cualquiera, es una nuez exquisita. Se puede comer como es; cubierta con chocolate (para los viciados); como mantequilla; o en panqueques ya que uno de sus productos derivados es la harina.

Su aceite es una de las más anheladas para productos de belleza, y de la flor del árbol de macadamia se produce una miel deliciosa. Por sus múltiples ventajas, la macadamia se presenta como un cultivo alternativo que puede ser

una respuesta viable para salir de la crisis del café. En la visita a Valhalla, hablé con los propietarios del potencial que tiene el cultivo de la nuez macadamia; de la agricultura orgánica y sostenible; de la cooperación oficial para el desarrollo versus el sector privado y el rol protagónico que éste último puede tener en reducir la pobreza rural.

- Amplia forestación

Los propietarios de Valhalla, Lorenzo Gottschamer y Emilia Aguirre, recibieron el año pasado la prestigiosa *Medaille d'Excellence del Consorcio Internacional de Derechos Humanos* en Ginebra. Este honor se les otorgó en reconocimiento del trabajo que vienen realizando por más de veinte años en Guatemala promoviendo la producción de árboles macadamia, como una alternativa a la agricultura tradicional. Métodos tradicionales de agricultura usualmente implican la deforestación de grandes áreas para la posterior cultivación de la tierra; no así con la producción orgánica de árboles macadamia.

El cultivo de estos árboles, en vez de reducir la forestación, la amplía, y contribuye en forma significativa a la conversión de CO<sub>2</sub> a oxígeno, al control de erosión de tierra, y a la diversidad de vegetación. El árbol de macadamia produce, a más tardar, en tres años y medio, puede servir de sombra en los cafetales, y sigue así hasta por 200 años.

En Guatemala, Valhalla ha introducido macadamia en áreas rurales de los departamentos de Alta Verapaz, Quiché, Petén y Sacatepéquez, donde el clima va de templado a cálido.

Con el tiempo, el podado correcto de las ramas provee leña para las familias campesinas, de manera que no necesitan ir reduciendo el bosque. A nivel nacional, estima Gottschamer, existen unas cien fincas de macadamia y además mil pequeñas.

- La mafia orgánica

El proyecto Valhalla, ha sido diseñado con miras a implementarse a nivel mundial en áreas tropicales, y es la primera herramienta basada en agricultura forestal sostenible que puede aplicarse en la mayoría de países tropicales y subtropicales. En cuanto se tengan fondos suficientes, granjas similares a Valhalla se van a colocar en Nicaragua, Honduras y Belice; también se tiene planes para introducir el cultivo orgánico de la nuez en África, empezando por Nigeria.

— “Somos los *Silicon Valley Boys* del sector medio ambiente, dice Lorenzo Gottschamer, con referencia al famoso lugar en Estados Unidos donde se encuentran muchas empresas de informática: — Lo que puedes observar aquí en la finca, es el resultado de muchos años de investigación y representa la vanguardia de tecnologías orgánicas. Todo proceso es orgánico, incluso las máquinas que sortean las nueces según tamaño. Sin embargo, Gottschamer no quiere certificar sus productos como orgánicos: — Es todo una mafia, dice, — no tengo confianza en tanta burocracia.

Por otro lado, todos estamos contaminados de una u otra forma. El agua, el viento y la tierra ya están contaminados, lo único que puedes hacer es minimizar la contaminación, asegurando que toda intervención tuya sea orgánica”.

Lorenzo Gottschamer enfatiza en la ventaja nutricional de la nuez macadamia, que es mucho mayor que la del maíz: — “Aquí tenemos un producto orgánico de primera clase. Para la familia campesina, en el corto plazo, representa una alternativa más nutritiva que las tortillas de maíz. Si mandas a los niños a la escuela sólo con tortillas y una taza de café, van a estar tan cansados que no van a aprender nada. En cambio, dándoles a comer productos con macadamia, les permiten estar atentos para el aprendizaje. Y a más largo plazo, el cultivo de la nuez orgánica tiene altas posibilidades de competir con productos lucrativos en el mercado internacional”.

- Orgánico vrs. genético

Gottschamer también resalta la urgencia de la agricultura orgánica, y por ende, la conservación ambiental: — “Yo no tengo nada en contra de la investigación sobre genes, pero la aplicación de la ciencia se ha vuelto corrupta, dice: — La Madre Tierra tiene su propia lógica de sobrevivencia, y es la amplitud del ‘banco’ de genes en cualquier especie. Si seguimos clonando y metiéndonos en contra de ésta lógica, sólo vamos a perder. Hay que cooperar con la naturaleza, no combatirla o tratar de engañarla”.

El cultivo de la nuez macadamia en Valhalla ha generado mucho interés en varios sectores, desde las empresas que venden cremas anti-arrugas hasta la cooperación internacional para el desarrollo. Pero en Valhalla, la propiedad intelectual del trabajo se cuida celosamente: —”No estamos para que nos quiten los frutos del trabajo. Estamos trabajando junto con la población indígena para darle una oportunidad de salir ganando. La mayoría de ellos trabajan con un esquema de subsistencia, pero cada vez que toman el bus o compran una batería, contribuyen a la economía, pero eso sí, sin cosechar ningún fruto.

Queremos que participen en la sociedad y en la economía nacional como productores reconocidos, es la única solución viable para acabar con la pobreza rural en Guatemala”.

— “Valhalla es un matrimonio entre la iniciativa privada y la población indígena. El cambio tiene que provenir del sector privado, porque ahí sí se puede fijar responsabilidad en caso de que algo ande mal. Con la cooperación oficial, si algo va mal, sólo se invierte más pisto, y si eso no funciona, se acaba el proyecto. Así la gente pobre nunca puede aspirar a ser más sino proveedores de materia cruda”. ¿Es la nuez macadamia la solución de la crisis del café?, le pregunto a Lorenzo Gottschamer. — Puede ser una de las soluciones. Todos estamos buscando cultivos alternativos, y la producción de la nuez macadamia es sana, sostenible y tiene mercado.”

#### **2.4.2. Macadamia atrae turistas y divisas**

Según publicación del Siglo XXI del 28 de junio de 2005: “Una finca de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, ha encontrado un cultivo que produce dividendos y genera empleo para 20 familias”.

A escasos 52,5 kilómetros de la capital, carretera a San Miguel Dueñas, y muy cerca de Antigua Guatemala, está la finca ‘Valhalla’, que se dedica al cultivo de nuez de macadamia. El lugar es frecuentado anualmente por más de 40 mil turistas de todo el mundo, lo cual también permite al país captar divisas.

La oferta de la empresa incluye para los visitantes un paseo por la plantación, para que luego los viajeros puedan comprar en el mismo lugar diversos productos fabricados con esa nuez en un 100% natural.

Durante el recorrido se pueden apreciar 350 diferentes variedades de árboles de la citada nuez, y al mismo tiempo degustar platillos provenientes del mismo fruto. Se puede, también, hacer una limpieza facial con aceite y crema, hechos en la misma plantación. Todo ello sin costo alguno.

Valhalla posee 5 hectáreas cultivadas con 350 árboles, todos diferentes aunque son de una misma nuez; a éstos se suman mil árboles más de otra finca ubicada en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

- Sustento económico y ambiental

Emilia y Lorenzo Gottschamer, propietarios de la empresa, explican que en los 20 años que tienen de producir — la reina de las nueces, como se conoce a la macadamia, han logrado desarrollar una agricultura sostenible que, a su vez, sirve de base económica para el sustento de 20 familias indígenas que laboran con ellos —

— “El cultivo de esta nuez es ideal para la agricultura sostenible, ya que produce frutos durante todo el año. Nosotros cosechamos de 400 a 500 quintales anuales. Un árbol bien cuidado puede producir durante dos mil años. Además, este tipo de árboles genera otros beneficios que se traducen en ganancias para el país”, expresa Lorenzo Gottschamer.

Los empresarios aseguran que a mediano plazo esperan trascender más allá de la frontera. — “Exportar la nuez fresca y manufacturada es una de nuestras expectativas, Guatemala posee el mejor clima del mundo para el cultivo de este fruto. Asimismo, nos permite promover el desarrollo comunitario y proteger el medio ambiente”, indica Emilia Gottschamer.

- Macadamia al natural

Emilia Gottschamer asegura que es un orgullo para ellos cultivar la nuez de manera natural, ya que a ello se debe la diversidad en el fruto. — Todos nuestros productos son 100% naturales. Incluso, nuestros fertilizantes son orgánicos. Gracias a esto recibimos una medalla de oro del *International Human Right Consortion* de Ginebra, Suiza.

Según el encargado de la finca, José Misteco, cada árbol ha sido plantado por medio de semilla, o bien por el polen que las abejas dejan caer en el suelo. El abono que utilizan lo obtienen de las cáscaras de la misma nuez, a esto se agregan las lombrices coqueta roja, que se crían para producir materia orgánica.

Misteco señala que como todo cultivo estas plantas también se ven amenazadas por las plagas. El torito, nombre de la plaga principal que la acecha, ataca con mayor frecuencia en época de invierno. Sin embargo, con una mezcla de hoja de higuierillo, apazote y flor de muerto se ha controlado.

La macadamia fresca o en productos manufacturados, están ya disponibles en tres tiendas del país y con servicio a domicilio.”

### **2.4.3. Agricultura sostenible en acción**

De la nuez de macadamia y de su flor se extraen algunos productos. Estos van desde alimentos hasta artículos de cuidado para la piel y el cabello. Además contribuyen con el medio ambiente, y previenen o combaten algunas enfermedades.

## **2.5. Diagrama de flujo del proceso de extracción**

### **2.5.1. Descripción del proceso**

El proceso de producción de la nuez de Macadamia se compone de la recolección, el pelado, el secado, el clasificado, el tostado y el empaque de las nueces. A continuación se describe cada operación.

### **2.5.2. Recolección**

Se realiza recogiendo del suelo las nueces que ya maduraron y cayeron del árbol. Se juntan y se colocan en costales para su traslado a la siguiente área. Se recolectan 273 kilogramos diarios - 6 quintales -. un kilogramo es recolectado en 5,28 minutos.

Luego, se trasladan a la peladora que se encuentra a 20 metros.

### **2.5.3. Pelado**

Luego de recolectada y trasladada la macadamia, se retira la cáscara verde que cubre el cascarón que contiene la nuez, lo cual se realiza una vez por semana. Un kilogramo se pela en 0,22 minutos aproximadamente.

Se pela con una máquina que funciona por medio de un motor de gas propano, compuesta por un neumático que gira en contra de las manecillas del reloj y las nueces lo rodean en sentido contrario, logrando por medio de fricción que la cáscara se desprenda. Luego de esto, las conchas obtenidas son trasladadas al área de secado que se encuentra a 5 metros.

Las cáscaras verdes se usan como abono inorgánico llevándolas a lugares ya establecidos en el campo.

#### **2.5.4. Secado**

Las nueces dentro del cascarón son colocadas sobre unas camas de madera bajo el sol para secarlas. El secado tarda de 15 a 21 días, dependiendo del clima.

Esto es un requisito necesario para cascar la nuez fácilmente sin hacer mucho daño a la pulpa. También se evita que restos de la pulpa se queden pegados a la cáscara, ya que la nuez se encoge y se separa del casco, lo cual es indispensable para el almacenamiento y la obtención de un tostado óptimo. Luego, son trasladadas al área de clasificación a 6 metros.

#### **2.5.5. Clasificado**

Las nueces se clasifican de acuerdo con el tamaño, de las más pequeñas a las más grandes. Para el efecto se utiliza un clasificador de barras de metal, las cuales están dispuestas con diferentes separaciones, permitiendo que penetren las nueces según su diámetro, cayendo por gravedad directamente a unos costales en los que se depositan para su traslado a la bodega, en la cual permanecen durante siete días. Los 273 kilogramos -6 quintales- de nuez que se recogen en un día se clasifican en 4 horas.

Las conchas de tamaño más pequeño no son utilizadas. La clasificación de las nueces es importante debido a que de acuerdo con esta etapa se gradúa la máquina trituradora.

### **2.5.6. Quebrado**

Las conchas se introducen a la trituradora para quebrarlas, ya que son extremadamente duras y por ello se sacan mecánicamente con un martillo graduable de acuerdo con el diámetro de las nueces; se consideran adecuadas las que tienen de 12 a 35 mm de diámetro máximo.

En esta operación aproximadamente el 60% es de nuez entera, el 25% de nuez quebrada y un 15% de nuez rechazada. La nuez entera se procesa y se empaqueta; la quebrada, se utiliza para la extracción de aceite y el rechazo se debe a que algunas salen muy negras o muy húmedas.

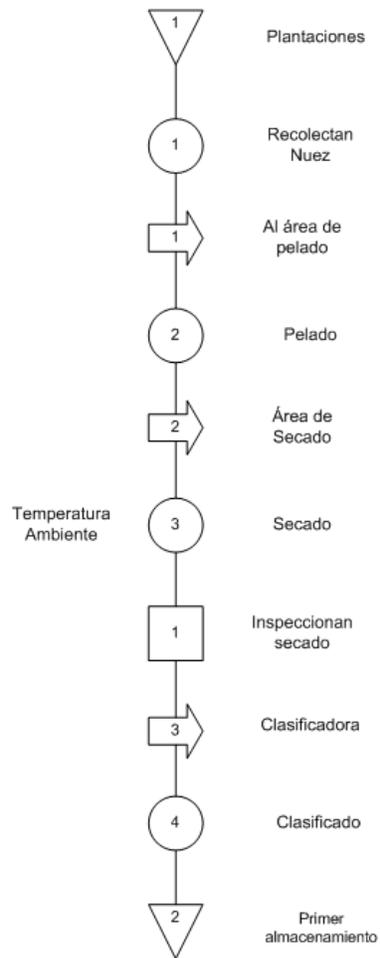
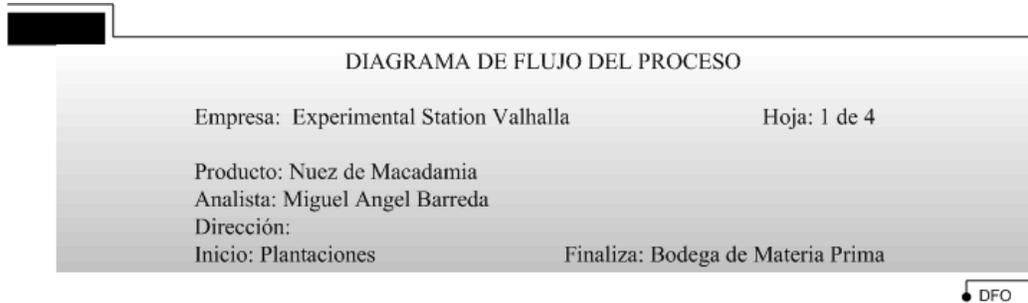
### **2.5.7. Tostado**

El tostado es importante para llegar al color deseado. La nuez de macadamia es tostada en un horno eléctrico a 45 °C, durante 48 horas. El horno tiene capacidad para 137 kilogramos -3 quintales- de nuez.

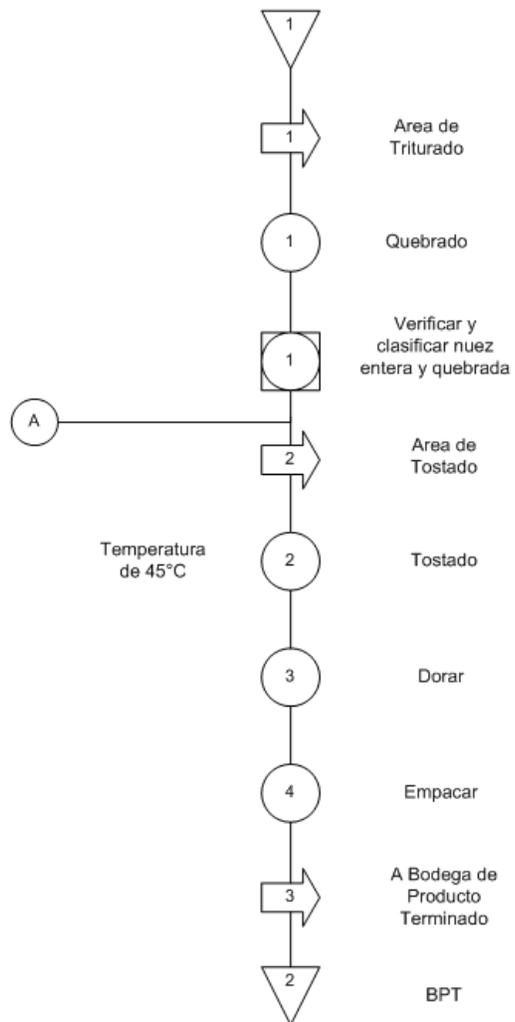
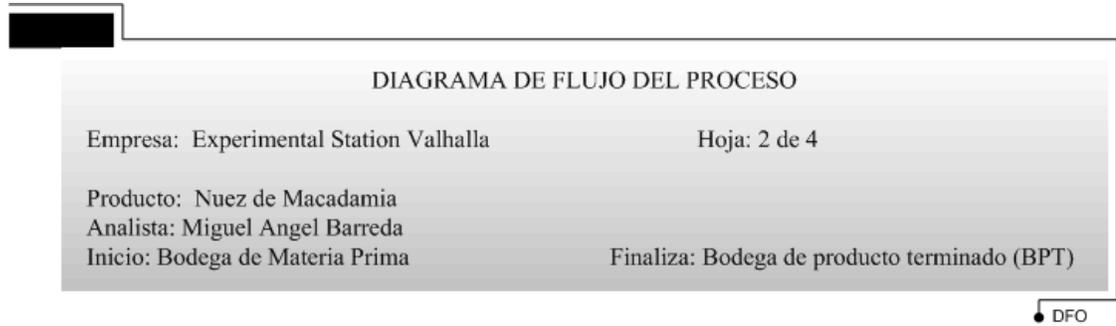
### **2.5.8. Empaque y almacenaje**

Antes de empaquetar se quitan cuerpos extraños -piedritas, restos de cáscara- y se colocan en bolsas de papel celofán selladas; y los chocolates envueltos en papel aluminio colocados dentro de bolsas de papel celofán. Así mismo, el aceite es depositado en pequeños envases de plástico, tipo goteros en presentaciones de 15 ml y 30 ml.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso



## Continuación figura 2...

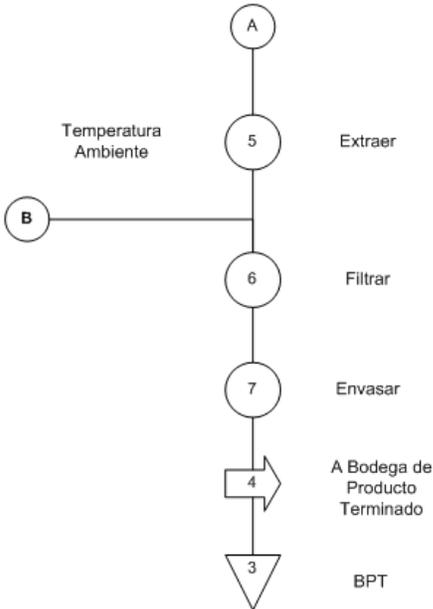


Continuación figura 2...

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO**

Empresa: Experimental Station Valhalla	Hoja: 3 de 4
Producto: Nuez de Macadamia	
Analista: Miguel Angel Barreda	
Inicio: Bodega de Materia Prima	Finaliza: Bodega de producto terminado (BPT)

● DFO







## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1. Medios**

#### **3.1.1. Recursos humanos**

El trabajo se realizó con la señorita del licenciado Marco Tulio Urizar Moncrieff, catedrático del curso de Agroindustria de la Universidad del Valle de Guatemala y el estudiante de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos, Miguel Ángel Barreda Muralles.

#### **3.1.2. Recursos físicos**

- Laboratorio de Agroindustria de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Bibliotecas de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de la Universidad del Valle de Guatemala.

#### **3.1.3. Recursos materiales**

De la planta se tomaron 8 muestras de 50 ml provenientes del proceso de prensado, ya filtradas, para hacer 3 repeticiones de cada análisis.

## **3.2. Método de investigación**

Se utilizó el método experimental descriptivo.

### **3.2.1. Determinación de propiedades físicas**

- Viscosidad
- Índice de refracción
- Índice de color
- Gravedad específica

### **3.2.2. Análisis químico del aceite**

- Índice de saponificación
- Índice de yodo
- Índice de acidez
- Peróxidos
- pH
- Cenizas

## **3.3. Descripción detallada de las propiedades físicas y químicas del aceite de nuez de macadamia**

- Viscosidad

Se define como la resistencia de un líquido a fluir. Esta resistencia es provocada por las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido.

- Índice de refracción

Relación que existe entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicha sustancia. Esta relación se mide respecto al aire en vez de hacerlo con respecto al vacío.

- Índice de color

Para determinar el color de aceites y grasas, se utiliza el método espectrofotométrico utilizando longitudes de onda que se encuentren dentro del espectro de luz visible (400 a 700 nm). Este método es aplicable para aceites y grasas de origen vegetal y animal.

- Gravedad específica

Este método es utilizado para aceites en estado líquido a temperatura ambiente. La gravedad específica se define como la relación entre la densidad de una sustancia con la densidad del agua a una temperatura de 20 °C.

- Índice de saponificación

Usando el método del hidróxido de sodio en alcohol, se prepara una solución de hidróxido de sodio en alcohol. Ocho gramos de hidróxido de sodio se disuelven en 250 ml de etanol absoluto y después que se ha completado la disolución se añaden 25 ml de agua. Esta solución se valora por titulación con una solución de ácido clorhídrico 0,25N, previamente valorada, o por titulación directa de una muestra pesada de ftalato ácido de potasio puro.

Saponificación del éster. El éster se coloca en una pesa filtros que contenga una pipeta pequeña. Se determina el peso del pesa filtros y de la pipeta y por medio de ésta se transfiere una muestra de 0,2 a 0,4 g y del éster a un matraz Erlenmeyer de 150 ml, la pipeta se regresa al pesa filtros y los dos se pesan nuevamente. La pérdida de peso es peso de la muestra. Mediante una bureta se añaden quince mililitros de la anterior solución de hidróxido de sodio en etanol al matraz que contiene el éster. Al matraz se le coloca un eficiente refrigerante de reflujo por medio de un tapón de hule limpiado escrupulosamente y la mezcla se calienta suavemente a un reflujo durante 1 ¼ a 1 ½ horas, después de este tiempo se le deja enfriar durante 15 minutos.

Se afloja el tapón del refrigerante y el tapón de hule y el tubo del refrigerante y se lavan con un chorro de agua procedente de una piseta; los lavados se dejan caer en la mezcla de saponificación. Se añaden dos gotas de solución de fenolftaleína y se titula el exceso de álcali por medio de ácido clorhídrico 0,25 N. El punto final debe quedar débilmente rosa. Es mejor titular la solución hasta que la fenolftaleína quede incolora y entonces se re-titula con el álcali original.

$$\text{Equivalente de saponificación} = \frac{\text{peso de la muestra} \times 10}{[\text{Volumen del álcali (ml)} \times \text{F.N.}] - [\text{volumen del ácido (ml)} \times \text{F.N.}]}$$

- Índice de yodo

Indica el grado de insaturación de la molécula de aceite expresada en gramos de yodo consumidos por cien gramos de sustancia analizada.

Utilizar una cantidad de aceite o grasa exactamente pesada, adicionarle reactivo de *Wijs* (solución de monoclóruo de yodo en ácido acético) calculando la cantidad de yodo consumido mediante la titulación del exceso de yodo con una solución de tiosulfato de sodio.

$$\text{Índice de yodo} = \frac{12,69 (v1 - v2) N}{m}$$

Siendo:

- V1 volumen de solución de tiosulfato de sodio consumido en la titulación de la prueba en blanco (ml)
- V2 volumen de solución de tiosulfato de sodio consumido en la titulación de la muestra (ml)
- N normalidad de la solución de tiosulfato de sodio
- m masa de la muestra.

- Índice de acidez

Cantidad de KOH necesario para neutralizar la acidez, está expresada en mg de KOH por gramo del producto y corresponde al contenido de ácidos grasos libres que contiene un aceite o una grasa, expresados en porcentaje de ácido oleico, palmítico o láurico, calculándose de la siguiente manera:

$$\frac{\text{mg de KOH}}{\text{Gramos}} = \frac{56,1 V N}{m}$$

Donde:

V = volumen de solución de NaOH empleado en la titulación (cm<sup>3</sup>)

N = normalidad de la solución de NaOH

M = masa de la muestra en gramos

- Materia insaponificable

Conjunto de sustancias que se encuentran disueltas en los cuerpos grasos no saponificables por los álcalis, pero solubles en los solventes ordinarios de los aceites y grasas.

El procedimiento a seguir es: debe saponificarse completamente una determinada cantidad de muestra y luego efectuar una serie de extracciones con éter etílico, los extractos obtenidos se lavan con solución de KOH, con el objeto de eliminar los jabones que pudieran estar presentes y luego con agua para eliminar el exceso de álcali. La materia insaponificable se debe secar y pesar.

- pH

De las muestras provenientes del proceso de prensado, ya filtradas se determinan el pH, que es logaritmo del inverso de la concentración molar de los iones hidrógeno, este se calculará del resultado obtenido del índice de acidez.

- Cenizas

Una cantidad de muestra se coloca en una cápsula vacía, tarada previamente, se calcina a una temperatura de 850 °C y se expresa en porcentaje de masa. Para obtener el contenido de cenizas del aceite de nuez de macadamia:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

Donde

m1 masa de la cápsula vacía (gramos)

m2 masa de la cápsula con muestra (gramos)

m3 masa de la cápsula con cenizas (gramos)



## 4. RESULTADOS

- De las muestras analizadas se obtuvieron los siguientes resultados promedio de tres determinaciones:

Tabla VII. **Propiedades físicas del aceite de macadamia**

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Resultado 1</b>	<b>Resultado 2</b>	<b>Resultado 3</b>	<b>Resultado promedio</b>
<b>Viscosidad a 21 °C (cp)</b>	17 000,00	17 000,00	17 000,00	17 000,00
<b>Índice de refracción</b>	<b>1,4662</b>	<b>1,4668</b>	<b>1,4659</b>	<b>1,4663</b>
<b>Índice de color</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Gravedad específica (g/cc a 20 °C)</b>	<b>0,9183</b>	<b>0,9186</b>	<b>0,9168</b>	<b>0,9179</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Propiedades químicas del aceite de macadamia**

<b>Propiedades químicas</b>	<b>Resultado 1</b>	<b>Resultado 2</b>	<b>Resultado 3</b>	<b>Resultado promedio</b>
<b>Índice de saponificación (gKOH/Kg)</b>	191,74	191,70	191,75	191,74
Índice de yodo (gl2.100g-1)	<b>75,40</b>	<b>75,38</b>	<b>75,39</b>	<b>75,39</b>
Índice de acidez	<b>2,39</b>	<b>2,50</b>	<b>2,46</b>	<b>2,45</b>
Índice de peróxidos (meq.100g-1)	<b>5,98</b>	<b>5,98</b>	<b>5,99</b>	<b>5,98</b>
pH	<b>5,68</b>	<b>5,68</b>	<b>5,68</b>	<b>5,68</b>
Contenido de cenizas (%)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fuente: elaboración propia.

- Parámetros de calidad del aceite de nuez de macadamia para ser utilizados en el diseño de una planta productora en gran escala.

Los parámetros de calidad propuestos para el aceite de nuez de macadamia tienen un error máximo del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Tabla IX. **Parámetros físicos propuestos**

<b>Viscosidad (cp)</b>	<b>Índice de refracción</b>	<b>Índice de color</b>	<b>Gravedad específica</b>
17 000 +/- 425	1,4663 +/- 0,0367	0,00	0,9179 +/- 0,0229

Fuente: elaboración propia

Tabla X. **Parámetros químicos propuestos**

<b>Índice de saponificación</b>	<b>Índice de yodo</b>	<b>Índice de acidez</b>	<b>Índice de peróxidos</b>	<b>pH</b>	<b>Contenido de cenizas</b>
191,74 +/- 4,7935	45,39 +/- 1,8848	2,45 +/- 0,0612	5,98 +/- 0,1495	5,68 +/- 0,142	0,0

Fuente: elaboración propia.



## 5. DISCUSIÓN

Del aceite de nuez de macadamia, a pesar de sus potencialidades, es poco lo que se conoce sobre la composición química de los aceites obtenidos de variedades guatemaltecas, por ello el propósito de este estudio es evaluar las propiedades físicas y químicas de los aceites producidos con especies nativas en la planta experimental Valhalla.

La muestra de aceite de nuez de macadamia que se utilizó en este estudio, presentó un índice de acidez ligeramente superior al máximo permitido para los aceites de maíz y soja, sin embargo, se encuentra debajo del máximo permitido para el aceite de oliva. El resultado del índice de peróxidos se comporta de la misma manera que el índice de acidez, lo cual refleja la estabilidad del aceite de nuez de macadamia ante la oxidación.

Asimismo, el índice de saponificación, que está relacionado con el peso molecular promedio de los ácidos grasos presentes en los triglicéridos, es semejante a los señalados para los aceites comerciales, lo cual impide hacer una distinción entre ellos en cuanto a composición de ácidos grasos.

Tabla XI. **Características químicas y físicas de los aceites de oliva, maíz y soja**

<b>Aceite</b>	<b>Acidez (% ácido oleico)</b>	<b>Índice de peróxidos (meq.100g-1)</b>	<b>Índice de saponificación (gKOH/Kg)</b>	<b>Índice de yodo (gl2.100g-1)</b>	<b>Gravedad específica (g/cc a 25°C)</b>	<b>Índice de refracción</b>
<b>Oliva</b>	3,3	< 20	182 a 193	80	0,910 a 0,916	1,4677 a 1,4705
<b>Maíz</b>	1,0	< 5	187 a 193	115 a 124	0,914 a 0,921	1,4701 a 1,4710
<b>Soja</b>	1,0	< 5	187 a 197	125 a 140	0,915 a 0,925	1,4704 a 1,4744

Fuente: <http://users.aol.com/CalMacSociety/nutritional.html>

El índice de yodo produjo un valor ligeramente bajo en comparación con el aceite de oliva, pero si mucho menor a los parámetros establecidos para los aceites de maíz y soja. Este resultado comprueba que no existe adulteración del producto por adición de aceites más insaturados, como por ejemplo, aceite de maíz que es de menor costo.

Previo a realizar la lectura del índice de refracción se realizó una corrida patrón utilizando agua destilada a una temperatura de de 20 °C dando una lectura de 1,3329 el cual comparándolo con el valor teórico 1,33299 no presentaba variación.

El índice de refracción se ubicó en el intervalo de 1,4677 a 1,4705 que coincide con los valores señalados para el aceite de oliva virgen y se alejan de los correspondientes para aceites de soja y maíz, los cuales son ligeramente superiores.

Finalmente, la gravedad específica presenta un valor que se asemeja mucho a los señalados para los aceites de maíz y soja.

El aceite de nuez de macadamia es un aceite puro, ya que no contiene cenizas o residuos de algún tipo de impurezas. El índice de color del aceite de nuez de macadamia no presenta lectura en el intervalo de 400 a 680 nm, a diferencia del aceite de oliva que tiene una absorbencia de 1,5 en el pico más alto reportado en el intervalo de 360 a 680 nm. Se utilizó una celda de cuarzo de 1 cm de paso, debido a que éste no absorbe los rayos ultravioleta a diferencia del vidrio y se comparó contra agua destilada.

Este aceite presenta características muy especiales que lo hacen un producto con mucha demanda, principalmente de uso cosmético, ya que le confiere a la piel, una textura muy suave al tacto y una capa protectora. Una gran desventaja es su alto precio, por lo que no se recomienda para uso culinario.



## CONCLUSIONES

1. Se determinaron las propiedades físicas del aceite de nuez de macadamia, estableciendo una viscosidad de 17 000cp, un índice de color de 0, un índice de refracción de 1,4663 y una gravedad específica de 0,9179 g/cc.
2. Se determinaron las propiedades químicas del aceite de nuez de macadamia, estableciendo los índices de saponificación de 191,74 gKOH/Kg, yodo de 75,39  $\text{gl} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , acidez de 2,45, peróxidos de 5,98  $\text{meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , un pH de 5,68 y contenido de cenizas de 0%.
3. Se establecieron los parámetros de calidad con un nivel de confianza del 95% y un error máximo del 5%.
4. Los índices físicos y químicos evaluados sugieren que el aceite de nuez de macadamia tiene una gran semejanza con el aceite de oliva, a excepción del índice de color que presenta una absorbancia cero en el intervalo de 400 a 680 nm del espectro visible.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar el perfil de ácidos grasos al aceite de nuez de macadamia para tener una descripción completa del mismo.
2. Desarrollar trabajos orientados hacia la identificación de componentes bioactivos como antioxidantes, con el fin de evaluar tanto la estabilidad del producto como sus beneficios potenciales para la salud de los consumidores.
3. Continuar realizando estudios sobre el tema para obtener mayor cantidad de datos y de este modo obtener datos más confiables.

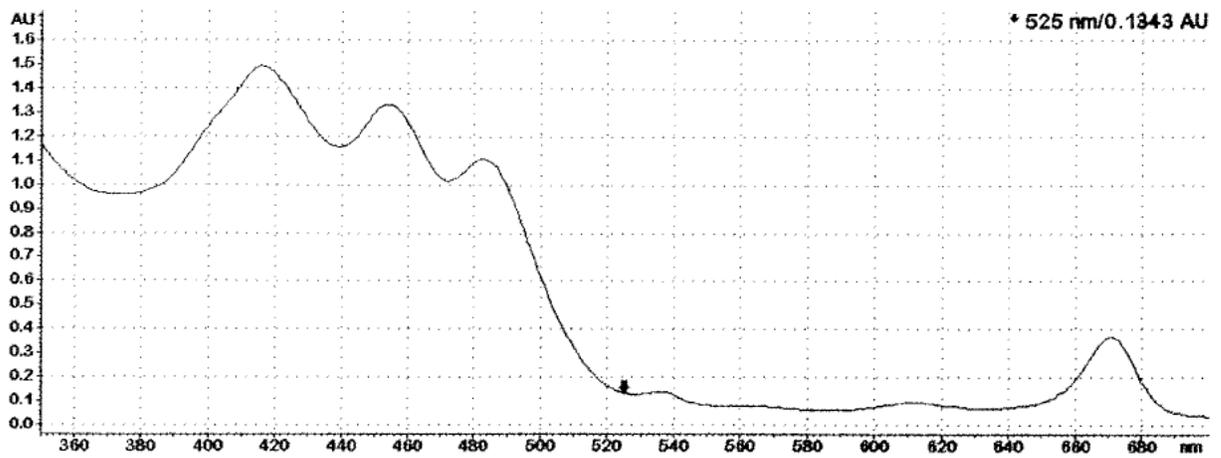


## APÉNDICE



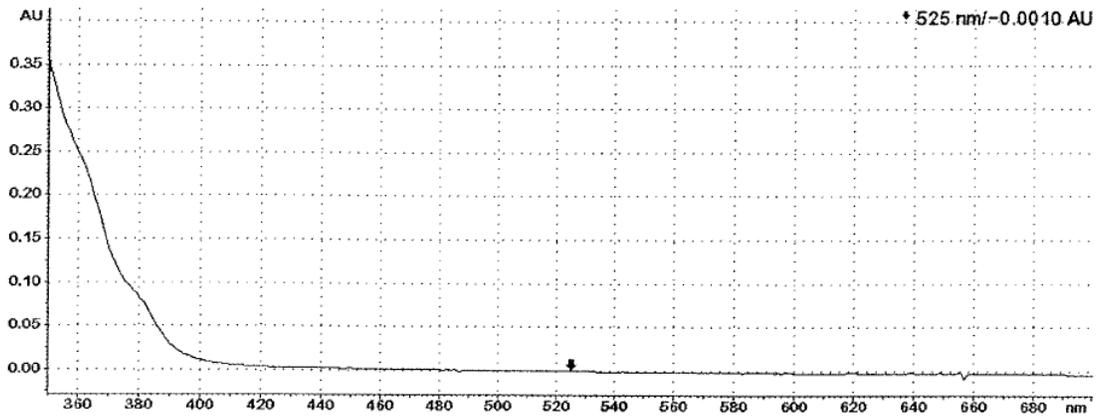
## ESPECTROS DE ABSORCIÓN

### Espectro de absorción del aceite virgen de oliva



Fuente: espectrofotómetro HP modelo 5483E de la  
Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

## Espectro de absorción del aceite de nuez de macadamia



Fuente: espectrofotómetro HP modelo 5483E  
de la Unidad de Análisis Instrumental de la Universidad del Valle de Guatemala.

## BIBLIOGRAFÍA

1. DE LEÓN BARRIOS, Francisco Khalil. “Extracción del aceite de Nuez de Macadamia y su variedad HAES 246, sus propiedades y aplicaciones industriales”. Trabajo de graduación de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2000. 127 p.
2. GARY, Christian. *Análisis instrumental química analítica*. 2ª ed. México: Limusa, 1985. 700 p.
3. GRAF, Ernest; SAGUY, Israel Sam. *Food product development*. Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold, 1991. 441 p.
4. HARRIS, Daniel. *Análisis químico cuantitativo*. 3ª ed. Estados Unidos: Reverté, 2001. 959 p.
5. HOWARD, Strobel. *Análisis instrumental: instrumentación química, estudio sistemático del análisis instrumental* 3ª. Ed. México: Limusa, 1982. 719 p.
6. MACY, R. *Química orgánica simplificada*. 2ª ed. Argentina: Reverté, 1964. 560 p.
7. MENCHÚ, María Teresa et al. *Tabla de composición de alimentos de Centro América*, Guatemala: INCAP, 1996. 214 p.

8. MORRISON, Robert Thornton; BOYD. *Química orgánica*. 5ª ed. Estados Unidos: Pearson, 1996. 1474 p.
9. MURRAY, R. y GRANER, D. *Bioquímica de Harper*. 11ª ed. México: El Manual Moderno, 1988. 740 p.
10. NOLLER, C. *Química orgánica*. 3ª ed. México: Interamericana, 1966. 301 p.
11. PERRY, J.H. *Chemical engineers handbook*. 4ª ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1963. Tomo VI. 260 p.
12. RAABE, R.D. Crown-gall of macadamia in Hawaii. *Plant Disease Reporter* 48: 673-676. 8. Zentmyer, G. A. 1960.
13. RUMSEY, H.J. *Australian nuts and nut growing in Australia*. 8ª . ed. Parte I. Sydney, 1967. 120 p.
14. TOPEREK, M. *Bioquímica*. 3ª ed. México: Interamericana, 1984. 208 p.