



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

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA
DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES
TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA**

Midzar Daniel García Estrada

Asesorado por Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA
DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES
TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

MIDZAR DANIEL GARCÍA ESTRADA
ASESORADO POR EL ING. MSC. ERWIN MANUEL ORTIZ CASTILLO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
GUATEMALA, OCTUBRE de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Velíz Vargas

TRIBUNAL QUE PRATICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Inga. Teresa Lisely de León Arana
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA
DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES
TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA,**

tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 18 de Octubre de 2007.



Midzar Daniel García Estrada

Guatemala, 8 de octubre de 2008.

Ing. Msc. Williams Guillermo Alvarez Mejia.
Director de Escuela
Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Estimado Ing. Alvarez.

Por este medio comunico a usted que he revisado el Informe Final del Estudio de Tesis del estudiante Universitario de la carrera de Ingeniería Química: MIDZAR DANIEL GARCÍA ESTRADA con número de carné: 1999-11791, titulado: OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA, que son dos variedades de macadamia que se cultivan en Guatemala. Este estudio incluye los índices de calidad: de yodo, de saponificación, de peróxido, de rancidez, prueba del frío y contenido de jabón, además del rendimiento en extracción del aceite utilizando el procedimiento por prensado en frío y la caracterización Química de los ácidos grasos y las proporciones de estos en los aceites.

Por lo anterior, considero que los datos obtenidos y la información proporcionada en este estudio de tesis es importante para aquellas personas vinculadas con la producción, comercialización y, aplicaciones en los productos del cuidado del cuerpo.

Por lo que dejo constancia de mi aprobación para su publicación y, difusión de la presente investigación.

Sin otro particular,

Atentamente,



Ing. Q. Msc. Erwin Manuel Ortiz Castillo.
Asesor de tesis.
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

cc.



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

Guatemala, 08 de Octubre del 2008
Ref. EI.Q.0277-A.2008

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-087-08-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 **MIDZAR DANIEL GARCÍA ESTRADA**, identificado con carné No. **1999-11791**, titulado: **"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA**, el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales, como consta en el Acta.

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

"ID Y ENSEÑADA TODOS"



ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA

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

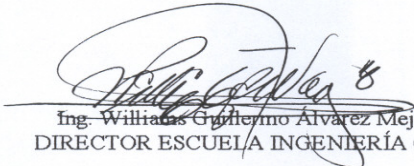
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



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

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación del estudiante **Midzar Daniel García Estrada** titulado: **“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, octubre de 2,008

C.c.: archivo

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.371.08

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: **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE MACADAMIA DE LAS ESPECIES TETRAPHYLLIA E INTERGRIFOLIA**, presentado por el estudiante universitario **Midzar Daniel García Estrada**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2008



/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	A Él sea la honra y la gloria por los siglos de los siglos, porque Él me dio la sabiduría y la inteligencia, y porque nunca me ha desamparado.
Mis padres	Midzar Daniel García Estrada e Iris Rosibel Estrada Hernández, por su apoyo.
Mis abuelas	Juana Consuelo Flores de García D.E.P. y Marta Julia Estrada Hernández por sus consejos y el amor que me han dado.
Mis tíos	Lilly y Billy Estrada. Lety, Loida y Haroldo García.
Mis hermanos	Tarín D.E.P. David, Cony, Daniela, Becerro, Karina, Daninet, José, Diana, Nury.
Mis amigos	Alfredo Santos, Milton Cabrera, Cesar Urizar, Fredy Lucas, Mario Garzona.
Mi asesor	Ingeniero Químico Erwin Ortiz Castillo, por la paciencia y ayuda incondicional.
Personas especiales	Doña Luisa del Cid, por la paciencia que me tuvo. Personal de la A.E.U. por su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
HIPÓTESIS	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Generalidades de la macadamia	
1.1.1 Clasificación de la macadamia	1
1.1.2 Condiciones favorables del cultivo de macadamia	3
1.1.3 Usos de la macadamia	4
1.2 Ácidos grasos en el aceite de macadamia	6
1.3 Calidad de los aceites	10
1.3.1 Calidad del aceite de macadamia, según el índice de yodo	11
1.3.2 Calidad del aceite de macadamia, según del índice de saponificación	12
1.3.3 Calidad del aceite de macadamia, según del índice del peróxido	12
1.3.4 Calidad del aceite de macadamia, según el contenido de jabón	13

1.3.5 Calidad del aceite de macadamia, según la la prueba del frío	13
1.3.6 Calidad del aceite de macadamia, según la prueba de rancidez (ensayo de Kreis)	13
1.4 Extracción del aceite de macadamia	
1.4.1 Extracción del aceite de macadamia industrialmente	14
1.5 Análisis estadístico	15
1.5.1 Prueba de Tukey	15
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1 Localización	18
2.2 Recursos humanos	19
2.3 Materiales	21
2.4 Equipo	22
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	
3.1 Índice de saponificación (Norma COGUANOR 34 072 h1)	21
3.2 Índice de índice de yodo (Norma COGUANOR 34 072 h2)	22
3.3 Índice de índice de peróxido (Norma COGUANOR 34 072 h21)	24
3.4 Índice de contenido de jabón (Norma COGUANOR 34 072 h29)	25
3.5 Índice de prueba de rancidez (Norma COGUANOR 34 072 h12)	26
3.6 Índice de la prueba de frío (Norma COGUANOR 34 072 h13)	27
4. RESULTADOS	31
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35

CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
BIBLIOGRAFÍA	49
APÉNDICE	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Nuez de macadamia con cáscara y su fruto	1
2. Hoja del árbol de macadamia de la especie <i>M. intergrifolia</i>	4
3. Hoja del árbol de macadamia de la especie <i>M. tetraphyllia</i>	4
4. Estructura molecular del ácido linolénico	7
5. Estructura molecular del ácido linoleico	7
6. Estructura molecular del ácido oleico	8
7. Estructura molecular del ácido palmitoleico	8
8. Estructura molecular del ácido mirístico	9
9. Estructura molecular del ácido esteárico	9
10. Estructura molecular del ácido palmítico	9
11. Estructura molecular del ácido araquídico	10
12. Estructura molecular del ácido margárico	10
13. Estructura molecular del ácido behínico	10
14. Prensa utilizada en la extracción de aceite	15
15. Cromatograma del aceite de <i>M. Intergrifolia</i>	46
16. Cromatograma del aceite de <i>M. tetraphyllia</i>	47
17. Árbol de macadamia de la especie <i>M. intergrifolia</i>	53
18. Árbol de macadamia de <i>M. tetraphyllia</i> con sus frutos	51
19. Materia prima antes de extraer el aceite de macadamia de la especie <i>M. intergrifolia</i>	52
20. Macadamia de la especie <i>M. tetraphyllia</i> antes de extraer el aceite en la prensa	52

TABLAS

I	Discriminador de Tukey.	14
II	Índices de calidad obtenidos del aceite de macadamia de las especies <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i> y su parámetro establecido según normas COGUANOR	29
III	Rendimiento de la extracción de aceite de las especies de Macadamia <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i>	29
IV	Perfil de ácidos grasos de las especies de macadamia <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i>	30
V	Comparador de Tukey para las medias de los índices de calidad realizados al aceite de <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i> .	30
VI	Comparador de Tukey para las medias obtenidas del porcentaje de ácidos grasos encontrados en el aceite de <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i> .	31
VII	Nombre clásico y sistemático de los ácidos grasos obtenidos en los aceites de macadamia analizados	33
VIII	Porcentaje de ácidos grasos en el aceite de macadamia de las dos especies estudiadas	34
IX	Índices de calidad obtenidos del aceite de macadamia de las especies <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i> .	44
X	Índice de calidad del aceite de macadamia de la especie <i>M. intergrifolia</i> . Y la media de los datos obtenidos.	44
XI	Índice de calidad del aceite de macadamia de la especie <i>M. tetraphyllia</i> , y la media de los datos obtenidos.	45
XII	Rendimiento de la extracción de aceite de las especies de Macadamia <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i>	45
XIII	Perfil de ácidos grasos obtenidos en el cromatógrafo de gases realizada a las especies <i>M. intergrifolia</i> y <i>M. tetraphyllia</i>	46

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
µg	Microgramos
mm	Mililitros
ppm	Partes por millón
N	Normalidad
M	Molaridad
Meq	Miliequivalentes
D	Discriminador Tukey
K	Número de tratamientos
N	Número de observaciones
H ₀	Hipótesis nula
H ₁	Hipótesis alternativa
v	Grados de libertad
S ²	Varianza
α	Valor de significancia

GLOSARIO

Celite	El material del que se compone Celite, está formado por los restos de los esqueletos de diminutas plantas denominadas diatomeas.
Hipótesis nula	Es la hipótesis que se quiere probar o que se desea demostrar
Índice de saponificación	Análisis químico que determina la cantidad de materia saponificable que se encuentra en una muestra de grasa o aceite.
Índice de yodo	Procedimiento mediante el cual se determina el grado de insaturación de una grasa o aceite.
Índice de peróxido	Cantidad total de material que oxida el yoduro de potasio.
Índice de rancidez	Conocido como ensayo de Kreis, este análisis determina la rancidez incipiente en grasas y aceites.
Determinación de jabón	Tiene por objetivo determinar el contenido de jabón en grasas aceites.
Prueba de frío	Determina la resistencia de las grasas y aceites que presentan a la cristalización.

Prueba de Tukey	Método para realizar comparaciones entre un conjunto de medias estadísticas.
Cromatografía de gases	Método de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una fase estacionaria de área superficial grande, y la otra es un fluido (un gas) que pasa por la fase estacionaria.
Saponificación	Reacción química entre un lípido saponificable o ácido graso y una base.
Prensado en frío	Método de extracción de aceite en cual consiste en ejercer una gran presión a las semillas a temperatura ambiente.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en la extracción y posterior caracterización, tanto física como químicamente del aceite de macadamia de dos especies distintas, dichas especies son conocidas comúnmente con sus respectivos nombres científicos, *M. Intergrifolia* y *M. tetraphyllia*.

Para dicho trabajo experimental se tuvo que obtener la materia prima directamente de los árboles de macadamia, esto se realizó en una finca localizada en Antigua Guatemala, para evitar comprarla en el mercado y obtener incertezas. Posteriormente, se extrajo el aceite de macadamia utilizando una prensa hidráulica proporcionada por el Centro Universitario del Sur de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido el aceite fue filtrado utilizando celite evitando procesos de refinación, ya que estos alteran las composiciones de los aceites.

Seguidamente, se procedió a obtener los índices de calidad de las muestras, siendo el índice de saponificación para la especie *M. Intergrifolia* y *M. tetraphyllia* respectivamente de 195.60 y 195.87 mgKOH/g, el índice de peróxido 1.60 y 1.60 meq/Kg, el índice de yodo 82.27 y 84.66 gI/g, el índice de frío 9 horas para ambas especies, el contenido de jabón 68.40 y 60.80 %, la prueba de rancidez no presentó rancidez incipiente para ambas muestras. También se utilizó el cromatógrafo de gases encontrado en el Departamento de Toxicología de la U.S.A.C. para obtener el perfil de ácidos grasos de dichas muestras. El resultado del perfil de ácidos grasos dio diez diferentes ácidos grasos, siendo estos el ácido mirístico con 1.02 y 1.11 por ciento en la especie *M. Intergrifolia* y *M. tetraphyllia* respectivamente, el ácido palmítico con 8.46 y 8.40, el ácido palmitoleico con 18.42, el ácido margárico 0.34 y 0.38, el ácido esteárico con 3.32 y 3.27, el ácido oleico con 60.16 y 60.18, el ácido linoleico con 2.23 y 2.31, el ácido araquídico con 2.61 y 2.58, el ácido linolénico con 2.67 y 2.60, y el ácido behínico con 0.77 y 0.82, todos los datos expresados en porcentaje en masa.

Todo esto para poder realizar los análisis necesarios que nos permitieran emitir una conclusión acerca de las semejanzas o diferencias entre estas dos especies de macadamia.

Además de los análisis tanto físicos como químicos realizados al aceite de macadamia de las diferentes especies, se tomó en cuenta una variable que fue determinante para emitir una conclusión, esta fue la cantidad de aceite que se obtuvo por medio del prensado en frío, ya que las nueces de macadamia fueron tratadas bajo las mismas condiciones. Las cantidades obtenidas variaban significativamente de especie a especie, no así las primeras pruebas.

Las diferentes pruebas físicas realizadas a las muestras de aceite de macadamia de las diferentes especies fueron realizadas siguiendo los procedimientos encontrados en las normas COGUANOR, referentes a las índices de calidad a los que se deben someter los diferentes aceites para determinar si son o no comestibles. Se utilizaron estas normas sobre otras normas idénticas, ya es que cada país en el mundo puede establecer los controles de calidad a los aceites dependiendo de sus propios intereses, y a que aquí en Guatemala dichas normas son las que por ley se deben aplicar y también son las que tienen un carácter legal.

Con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis estadístico respectivo, el comparador utilizado fue la prueba de Tukey, que es una poderosa herramienta que se utiliza para determinar si existe o no, diferencia entre dos o más medias de datos. Se procedió a determinar un valor de significancia (α) de 5% para el presente experimento. Para poder aplicar este comparador fue necesario realizar dos corridas por experimento, a las corridas le llamamos observaciones y a los experimentos le llamamos tratamientos, es decir que los datos presentados a lo largo de este informe es en realidad la media de los datos obtenidos. Con estos datos se llegó a la conclusión que los porcentajes de los

compuestos presentes en el aceite de macadamia en las especies *Intergrifolia* y *Tetraphyllia* no tienen variación significativa al 5% de error.

Todas las pruebas realizadas, tanto la determinación de los índices de calidad como los análisis en el cromatógrafo de gases fueron realizadas bajo condiciones de presión y temperaturas estándar.

HIPÓTESIS

Entre las variedades de macadamia *Intergrifolia* y *Tetraphyllia* de este estudio no existe una diferencia significativa en las propiedades y composiciones de los aceites grasos.

6.1. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA:

6.1.1 Hipótesis nula

Ho: Los porcentajes de los compuestos presentes y los índices de: yodo, saponificación, peróxidos, frío, rancidez y contenido de jabón en el aceite de macadamia en las especies *Intergrifolia* y *Tetraphyllia* no tienen variación significativa al 5% de error.

6.1.2 Hipótesis alterna

H₁: Los porcentajes de los compuestos presentes y los índices de: yodo, saponificación, peróxidos, frío, rancidez y contenido de jabón en el aceite de macadamia de las especies *Intergrifolia* y *Tetraphyllia* tiene variaciones significativas en las diferentes especies estudiadas.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Obtener y caracterizar fisicoquímicamente el aceite fijo contenido en la semilla de nuez de macadamia de las especies *intergrifolia* y *tetraphyllia*.

ESPECÍFICOS:

1. Obtener el aceite de nuez de macadamia de las especies *intergrifolia* y *tetraphyllia* por prensado en frío (a temperatura ambiente).
2. Determinar el rendimiento de aceite por especie con relación a la masa de macadamia y masa de aceite obtenido.
3. Determinar cualitativa y cuantitativamente las sustancias que componen los aceites de macadamia de las especies *intergrifolia* y *tetraphyllia* utilizando la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
4. Determinar el índice de saponificación, Índice de yodo, Índice de rancidez, Índice de peróxido, prueba de frío y determinación de jabón, de los aceites de macadamia de las especies *intergrifolia* y *tetraphyllia*.

INTRODUCCIÓN

La nuez de macadamia se empezó a cultivar en Guatemala en la década de 1950, según datos del Ministerio de Agricultura y desde entonces el país ha tenido un considerable crecimiento en la producción de este valorado producto, a tal grado que actualmente ocupa el sexto puesto a nivel mundial en producción.

El aceite de nuez de macadamia tiene una gran demanda en el extranjero, debido a sus cualidades excepcionales en repostería, cosmetología, industria alimenticia, etcétera. Cada variedad posee características diferentes, y estas se ven influenciadas en parte por el tipo de tierra, altitud, clima. Tal como sucede con otros productos cultivados en Guatemala, las condiciones arriba mencionadas le dan un gran valor agregado al producto.

Por este motivo es importante realizar análisis químicos, tales como el índice de yodo, índice de saponificación, contenido de jabón, número de acidez, prueba de frío, índice de peróxido y también análisis físicos como la cromatografía de gases, a este producto para poder apreciar y comparar las diferentes cualidades que posee la nuez de macadamia cultivada en Guatemala.

Los resultados obtenidos de este estudio demuestran que las diferencias en cuanto a la composición química y física del aceite de macadamia, con respecto de otras variedades y lugares de cultivo, no tiene diferencia significativa. Esto es porque el cultivo de macadamia de la especie *intergrifolia* se encuentra marginado en muchas partes, prefiriendo el cultivo de la especie *tetraphyllia* cuando entre estas dos especies no existe diferencia.

Dichas preferencias muchas veces se deben a creencias que nada tienen que ver con una verdad científica y en muchas ocasiones no se aprovechan muchas cualidades debido a estas creencias.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades de la macadamia

1.1.1 Clasificación de la nuez de macadamia

El género se denomina así debido a John Macadam, que fue colega del botánico Ferdinand von Mueller, primero en describir el género. Los nombres comunes del fruto son Macadamia, nuez de macadamia, Queensland nut, nuez de arbusto, y nuez maroochi. En Guatemala solamente se conoce simplemente como macadamia, ya que no es una planta local. (1.23)

Se clasifica de la siguiente manera.

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Proteales
Familia:	Proteaceae
Género:	Macadamia

Figura 1. Nuez de macadamia, con su cáscara y fruto.



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm.
Midzar Daniel García Estrada

Sólo dos especies poseen importancia comercial por ser las únicas con la nuez comestible: *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*. Las demás especies poseen nueces venenosas (*M. whelanii* y *M. ternifolia*). De las dos especies en mención existen diferencias taxonómicas importantes, la especie *intergrifolia* posee unas hojas ovaladas mientras que la especie *tetraphyllia* posee unas hojas dentadas.

Figura 2. Hoja de macadamia de la especie *intergrifolia*.



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm. Midzar Daniel García Estrada

Figura 3. Hoja de macadamia de la especie *tetraphyllia*



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm. Midzar Daniel García Estrada

1.1.2 Condiciones favorables para el cultivo de macadamia

La macadamia pertenece a la familia de las potaceas y es originaria de los bosques lluviosos costaneros del litoral de Australia, por consiguiente se adapta a regiones comprendidas entre las zonas de vida denominadas bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo tropical, y bosque muy húmedo premontano.

Su introducción a Guatemala no se puede determinar con precisión, pero en el año de 1958 se introdujeron semillas de variedades procedentes de Hawai. Estos materiales fueron manejados por el Instituto Agropecuario Nacional, Escuela de Agricultura y estación experimental de Chocolá. El árbol llega a medir unos 7-12 m de altura, alcanzando hasta los 20 m en Australia, el tiempo que tarda en dar fruto depende de la especie o condiciones climáticas. Los frutos son casi todos iguales, redondos de 2-3 cm de diámetro, con cubierta leñosa y 1-2 semillas globosas. La madera es de veta gruesa y dura, pero las ramas son quebradizas y se desenganchan y caen fácilmente.

Existen diez especies de macadamia, de las cuales *Macadamia Intergrifolia* es preferida por su mayor porcentaje de almendras sanas y mayor uniformidad en el tamaño del fruto; las conchas son lisas y pequeñas, las hojas tienen bordes ondulados con tres hojas por nudo. Las flores son color blanco cremoso agrupado en racimos de 12 a 30 cm. Y *Macadamia Tetraphyllia*, más indicada para usarse como patrón debido a su mejor sistema radicular. Con una concha rugosa, grande; hojas con borde aserrado muy espinoso, con cuatro hojas por nudo, nervaduras color púrpura. Las flores son color rosado en racimos de 20 a 50 cm.

Las floraciones de mayor importancia económica ocurren en el mes de agosto, septiembre y octubre durante la época lluviosa. (1.175)

El Cultivo de macadamia prospera en Guatemala en altitudes de 600 a 1,600 msnm, similares a las apropiadas para el cultivo de café. Se adapta a precipitaciones pluviales anuales de 1,000 a 4,000 mm y con niveles adecuados de insolación. En caso de contar con más de dos meses de sequía se recomienda suministrar agua a través de sistemas de riego.

El viento tiene dos efectos destructivos en este cultivo, mecánico y ambiental. Ya que provoca doblamiento, deformación, caída de frutos inmaduros y volcamiento de árboles. Además los vientos causan una transpiración fuerte lo que provoca deshidratación de las hojas. La macadamia se adapta desde los 14 hasta los 32 grados centígrados de temperatura. Prospera en suelos franco arenosos, franco arcilloso y arcilloso, se deben evitar los que tengan mal drenaje. Se desarrolla bien en un rango de PH entre 5.5 y 7.0, Por tener sistema radicular muy superficial se necesita que los suelos sean fértiles, sueltos, bien drenados y sin capas impermeables que impidan el crecimiento normal de la raíz. Las plantaciones se desarrollan bien en pendientes no mayores de 30%. Sin embargo en Guatemala las condiciones óptimas para el desarrollo de este cultivo se encuentran en zonas con pendientes inclinadas o quebradas, por lo que es necesario implementar sistemas de conservación de suelos como siembras en contorno, barreras vivas, terrazas en contorno etc. (1.185)

1.1.3 Usos del aceite de macadamia

Entre los muchos usos que se les puede dar al aceite de macadamia, encontramos su utilización en cosmetología.

Este uso del aceite de macadamia es el que en los últimos años ha cobrado gran interés en el mercado debido a sus excelentes propiedades. La macadamia produce una nuez muy fina de alto valor nutritivo y exquisito sabor. La nuez es tostada, procesada y empacada para comercializarla como nuez tostada y salada, además es utilizada en repostería, confitería, como nuez recubierta de chocolate, en turrone y helados. Su semilla tiene un altísimo contenido en aceites y es utilizada en alimentación y en la industria de la cosmética.

Hay muchos otros productos que incorporan nuez de macadamia en su composición como licores, aceites cosméticos que son rápidamente absorbidos por la piel, jaleas, sopas, etcétera. La acción de los aceites esenciales proporciona una emolencia, nutrición e hidratación gradual y prolongada sobre la piel. Se ha descubierto que muchos componentes que se encuentran de manera natural en los aceites vegetales tienen propiedades beneficiosas para la salud. Una vez aislados y concentrados, algunos de estos principios activos sirven para tratar una gran cantidad de enfermedades, que van desde el síndrome del intestino irritable hasta las enfermedades hepáticas crónicas.

Desde hace tiempo que se conocen las cualidades de muchos ácidos grasos y otros componentes presentes en los aceites vegetales. Así, la producción de aceites vegetales funcionales constituye un sector con mucho futuro.

Cabe destacar la gran cantidad de principios activos que se han identificado en las semillas oleaginosas. Muchos de estos componentes se encuentran todavía en el aceite de cocina o de ensalada, mientras que otros desaparecen parcial o completamente durante el proceso de refinado. La vitamina E es un poderoso antioxidante y los aceites vegetales constituyen una de las fuentes principales de esta sustancia. Cada ácido graso tiene además propiedades específicas. El ácido linoleico es un ácido graso polinsaturado que permite reducir el nivel de colesterol, y el ácido alfa-linolénico también tiene efectos en la salud del corazón. También el ácido palmitoleico, que se encuentra en el aceite de macadamia, es un ácido graso que le da a la piel una textura suave pero este ácido graso ya no es producido por el cuerpo a partir de los treinta años y por lo tanto hay que consumirlo para mantener una piel joven. (4.52)

Los fitoesteroles se encuentran en los aceites vegetales, especialmente en los aceites de germen. Recientemente se ha hablado mucho de las margarinas enriquecidas con esteroides, ya que permiten reducir el nivel de colesterol de

manera tan efectiva como muchos medicamentos. También se sugiere hoy en día que los niveles naturales de fitoesteroles presentes en muchos aceites vegetales (aceite de maíz: 968mg/100g, aceite de germen de trigo: 553mg/100g y aceite de oliva: 221mg/100g)* pueden contribuir asimismo a reducir considerablemente el nivel de colesterol.

1.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos, componentes más importantes de las grasas son sustancias químicamente lineales saturadas e insaturadas, con la función carboxilo. Químicamente, son ácidos orgánicos de más de seis carbonos de largo. Para los ácidos grasos, según su cantidad de carbonos en la molécula, cambia el punto de fusión.

A mayor cantidad de carbonos, aumenta su punto de fusión, y viceversa. Así mismo, la presencia de enlaces dobles reduce el punto de fusión.

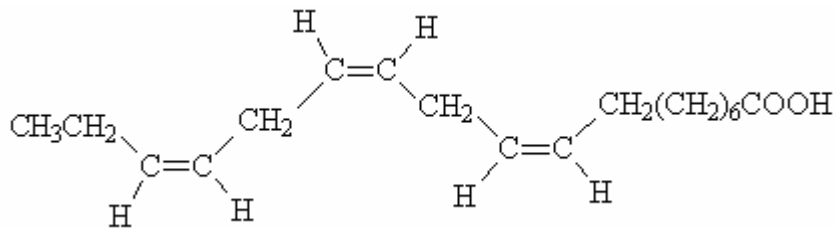
Ácidos grasos poliinsaturados

En idéntica cantidad de carbonos a temperatura ambiente, los ácidos grasos insaturados son líquidos, y los saturados son sólidos.

Los ácidos grasos insaturados tienen en la cadena dobles enlaces, en un número que va de 1 a 6. Los que tienen una sola insaturación se llaman monoinsaturados, quedando para el resto el término de poliinsaturados. Llamaremos poliinsaturados a los ácidos grasos que contengan más de dos dobles enlaces y los que contengan uno sólo lo llamaremos monoinsaturados. Los ácidos grasos poliinsaturados son el linoleico, presente en las semillas de las

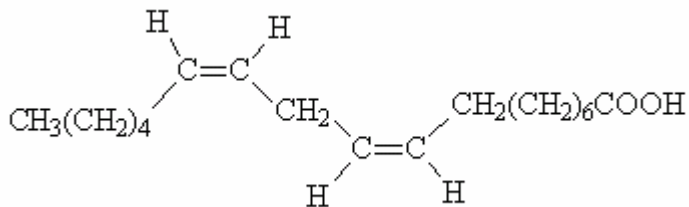
uvas, y el linolénico, presente en el aceite de lino, y se consideran esenciales ya que el cuerpo humano no los puede sintetizar (ver figuras)

Figura 4. Estructura del ácido linolénico



Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 5. Estructura del ácido linoleico



Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

El uso cotidiano de estos aceites de origen vegetal, previene el colesterol alto en la sangre, se encuentra en pescados y mariscos (Omega 3).

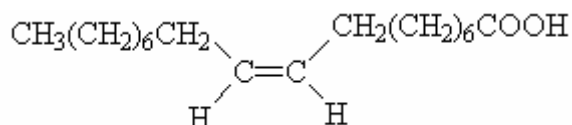
Ácidos grasos monoinsaturados

Estos ácidos grasos presentan dobles enlaces carbono-carbono en un punto de la cadena de carbonos, se puede decir que son ligeramente más líquidos que los ácidos grasos con el mismo número de carbonos. Esto hace que no sean tan susceptibles al calor. Antiguamente, el grado de insaturación se determinaba con la adición de bromo o yodo a estos dobles enlaces. Hoy se realiza transesterificando con metanol y determinando el porcentaje de los ésteres metílicos concretos por cromatografía de gases.

También se les llama vitamina F a estos ácidos grasos.

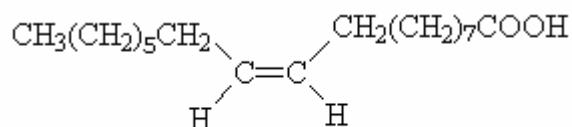
Entre los ácidos grasos monoinsaturados podemos mencionar al ácido palmitoleico y el oleico. (Ver figuras)

Figura 6. Estructura del ácido oleico.



Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 7. Estructura del ácido palmitoleico

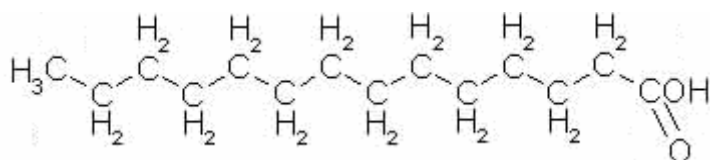


Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Ácidos grasos saturados

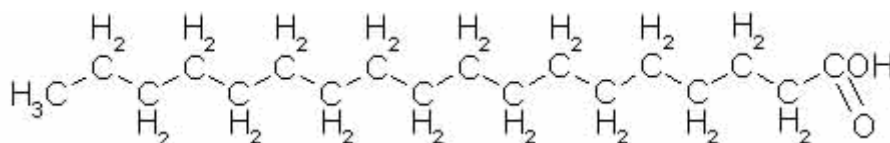
Los saturados son el Mirístico, Palmítico, y Esteárico (ver figuras) y en la vida cotidiana vienen dadas en las grasas animales, y en algunos vegetales como el chocolate, la palta y el coco. También se pueden encontrar ácidos grasos saturados raros como el ácido behínico y el ácido araquídico (ver figuras) Como ya se ha indicado, los ácidos grasos comunes tienen la cadena con un número par de átomos de carbono. Sin embargo, las bacterias sintetizan frecuentemente ácido grasos con un número impar de átomos de carbono, que pasan a las grasas animales, tal es el caso del ácido margárico (17 carbonos).

Figura 8. Estructura del ácido mirístico



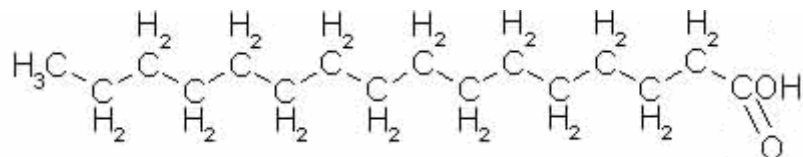
Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 9. Estructura ácido esteárico



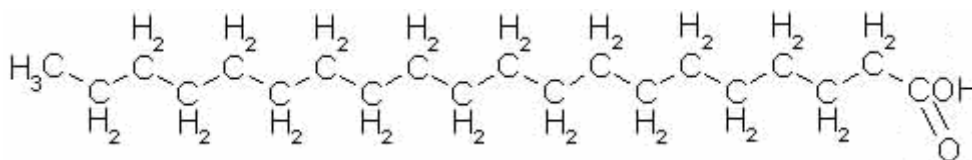
Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 10. Estructura del ácido palmítico



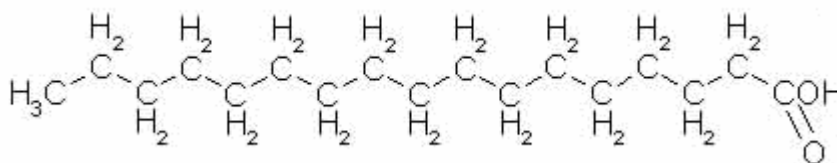
Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 11. Estructura del ácido araquídico



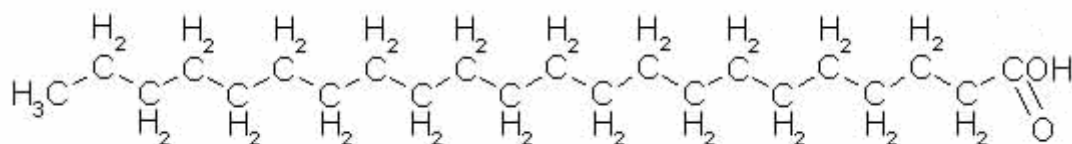
Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 12. Estructura del ácido margárico



Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

Figura 13. Estructura del ácido behínico



Fuente: Robert, Morrison. QUÍMICA ORGÁNICA. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Microsoft Paint. Versión 5.1 Copyright 2001 Microsoft Corporation

1.3 Calidad de los aceites

La calidad de un aceite depende en una gran medida de los fines o usos que se le quieran dar, hay aceites excelentes para la elaboración de pinturas, siendo estos utilizados como agentes secantes, tal es el caso del aceite de tung,

pero estos no puedan ser la mejor alternativa para la elaboración de un aceite comestible, y a la vez existen aceites buenos para elaborar aceites comestibles, tal es el caso del aceite de maíz, canola, girasol, pero estos no son buenos para elaborar pinturas, por ejemplo. Para determinar si un aceite tiene un fin en especial o es apto para ser utilizado en algún proceso, el Ingeniero Químico se vale de diferentes índices o parámetros que le indican la utilidad de un aceite en especial. Estos parámetros se presentan a continuación con una explicación y utilidad del aceite de macadamia.

1.3.1 Calidad del aceite de macadamia según del índice de yodo (Norma COGUANOR 34 072 h2)

Este índice se utiliza para determinar la insaturación de los cuerpos grasos y se expresa en gramos de yodo absorbidos por 100 gramos de aceite o grasa. No aplica a grasas que contienen sistemas de doble enlaces. Actualmente se le da mucha importancia al grado de insaturación de los aceites comestibles, ya que las grasas y aceites saturados presentan un gran problema a las personas que desean mantener una dieta sana, siendo estos aceites los causantes de problemas del corazón y obesidad. Los resultados obtenidos del índice de yodo indican que el aceite de macadamia presenta un grado de saturación bajo, siendo este un aceite no secante comparado al aceite de oliva y maní. Por lo tanto es beneficioso si de bajar el colesterol se trata.

1.3.2 Calidad del aceite de macadamia, según el índice de saponificación (Norma COGUANOR 34 072 h1)

El índice de saponificación se define como el peso en miligramos de hidróxido de potasio necesario para saponificar un gramo de grasa. Si la grasa es aceptablemente pura, el método constituye un sistema de calcificación de los aceites y grasas, puesto que el índice de saponificación está inversamente relacionado con la longitud de los ácidos grasos constituyentes de los glicéridos de la grasa.

El método es aplicable a aceites y grasas con un contenido de ceras no superior al 5 %.

1.3.3 Calidad del aceite de macadamia, según el índice de peróxido (Norma COGUANOR 34 072 h21)

Esta prueba tiene por objeto establecer el índice de peróxido en los aceites y grasas. Este es la cantidad total de sustancias que oxidan el yoduro de potasio en las condiciones del ensayo, y se expresa en miliequivalentes de oxígeno peróxido por kilogramo de muestra.

Generalmente, se asume que estas sustancias son peróxidos y otros productos similares provenientes de la oxidación de las grasas. Como observación cabe destacar que este es un método empírico y cualquier variación en el procedimiento se traduce sin lugar a dudas en una variación en los resultados.

1.3.4 Calidad del aceite de macadamia, según la determinación del contenido de jabón (Norma COGUANOR 34 072 h29)

Este análisis químico tiene por objeto establecer el contenido de jabón disuelto en los aceites y grasas. El contenido de jabón es expresado como porcentaje en masa de oleato de sodio y se debe de promediar con una prueba que contenga jabón. Se puede interpretar como la cantidad de ácido oleico presente en la muestra y es muy segura, a pesar de ser un método empírico.

1.3.5 Calidad del aceite de macadamia, según el ensayo de Kreis (prueba de rancidez) (Norma COGUANOR 34 072 h12)

Esta prueba tiene por objeto establecer la rancidez incipiente en los aceites y grasas. Se utiliza para saber que tan susceptible es un aceite a la oxidación, y por lo tanto si se debe agregar antioxidantes para preservar al aceite.

1.3.6 Calidad del aceite de macadamia según Prueba del frío (Norma COGUANOR 34 072 h13)

Este análisis químico tiene por objeto establecer la prueba del frío, que es aplicable a todos los aceites vegetales y animales, refinados o secos. Este análisis consiste en la determinación de la resistencia de la muestra a la cristalización y es generalmente usado como índice de la desmarganización u otro similar para la eliminación de la estearina. Prueba que nos indica el tiempo de solidificación de un aceite, parámetro útil para determinar la utilidad de un aceite para fines industriales, cosméticos o comestibles.

1.4 Extracción del aceite de macadamia

1.4.1 Extracción del aceite de macadamia industrialmente

Para la extracción del aceite de macadamia utilizado en el presente trabajo de investigación se utilizó el proceso más utilizado en la industria, el cual es el prensado. Este método presenta muchas ventajas comparado con otros métodos

ya que es relativamente fácil la extracción de muchos aceites, en especial de semillas oleaginosas y varias más, además que no consume mucha energía y también conserva muchas propiedades del aceite ya que al utilizar calor se destruyen componentes alimenticios que después hay que incorporar al aceite, siendo la vitamina E la más susceptible a ser destruida por la acción calorífica.

Existen varios métodos utilizados en la industria para extraer aceite, el método de extracción por disolvente y el de extracción mecánica. En la extracción mecánica, las semillas molidas pasan a un acondicionador para obtener un producto homogéneo que pasa a la prensa de tornillo donde a elevadas presiones y en un solo paso se procede a la separación del aceite de la torta proteínica. El aceite obtenido es limpiado de impurezas groseras en un tamiz vibratorio. Gracias al sistema de vibraciones no es necesario parar para limpiar el tamiz, ya que las impurezas no se pegan a la superficie del tamizado. El abrillantamiento y limpieza final del aceite se llevan a cabo en el filtro, con lo que tenemos así un aceite crudo filtrado.

La torta proteínica separada en la prensa es descargada en un tornillo sinfín que alimenta una estación de pesado y ensacado, o unos rodillos trituradores de la torta proteínica.

Esta torta proteínica puede ser desgrasada aún más en una planta de extracción por disolventes. También puede ser utilizada directamente como alimento de ganado o, si ha sido tratada higiénicamente, puede pasar a una instalación para obtención de proteínas para la alimentación humana.

Figura 14. Prensa utilizada para extraer el aceite de macadamia



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm.
Midzar Daniel García Estrada

1.5 Análisis estadístico

1.5.1 Prueba de Tukey

Método para realizar comparaciones (el análisis de varianza es un procedimiento poderoso para probar la homogeneidad de un conjunto de medias) si se rechaza la hipótesis nula (que es la hipótesis que deseamos probar) y se acepta la hipótesis alternativa planteada, Tukey permite intervalos de confianza del $(100 - \alpha)\%$. (6.185)

Tukey permite encontrar una diferencia significativa entre las medias i y j .

Hay que observar que el número de tratamientos, que consiste en los experimentos, consta a su vez de varias observaciones que son las pruebas

realizadas en cada experimento, estas deben ser mayores de dos pruebas por experimento.

A cada conjunto de observaciones (N) es necesario obtener el valor de la varianza (S^2) que nos permite utilizar el método de Tukey. Además es necesario obtener los grados de libertad que se obtienen de la ecuación

$$v = K(N - 1) \quad \text{Ecuación 1}$$

Con los grados de libertad obtenidos utilizamos la tabla que correlaciona el número de tratamientos y los grados de libertad.

Tabla I. Discriminador de Tukey (6.769)

Grados de libertad	Número de tratamientos		
	2	3	4
1	18.0	27	32.8
2	6.09	8.33	9.80
3	4.50	5.91	6.83
4	3.93	5.04	5.76
5	3.64	4.60	5.22
6	3.46	4.34	4.90
7	3.34	4.16	4.68
8	3.26	4.04	4.53
9	3.20	3.95	4.42
10	3.15	3.88	4.33

Fuente: Walpole, Ronald E. **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 2005.

Con el discriminador obtenido se procede a calcular el valor discriminador que nos permite identificar si entre las medias existe o no una diferencia

significativa. Ejemplo, al tener dos medias 7 y 9, y el valor de la prueba de Tukey nos da un dato de 3, esto nos indica que debe existir una diferencia de tres entre los valores 7 y 9 para que se puedan determinar como diferentes, por lo tanto entre 7 y 9 no existe una diferencia significativa.

$$\text{Tukey} = ((S^2)/N)^{1/2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para aplicar el método o prueba de Tukey es necesario que cada tratamiento tenga el mismo número de observaciones, sin estas condiciones la prueba de Tukey no puede dar valores significativos en la diferencia de las medias.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Localización

Se caracterizó las especies de macadamia *intergrifolia* y *tetraphyllia* obtenidas en la finca Valhala, localizada en el municipio de San Miguel Dueñas en el departamento de Antigua Guatemala, Guatemala.

La extracción se realizó en el Centro Universitario del Sur, localizado en el departamento de Escuintla con una prensa de presión variable, ejercida con un gato hidráulico

La cromatografía de gases se realizó en Departamento de Toxicología de la Facultad de Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Los análisis de los índices de calidad se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala

2.2 Recursos humanos

Investigador	Midzar Daniel García Estrada
Asesor	Ing. Msc. Erwin Manuel Ortiz Castillo
Revisor	Inga. Química Telma Maricela Cano Morales
Colaboradores	Ing. Agroindustrial Alfonso Pacheco Ing. Daniel Ramírez Licda. Carolina Guzmán

2.3 Materiales

Los materiales utilizados fueron semillas secas y maduras recolectadas directamente de los árboles de dichas especies. Las especies en mención son la *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*. Para realizar la extracción del fruto de la macadamia de la cáscara, se utilizó herramienta artesanal, es decir que el proceso de descascarado fue hecho manualmente no utilizando otra herramienta que un mazo.

2.4 Equipo

2.4.1 Prensa hidráulica (Sin especificaciones)

2.4.2 Cromatógrafo de gases (XL PERKIN ELMER)

- Columna SP 2380 Capillary Column 2-4152, 30m*0.25mm, 0.20
- Gas: Nitrógeno a 6.0 psi
- Temperatura inyector: 250 °C
- Narrowest peak: 1.4-3.2 segundos
- Área sensitivity: 1700
- Base sensitivity: 50
- Skim sensitivity: 0.0
- Tiempo: 25 minutos

2.4.3 Equipo de laboratorio químico

2.4.3.1 Balanza analítica (Mettler-Toledo. serie: msx-180. Voltaje 100-110V. Frecuencia 60 MHz, Cap máx 1000g. Lectura Min 0.001g)

2.4.3.2 Mechero Bunsen (Marca: MIELLE. Combustible: propano)

2.4.3.3 Plancha de calentamiento (marca: Phillips. Serie: 100. Sin agitador y temperatura programable. Voltaje 100-110 V. Frecuencia 56 MHz)

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Índice de saponificación (Norma COGUANOR 34 072 h1)

Materiales y Equipo

- Balanza analítica (Mettler-Toledo, serie: msx-180, Voltaje 100-110V,
- Frecuencia 60 MHz, Cap máx 1000g, Lectura Min 0.001g)
- Baño María
- Matrices Erlenmeyer (Marca: Pyrex, capacidad de 50 mL)

Reactivos

- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 1.0 M
- Solución de ácido clorhídrico (HCl) 1.0 M
- Solución de fenolftaleína

Procedimiento

1. Pesar 4 gramos del aceite de nuez de macadamia
2. Se calienta la muestra en un Erlenmeyer de 50 mL a una temperatura de 80 °C
3. Se agrega la solución de NaOH hasta alcanzar la saponificación que se ve con una consistencia pastosa
4. Se agrega agua destilada, 15 cm³
5. Se agrega 1 cm³ de fenolftaleína y se titula con la solución de HCl

Cálculos

Se utiliza la ecuación

$$\text{Índice de saponificación} = 56.1 (V1 - V2)N/m \quad \text{Ecuación 3}$$

V1 = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la prueba en blanco

V2 = Volumen de ácido clorhídrico

N = Normalidad de la solución de ácido clorhídrico

m = Masa de la muestra de aceite de macadamia

3.2 Índice de yodo (Norma COGUANOR 34 072 h2)

Materiales y Equipo

- Balanza analítica (Mettler-Toledo, serie: msx-180, Voltaje 100-110V, Frecuencia 60 MHz, Cap máx 1000g, Lectura Min 0.001g)
- Matrices Erlenmeyer (Marca: Pyrex. Capacidad: 25 y 50 mL)
- Matraz volumétrico de 1000 cm³ (Marca: Pyrex)
- Pipetas volumétricas (Marca: Pyrex. Capacidad: 1, 5 y 10 mL)
- Frascos de 1000 cm³
- Navecillas de vidrio

Reactivos

- Sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) 0.1 M
- Ácido acético glacial (CH_3COOH) 1.0 M
- Yoduro de potasio (KI) 0.5 N
- Cloro al 99.8% de pureza
- Permanganato de potasio (KMnO_4) 1.0 N
- Ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N
- Tetracloruro de carbono (CCl_4) 1.0 N
- Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 N
- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0.1 N
- Almidón soluble
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.5 N
- Dióxido de magnesio (MnO_2) 0.5 N

Procedimiento

1. Disolver 13 g de yoduro en 1000 cm^3 de ácido acético glacial
2. Filtrar las muestras de los aceites
3. En un Erlenmeyer de agregan 20 cm^3 de tetracloruro de carbono
4. Se miden 25 cm^3 del reactivo de Wijs
5. Se guardan en la oscuridad los Erlenmeyer
6. Se agregan 20 cm^3 de la solución de yoduro de potasio
7. Se titula con la solución de 0.1 N de tiosulfato de sodio
8. Se agregan 1 a 2 cm^3 de la solución de almidón
9. Las muestras se filtran con papel filtro
10. Se agregan 25 cm^3 del reactivo de Wijs
11. Se preparan dos muestras en blanco
12. Se guardan en la oscuridad los matraces por 30 minutos

13. Agregar 20 cm³ de yoduro de potasio y 100 cm³ de agua
14. Se titula con la solución de tiosulfato de sodio
15. Se agrega la solución de almidón

Cálculos

Se utiliza la ecuación

$$\text{Índice de yodo} = 12.69 (V1 - V2)N/m \quad \text{Ecuación 4}$$

V1 = Volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la prueba en blanco

V2 = Volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la muestra

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m = Masa de la muestra de aceite de macadamia

3.5.4 Índice de peróxido (Norma COGUANOR 34 072 h21)

Materiales y Equipo

- Balanza analítica de precisión (Mettler-Toledo, serie: msx-180, Voltaje 100-110V, Frecuencia 60 MHz, Cap máx 1000g, Lectura Min 0.001g)
- Pipeta de Mohr (Marca: Pyrex. Capacidad 5 mL)
- Erlenmeyer de 250 cm³ (Marca: Pyrex)

Reactivos

- Solución de ácido acético (CH₂COOH) 1.0 N
- Solución saturada de yoduro de potasio (KI) 1.0 N

- Solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 N
- Almidón

Procedimiento

1. Se pesan 5 gramos de la muestra y se agrega ácido acético
2. Se agita el matraz y se agrega yoduro de potasio
3. Se deja descansar y se agrega agua destilada
4. Se agrega almidón y se continúa titulada
5. Se agrega tiosulfato hasta la coloración azul
6. Se utiliza la ecuación 5

Cálculos

Se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{Índice de peróxido} = 1000(V1 - V2)N/m \quad \text{Ecuación 5}$$

V1 = Volumen de la solución de tiosulfato empleado en la muestra

V2 = Volumen de la solución de tiosulfato empleado en la muestra en blanco

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m = Masa de la muestra

3.5.6 Determinación del contenido de jabón (Norma COGUANOR 34 072 h29)

Materiales y equipo

Balanza analítica de precisión (Mettler-Toledo, serie: msx-180, Voltaje 100-110V, Frecuencia 60 MHz, Cap máx 1000g, Lectura Min 0.001g)

Tubos de ensayos (Marca: Pyrex)

Microburetas (Marca: Pyrex. Capacidad: 0.5 y 1.0 mL)

Baño de vapor

Reactivos

- Acetona destilada ($\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$)
- Solución de ácido clorhídrico (HCl) 1.0 N
- Baño de vapor

Procedimiento

1. Se agregan 5 cm³ de la solución de bromofenol
2. Se colocan en un tubo de ensayo 40 g del aceite de macadamia
3. Se agregan 50 cm³ de la solución de acetona
4. Si aparece un color azul o verde es indicio de jabón
5. Se utiliza la ecuación

Cálculos

Se utiliza la siguiente ecuación

Porcentaje de jabón como oleato de sodio = $30.4 \cdot V \cdot N / m$ Ecuación 6

V = volumen de la solución de ácido clorhídrico

N = Normalidad de la solución

m = Masa de la muestra de aceite de macadamia

3.5.7 Ensayo de Kreis (prueba de rancidez) (Norma COGUANOR 34 072 h12)

Materiales y Equipo

- Tubos de ensayo (Marca: Pyrex)

Reactivos

- Ácido clorhídrico concentrado (HCl) 1.5 N
- Solución de éter dietílico ($C_2H_5OC_2H_5$) al 0.1%

Procedimiento

1. Agitar 10 cm^3 de aceite de macadamia con fluoroglucinol
2. Agregar ácido clorhídrico y seguir agitando
3. Al aparecer de un condensado indica rancidez incipiente

Observaciones

Si se observa una coloración rosada en un tiempo de veinte segundos, es una prueba de que el aceite presenta una rancidez incipiente

3.5.8. Prueba del frío (Norma COGUANOR 34 072 h13)

Equipo

- Frascos de 100 cm³ (Marca: Pyrex)
- Baño de hielo picado y agua a 0 °C
- Baño maría

Materiales

- Hielo

Procedimiento

1. Se filtran 200 cm³ de la muestra
2. Se calienta hasta alcanzar una temperatura de 130 °C
3. Se tapa con corcho y se calienta en el baño María
4. Se sella el frasco con parafina
5. Se coloca hielo hasta alcanzar los cero grados
6. Por cinco horas se enfría y se observa la muestra

Cálculos

Se determina el tiempo en horas que tarda la muestra en solidificarse o mostrarse con un aspecto nublado o turbio y se expresa en horas exactas, es decir que se aproxima al número entero más grande.

4. RESULTADOS

Tabla II. Índices de calidad obtenidos del aceite de macadamia de las especies *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia* y su parámetro establecido.

Índice de calidad	<i>M. Intergrifolia</i>	<i>M. Tetraphyllia</i>	Parámetro
Índice de Yodo	82.27 gl/g	84.66 gl/g	Secante > 125 gl/g
Índice de saponificación	195.60 mgKOH/g	195.87 mgKOH/g	Para elaborar jabón > 450 mgKOH/g
Prueba de rancidez	No hay rancidez	No hay rancidez	Aceite que se conserva
Índice de Peróxido	1.60 meq/kg	1.60 meq/kg	No existe oxidación < 3.0 meq/kg
Prueba de frío	9.00 horas	9.00 horas	Aceite estable > 6 horas
% de Jabón	68.40 %	60.8 %	Porcentaje alto de ácido oleico

Fuente: Datos Originales tablas X y XI. Normas COGUANOR

Tabla III. Rendimiento de la extracción de aceite de las especies de Macadamia *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*

ESPECIE	Peso nueces	Aceite obtenido	Rendimiento
<i>M. intergrifolia</i>	7.80 kg	4.29 kg	55 %
<i>M. tetraphyllia</i>	6.23 kg	1.80 kg	29 %

Fuente: Tabla XII Datos Originales

Tabla IV. Perfil de ácidos grasos de las especies de macadamia

M. intergrifolia y *M. tetraphyllia*

ÁCIDO GRASO	M. INTERGRIFOLIA %	M. TETRAPHYLLIA %
Araquídico	2.61	2.58
Behínico	0.77	0.82
Esteárico	3.32	3.27
Margárico	0.34	0.38
Linoleico	2.23	2.31
Linolénico	2.67	2.60
Mirístico	1.02	1.11
Palmítico	8.46	8.40
Palmitoleico	18.42	18.35
Oleico	60.16	60.18

Fuente: Cromatógrafo de gases (XL PERKIN ELMER) Columna SP 2380 Capillary Column 2-4152, 30m*0.25mm, 0.20. Gas: Nitrógeno a 6.0 psi. Temperatura inyector: 250 °C Area sensitivity: 1700. Base sensitivity: 50. Tiempo: 25 minutos

Tabla V. Comparador de Tukey para las medias de los índices de calidad realizados al aceite de *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*.

Índice	<i>M. intergrifolia</i>	<i>M. tetraphyllia</i>	Tukey	Conclusión
Yodo	82.27 gl/g	84.66 gl/g	7.30	No hay diferencia
Peróxido	1.6 meq/kg	1.5 meq/kg	0.30	Hay diferencia
Prueba de frió	9 horas	9 horas	0	No hay diferencia
Saponificación	195.6 mgKOH/g	195.87 mgKOH/g	0.13	Hay diferencia
Jabón	68.4 %	60.8 %	16.32	No hay diferencia

Fuente: Aplicación de análisis estadístico. Tabla I, X, XI. Ecuaciones 1 y 2

Tabla VI. Comparador de Tukey para las medias obtenidas del porcentaje de ácidos grasos encontrados en el aceite de *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*.

Ácido graso	<i>M. intergrifolia</i>	<i>M. tetraphyllia</i>	Tukey	Conclusión
Araquídico	2.61	2.58	0.09	No hay diferencia
Behínico	0.77	0.82	0.15	No hay diferencia
Esteárico	3.32	3.27	0.15	No hay diferencia
Margárico	0.34	0.38	0.12	No hay diferencia
Linoleico	2.23	2.31	0.24	No hay diferencia
Linolénico	2.67	2.60	0.21	No hay diferencia
Mirístico	1.02	1.11	0.27	No hay diferencia
Palmítico	8.46	8.40	0.18	No hay diferencia
Palmitoleico	18.42	18.35	0.21	No hay diferencia
Oleico	60.16	60.18	0.06	No hay diferencia

Fuente: Aplicación de análisis estadístico de la Prueba de Tukey. Tabla I, IV, X, XI. Ecuaciones 1 y 2

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Todos los resultados obtenidos durante el proceso del desarrollo del presente trabajo de investigación están sujetos a cambios resultantes de las mismas variantes del sistema. Tales variables se dan desde la materia prima que en este caso son las nueces de macadamia, que a su vez están condicionadas al clima, latitud, condiciones de cultivo y cosecha. Además de las variables arriba mencionadas tenemos variables que como mencionamos se presentan durante el proceso de obtención de resultados, tales variables son, la temperatura, presión atmosférica, incertezas de los instrumentos y equipo utilizados y errores humanos. Pero podemos asegurar que todas las variables y los posibles errores que se pudieran presentar son insignificantes en comparación de los cuidados y controles de calidad que se desarrollaron durante todo el presente trabajo de investigación.

El primer dato que se obtuvo fue el rendimiento de la extracción de aceite de las especies estudiadas, que en este caso recordamos que fueron las especies de macadamia *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*.

Para la primer especie se tenían 27 kilogramos de nuez en chocolate, es decir con cáscara, después del proceso de descascarado se obtuvieron 7.8 kilogramos de nuez, esto quiere decir que tenemos una relación del 28 por ciento entre la nuez con cáscara y nuez descascarada, en el proceso de extracción obtuvimos 4.29 kilogramos de aceite que dan un rendimiento del 55 por ciento. Para la especie *M. tetraphyllia* se tenían 31 kilogramos de nuez en chocolate y obtuvimos 6.23 kilogramos de nuez sin cáscara, esto nos da una relación del 20 por ciento entre la nuez con cáscara y nuez descascarada, después del proceso de extracción del aceite obtuvimos un rendimiento del 29 por ciento. Los datos arriba

mencionados arrojan a todas luces que el rendimiento de la especie *M. intergrifolia* tiene un rendimiento de aceite de casi el doble comparado a la otra especie, además un dato interesante es que la cáscara de la especie *M. intergrifolia* es menos pesada que la de la otra especie, en otras palabras obtenemos más fruto carnoso de la intergrifolia que de la tetraphyllia. Este es una razón poderosa para elegir entre cultivar una y otra especie y de momento podemos mencionar que la mejor de las dos especies es la intergrifolia.

Antes de analizar los índices de calidad obtenidos de los aceites de macadamia, veremos los nombres con los cuales se conocen, tanto el clásico como el sistemático.

Tabla VII. Nombre clásico, sistemático y fórmula condensada de los ácidos grasos obtenidos en los aceites de macadamia analizados.

Nombre clásico	Nombre sistemático	Fórmula química
Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Ácido behínico	Ácido docosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}$
Ácido linoleico	Ácido 9,12-octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}(\text{CH})_4\text{COOH}$
Ácido linolénico	Ácido 9,12,15-octadecatrienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}(\text{CH})_6\text{COOH}$
Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Ácido palmitoleico	Ácido 9-hexadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}(\text{CH})_2\text{COOH}$
Ácido oleico	Ácido 9-octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}(\text{CH})_2\text{COOH}$

Fuente: Robert, Morrison. **QUÍMICA ORGÁNICA**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999

Los índices de calidad obtenidos para ambas especies nos dan datos relativamente iguales.

Para el índice de saponificación tenemos que para la especie *M. intergrifolia* que de ahora en adelante llamaremos especie A y la *M. tetraphyllia* que llamaremos especie B, tenemos unos índices de saponificación de 195.6 y 195.8 mgKOH/g respectivamente, puesto que el índice de saponificación está inversamente relacionado con la longitud de los ácidos grasos constituyentes de los glicéridos de la grasa, estos resultados nos señalan que la cantidad de ácidos grasos de cadena larga presentes en la muestra están presentes en menor cantidad, por lo tanto el aceite de macadamia presenta un grado de insaturación menor. Valores por arriba de los 250 mgKOH/g demuestran que el aceite o grasa es un material apto para la fabricación de jabones.

Para el índice de yodo tenemos unos índices de 82.27 y 84.66 gramos de Yodo absorbidos por cien gramos de muestra para la especie A y la especie B respectivamente. Esto demuestra y confirma que ambos aceites poseen ácidos grasos insaturados en mayor proporción que los ácidos grasos saturados presentes en ambos aceites. Si observamos la tabla con el perfil de ácidos grasos veremos que el ácido graso en mayor proporción es el ácido oleico, un ácido graso insaturado que se encuentra en ambos aceites en una proporción casi igual, un 60 %, esto confirma el dato obtenido con el índice de yodo de que el aceite de macadamia de ambas especies es alto. También es un dato que confirma que el aceite de macadamia es un aceite no secante, ya que por arriba de valores de 125 gI/g son aceites secantes.

El índice de rancidez es un parámetro de calidad que nos indica si un aceite o grasa es susceptible a la oxidación o ya se encuentra en un grado de rancidez, o añejamiento como se le llama en otros lugares, en un estado avanzado o si se encuentra en un grado en el cual se comienza a formar la rancidez. Para el aceite de macadamia de la especie A encontramos que la rancidez en la muestra se

encuentra en un grado en el que aún no ha comenzado, lo mismo sucede con el aceite de macadamia de la especie B, la rancidez u oxidación no ha comenzado. Estos datos se confirman ya que la nuez de macadamia puede almacenarse durante largos períodos de tiempo, incluso en condiciones favorables se puede almacenar por más de cinco años. La nuez de macadamia se conserva muy bien en anaqueles y vitrinas, ya que las sustancias que son las que facilitan la rancidez, como los beta carotenos, que a la vez le dan un color anaranjado a ciertas frutas, no se encuentran, es por este motivo que la rancidez en el aceite de macadamia de ambas especies no ha comenzado.

El índice de peróxido para ambas muestras de aceite de macadamia, tanto para la especie A y la especie B es el mismo, confirmando que ambos aceites son iguales. Para el aceite de la especie *M. integrifolia* el valor obtenido es de 1.6 miliequivalentes de oxígeno peróxido por kilogramo de muestra mientras que para el aceite de la especie *M. tetraphyllia* el valor es de 1.5 en las mismas unidades. El valor nos indica que la cantidad de materia o productos similares provenientes de la oxidación de los aceites es bajo, valores por arriba de los tres miliequivalentes de peróxido por kilogramo se puede traducir que los aceites contienen una gran cantidad de materia que se puede oxidar fácilmente. Esto cuando se trata de almacenamiento de los aceites, dan una clara señal que estos son muy susceptibles al ataque del oxígeno a las muestras.

El índice del contenido de jabón tiene por objeto determinar la cantidad de jabón disuelto en los aceites y grasas como oleato de sodio. Para las muestras se aceite de macadamia de ambas especies existe una diferencia notable, aunque comparado a niveles que están por encima del límite máximo permitidos se encuentran en valores normales. Para la especie A tenemos un valor de 68.4% mientras que para la especie B tenemos un valor de 60.8%.

Estos valores si tomamos en cuenta que el contenido de jabón se expresa como oleato de sodio, y vemos en el perfil de ácidos grasos que el porcentaje de ácido oleico es de un 60% concuerdan con los datos obtenidos. De esto hay que aclarar que este método es un método empírico y cuando se utilizaba, los químicos no contaban con tecnología moderna para analizar las muestras, tal es el caso del cromatógrafo de gases. Por lo tanto podemos afirmar sin lugar a dudas que los índices de calidad observados hasta ahora ratifican lo obtenido en el perfil de ácidos grasos realizado al aceite de macadamia de las especies, tanto la A como la B.

La última prueba que analizaremos es la prueba del frío, Esta norma tiene por objeto determinar la resistencia de la muestra a la cristalización. Este método es aplicable a todos los aceites vegetales y animales, refinados y secos. Cuando se utiliza aceite en repostería es necesario saber el tiempo que tardara el aceite en solidificarse.

El siguiente análisis que se le realizaron a los aceites de macadamia de las dos especies en mención fue el de realizar un perfil de ácidos grasos, para analizar los datos es conveniente agruparlos por su clasificación desde el punto de bioquímico, estos se clasifican en saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. En la siguiente tabla se agrupan los ácidos grasos por su grado de insaturación, dando como resultado una evidente similitud entre el aceite de ambas especies

Tabla VIII. Porcentaje de ácidos grasos en el aceite de macadamia de las dos especies estudiadas.

Especie	POLIINSATURADOS	MONOINSATURADOS	SATURADOS
<i>M. tetraphyllia</i>	4.90	78.58	16.52
<i>M. intergrifolia</i>	4.91	78.53	16.56

Fuente: Robert, Morrison. **QUÍMICA ORGÁNICA**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999. Tabla IV.

Podemos ver claramente que el porcentaje de ácidos grasos insaturados es de más del 80% en el aceite de macadamia de ambas especies. Estos resultados nos confirman lo obtenido en los análisis de pruebas de calidad, como mencionamos anteriormente los índices de calidad anteriormente eran eficaces cuando no se disponía de análisis modernos como la cromatografía de gases, la espectrometría de masas y la refractometría, estas pruebas eran de mucha utilidad, no con esto quiere decir que ya no sean útiles, sino que son un complemento a los análisis modernos mencionados anteriormente. También hay que señalar que no siempre se cuenta con un cromatógrafo de gases y en este caso el realizar pruebas como los índices de calidad son una forma segura y confiable de obtener datos precisos, además pruebas como la del frió, la rancidez, peróxido, que nos dan información necesaria no se puede obtener en un cromatógrafo de gases, he ahí la importancia de realizar las pruebas de los índices de calidad a grasas y aceites, que en este trabajo fueron muy valiosos los datos obtenidos.

El índice de yodo nos da datos que concuerdan claramente con el porcentaje de ácidos grasos presentes en el aceite de macadamia, ya que valores como los obtenidos concuerdan claramente con aceites con una cantidad grande de ácidos grasos insaturados, como el aceite de maní y el aceite de oliva que poseen valores cercanos a los 95 gramos de yodo por cien gramos de muestra. Para la

cantidad de material saponificable, que en este caso son ácidos grasos saturados la cantidad obtenida también concuerda con la obtenida en el perfil de ácidos grasos, ya que tenemos valores de 195 miligramos de hidróxido de potasio por gramos de muestra.

La cantidad de aceites esenciales presentes en el aceite de macadamia de ambas especies es de 4.9% para cada una, datos que son de mucho interés ya que estos ácidos grasos el cuerpo no los produce y deben ser ingeridos obligatoriamente en la dieta para mantener las funciones biológicas.

La cantidad del ácido palmitoleico (9-hexadecanoico) un aceite que se vuelve esencial a partir de los 30 años, es decir que el cuerpo pierde la función de sintetizarlo, es realmente sorprendente, con un valor promedio de 18% la nuez de macadamia es el fruto seco que posee la cantidad más grande en contenido de este aceite esencial comparado a otros frutos y alimentos. Estos datos confirman que la ingesta de macadamia regularmente es un excelente alimento para aquellas personas que desean mantener una piel suave y tersa ya que este aceite esencial es el mejor de los conocidos para mantener una piel como lo mencionamos anteriormente.

Los demás datos obtenidos de los índices de calidad nos confirman claramente que los datos obtenidos en el perfil de ácidos grasos, dan resultados consistentes. Ambas pruebas, podemos decir pruebas físicas y pruebas químicas, que en este caso definimos a las pruebas físicas al análisis realizado en el cromatógrafo de gases y pruebas químicas a las pruebas de índices de calidad son comparables y se soportan unas con otras.

Se puede mencionar que el cultivo de la especie de macadamia *M. tetraphyllia* actualmente esta relegada en un segundo plano y el cultivo de la especie *M. intergrifolia* ocupa el primer lugar en extensión de cultivo en Guatemala. Como observamos por medio de las diferentes pruebas y análisis realizados a las dos especies en mención, química y físicamente no existe diferencia alguna en la

composición de los aceites de ambas especies y la preferencia de la *M. intergrifolia* se debe a que posee más aceite extraíble, como se demuestra en el rendimiento de aceite obtenido, y también que la cantidad de fruto comestible es mayor en la especie mencionada que el que se encuentra en la especie *M. tetraphyllia*.

Como conclusión podemos remitirnos al análisis estadístico realizado sobre los datos obtenidos, para este caso utilizamos un comparador estadístico llamado la prueba de Tukey.

Esta prueba nos sirve para determinar si existe o no una diferencia significativa entre los datos obtenidos, recordemos los datos dados en la sección de resultados son la media de los datos obtenidos (véase datos originales). Como tenemos dos medias es decir dos tratamientos y a la vez tenemos dos observaciones por tratamiento, y deseamos comparar si entre la media del valor obtenido para el índice de yodo de la especie A, por ejemplo, y la media obtenida para el índice de yodo de la especie B, existe una diferencia significativa, utilizamos la prueba de Tukey. Si el valor obtenido en el discriminador es mayor que la diferencia que existe entre las dos medias, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa, mientras que si el valor fuera menor que la diferencia entre las medias, eso nos indica que si existe diferencias y se puede concluir que ambos tratamientos son diferentes. Para la prueba de rancidez no existe necesidad de realizar la prueba de Tukey ya que esta es una prueba que solamente nos indica si existe rancidez y se demuestra como lo mencionamos anteriormente, con una coloración rosada.

Para todos los casos obtenidos en este experimento, los valores obtenidos de la prueba de Tukey nos indican claramente que no existe diferencia significativa entre las cualidades químicas y físicas de los aceites de macadamia de las especies *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento de la extracción de aceite de la especie *M. integrifolia* es un 26% mayor que en la *M. tetraphyllia*.
2. Los índices de calidad realizados al aceite de macadamia de las especies *M. integrifolia* y *M. tetraphyllia*, índice de yodo (82.27, 84.66) gI/g, saponificación (195.1, 195.87) mgKOH/g, peróxido (1.6, 1.6) meq/kg, rancidez (No existe), prueba de frío (9 horas) y contenido de jabón (68.4, 60.8) %, respectivamente nos demuestran que no tienen variaciones significativas mayores al cinco por ciento.
3. Los valores del perfil de ácidos grasos obtenidos del aceite de macadamia de las especies *M. integrifolia* y *M. tetraphyllia*, el ácido araquídico (2.61, 2.58), behínico (0.77, 0.82), esteárico (3.32, 3.27), linoleico (2.23, 2.31), linolénico (2.67, 2.60), mirístico (1.02, 1.11), palmítico (8.46, 8.40), palmitoleico (18.42, 18.35), oleico (60.16, 60.18) todo en % en masa nos demuestran que no existe diferencia significativa mayor al 5% de valor de significancia.
4. El análisis estadístico realizado en el presente experimento demuestra que entre las cualidades físicas y químicas del aceite de macadamia de las especies *M. integrifolia* y *M. tetraphyllia*, no existe una diferencia significativa mayor al 5% del valor de significancia (α).

RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis cromatográfico al aceite de los injertos que existen de las especies de macadamia, para determinar las propiedades de los mismos.
2. Realizar estudios de índices de calidad a aceites de macadamia de las especies estudiadas en este trabajo, a diferentes aceites de macadamia obtenidos de diferentes lugares y regiones y latitudes.
3. Realizar estudios del ácido margárico, (ácido heptadecanoico) que es un ácido graso raro de un número impar de átomos de carbono, que está presente en el aceite de macadamia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. López, Edgar. **MANUAL PARA EL CULTIVO DE LA MACADAMIA** Editorial Universitaria. Guatemala 2003.
2. Robert, Morrison. **QUÍMICA ORGÁNICA**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. México 1999
3. Perry, John. **MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO** Editorial McGraw Hill. Séptima edición. México 2004.
4. Raymond, Kirk. **ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA** Editorial Limusa. México 1999.
5. Rueda, Gustavo. **REVISTA AGRICULTURA** Año III, número 28, páginas 60-75.
6. Walpole, Ronald E. **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill, México 2005
7. **NORMAS COGUANOR**

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayres, Gilbert H. **ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO**. Editorial Harla, México 1989.
2. Cenzano, Inber. **NUEVO MANUAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**. Segunda edición, editorial AMV ediciones, México 1995.
3. McCabe, Warren L. **OPERACIONES BÁSICAS DE INGENIERÍA QUÍMICA**. Tercera edición, Editorial McGraw Hill, México 2002.
4. Metzler, David E. **BIOQUÍMICA**. Ediciones OMEGA, México 1999.

APÉNDICE

Datos Originales

Tabla IX. Índices de calidad obtenidos del aceite de macadamia de las especies *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*.

ÍNDICE DE CALIDAD	ACEITE DE <i>M. INTERGRIFOLIA</i>	ACEITE DE <i>M. TETRAPHYLLIA</i>
Índice de yodo	82.27 gl/g	84.66 gl/g
Índice de saponificación	195.60 mgKOH/g	195.87 mgKOH/g
Índice de rancidez	No hay rancidez	No hay rancidez
Índice de peróxido	1.60 meq/kg	1.60 meq/kg
Prueba de frió	9.00 horas	9.00 horas
Contenido de jabón	68.40 %	60.8 %

Fuente: Aplicación de Normas COGUANOR. Tablas X y XI.

Tabla X. Índice de calidad del aceite de macadamia de la especie *M. intergrifolia*. Y la media de los datos obtenidos.

Índice de calidad	X ₁	X ₂	Media
Yodo	83.12	81.42	82.27
Peróxido	1.6	1.6	1.6
Prueba de frió	9	9	9
Saponificación	195.0	196.2	195.1
Jabón	70.0	66.8	68.4

Fuente: Aplicación de Prueba de Tukey

Tabla XI. Índice de calidad del aceite de macadamia de la especie *M. tetraphyllia* Y la media de los datos obtenidos.

Índice de calidad	X₁	X₂	Media
Yodo	83.70	85.62	84.66
Peróxido	1.7	1.5	1.6
Prueba de frió	9	9	9
Saponificación	196.1	195.64	195.87
Jabón	59.8	61.8	60.8

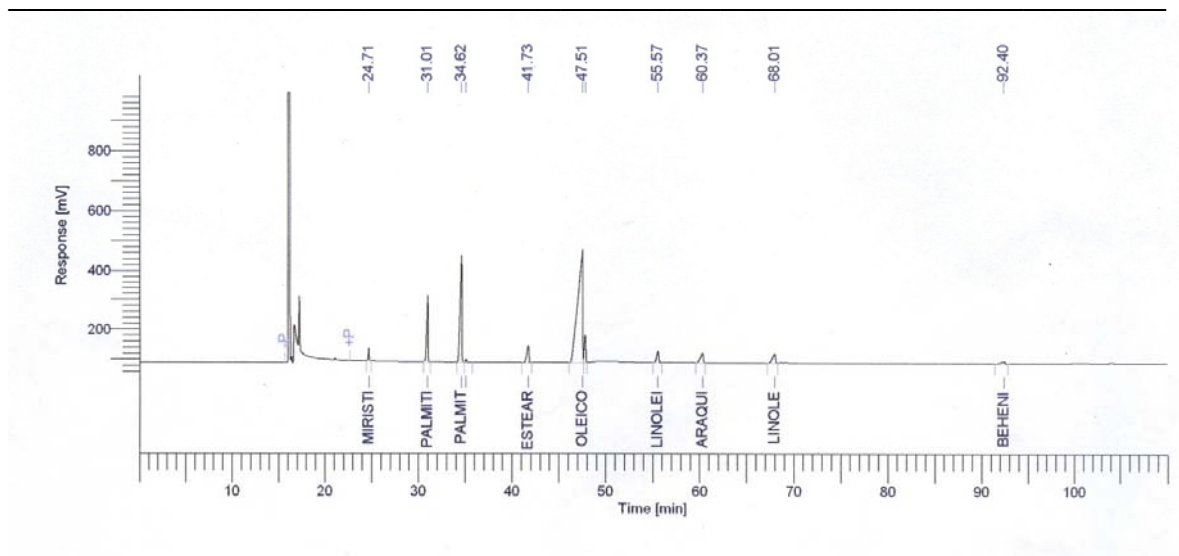
Fuente: Aplicación de Prueba de Tukey

Tabla XII. Rendimiento de la extracción de aceite de las especies de Macadamia *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*

ESPECIE	PESO DE LAS NUECES	ACEITE OBTENIDO	RENDIMIENTO
<i>M. intergrifolia</i>	7.80 kg	4.29 kg	55 %
<i>M. tetraphyllia</i>	6.23 kg	1.80 kg	29 %

Fuente: Aplicación de datos obtenidos en el proceso de extracción de aceite de *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*

Figura 15. Cromatograma realizado al aceite de macadamia de la especie *M. Intergifolia*, donde se muestra el área bajo las curvas que representan el porcentaje de los ácidos grasos presentes.

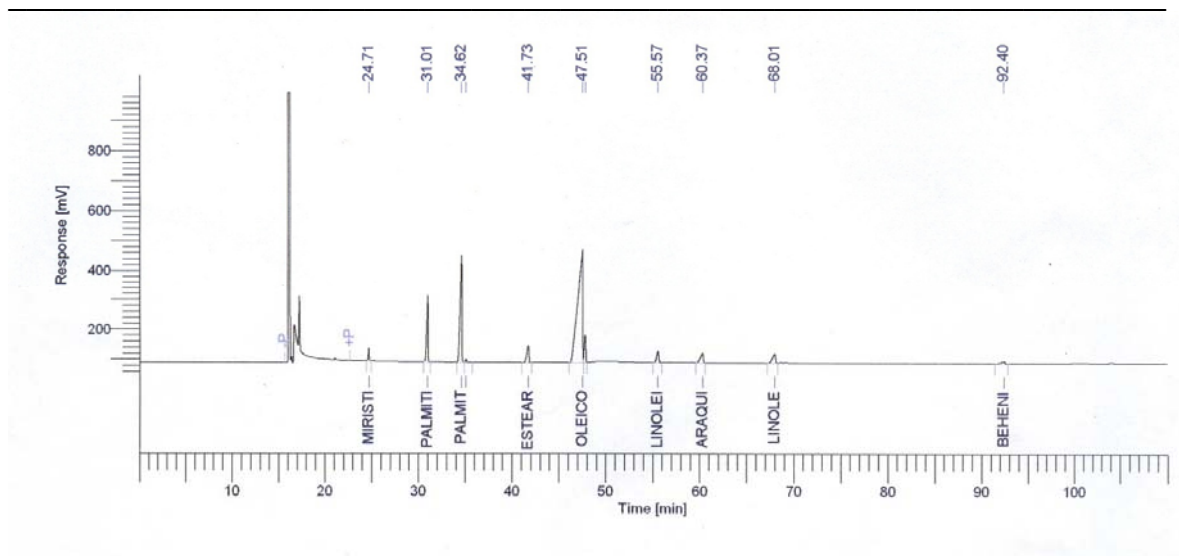


Fuente: Cromatógrafo de gases (XL PERKIN ELMER) Columna SP 2380 Capillary Column 2-4152, 30m*0.25mm, 0.20. Gas: Nitrógeno a 6.0 psi. Temperatura inyector: 250 °C Area sensitivity: 1700. Base sensitivity: 50. Tiempo: 25 minutos

Perfil de Ácidos Grasos:/Aceite de macadamia 1

Número de pico	Nombre del componente	Tiempo [min]	Área [uV*sec]	Área [%]
1	MIRISTICO	24.706	262864.09	1.02
2	PALMITICO	31.012	2173660.06	8.46
3	PALMITOLEICO	34.621	4734341.86	18.42
4	HEPTADECANOICO	35.114	87356.73	0.34
5	ESTEARICO	41.727	853306.53	3.32
6	OLEICO	47.514	14639596.90	56.96
7		47.828	821894.61	3.20
8	LINOLEICO	55.569	574442.88	2.23
9	ARAQUIDICO	60.366	671051.58	2.61
10	LINOLENICO	68.011	685465.19	2.67
11	BEHENICO	92.396	201099.29	0.78

Figura 16. Cromatograma realizado al aceite de macadamia de la especie *M. Tetraphyllia*, donde se muestra el área bajo las curvas que representan el porcentaje de los ácidos grasos presentes.



Fuente: Cromatógrafo de gases (XL PERKIN ELMER) Columna SP 2380 Capillary Column 2-4152, 30m*0.25mm, 0.20. Gas: Nitrógeno a 6.0 psi. Temperatura inyector: 250 °C Area sensitivity: 1700. Base sensitivity: 50. Tiempo: 25 minutos

Perfil de Ácidos Grasos:/Aceite de macadamia 2

Número de pico	Nombre del componente	Tiempo [min]	Área [uV*sec]	Área [%]
1	MIRISTICO	24.712	263426.09	1.11
2	PALMITICO	31.010	2173102.98	8.40
3	PALMITOLEICO	34.619	4733985.25	18.35
4	HEPTADECANOICO	35.523	87785.73	0.38
5	ESTEARICO	41.738	852956.86	3.27
6	OLEICO	47.661	14639523.90	56.95
7		47.801	821800.03	3.23
8	LINOLEICO	55.572	574987.69	2.31
9	ARAQUIDICO	60.371	670956.95	2.58
10	LINOLENICO	67.568	685023.99	2.60
11	BEHENICO	92.409	201624.11	0.82

Tabla XIII. Perfil de ácidos grasos obtenidos en el cromatógrafo de gases realizado a las especies *M. intergrifolia* y *M. tetraphyllia*

ÁCIDO GRASO	M. INTERGRIFOLIA %	M. TETRAPHYLLIA %
Araquídico	1.02	1.11
Behínico	8.46	8.40
Esteárico	18.42	18.35
Margárico	0.34	0.38
Linoleico	3.32	3.27
Linolénico	0.77	0.82
Mirístico	2.23	2.31
Palmítico	2.61	5.58
Palmitoleico	2.67	2.60
Oleico	60.16	60.18

Fuente: Cromatógrafo de gases (XL PERKIN ELMER) Columna SP 2380 Capillary Column 2-4152, 30m*0.25mm, 0.20. Gas: Nitrógeno a 6.0 psi. Temperatura inyector: 250 °C Area sensitivity: 1700. Base sensitivity: 50. Tiempo: 25 minutos

APÉNDICE B

Muestra de cálculo

Índice de saponificación

De acuerdo a la ecuación 1 que es la que se debe utilizar para calcular el índice de saponificación se obtiene el siguiente resultado para el índice de calidad realizado para el aceite de macadamia de la especie *M. intergrifolia*.

$$\text{Índice de saponificación} = 56.1 (V1 - V2)N/m \quad \text{Ecuación 1}$$

V1 = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la prueba en blanco

V2 = Volumen de ácido clorhídrico

N = Normalidad de la solución de ácido clorhídrico

m = Masa de la muestra de aceite de macadamia

Sustituyendo datos en la ecuación obtenemos

$$\text{Índice de saponificación} = 56.1 (49.8 - 15) * 0.5 / 5$$

$$\text{Índice de saponificación} = 195.6 \text{ miligramos de hidróxido de potasio/gramo}$$

Índice de yodo

De acuerdo a la ecuación 2 para calcular el índice de yodo se utiliza la siguiente ecuación. Para el aceite de macadamia de la especie *M. intergrifolia*.

$$\text{Índice de yodo} = 12.69 (V1 - V2)N/m \quad \text{Ecuación 2}$$

V1 = Volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la prueba en blanco

V2 = Volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la muestra

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m = Masa de la muestra de aceite de macadamia

Sustituyendo datos obtenemos

$$\text{Índice de yodo} = 12.69 (567.1 - 233.54) \cdot 0.1/5$$

$$\text{Índice de yodo} = 84.66 \text{ gramos de yodo absorbidos/100 gramos de muestra}$$

Índice de peróxido

De acuerdo a la ecuación 3 para calcular el índice de peróxido para el aceite de macadamia de la especie de macadamia *M. intergrifolia*.

Se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{Índice de peróxido} = 1000(V1 - V2)N/m \quad \text{Ecuación 3}$$

V1 = Volumen de la solución de tiosulfato empleado en la muestra

V2 = Volumen de la solución de tiosulfato empleado en la muestra en blanco

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m = Masa de la muestra

Sustituyendo datos obtenemos

$$\text{Índice de peróxido} = 1000 (1.5 - 1.42) * 0.1/5$$

$$\text{Índice de peróxido} = 1.6 \text{ miliequivalentes de oxígeno peróxido / kilogramo muestra}$$

Contenido de jabón

De acuerdo a la ecuación 4 para calcular el contenido de jabón como oleato de sodio presente en la muestra de aceite de macadamia de la especie *M. tetraphyllia*.

Se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{Porcentaje de jabón como oleato de sodio} = 30.4 * V * N / m \quad \text{Ecuación 4}$$

V = volumen de la solución de ácido clorhídrico

N = Normalidad de la solución

m = Masa de la muestra de aceite de macadamia

$$\% \text{Jabón} = 30.4 * 8571 * 0.01 / 40$$

$$\% \text{Jabón} = 60.8$$

Prueba de Tukey

Para calcular el discriminador de la prueba de Tukey para el índice de yodo calculamos los grados de libertad, al tener dos tratamientos y dos observaciones por tratamientos utilizamos

$$V = K(N - 1)$$

$$V = 2(2 - 1)$$

$$V = 2$$

Con dos grados de libertad y con dos tratamientos vemos que el dato proporcionado en la tabla I del discriminador de Tukey nos da un valor de 6.09.

La media la obtenemos de de promediar las dos medias para los datos obtenidos para cada especie.

$$X = (82.77 + 84.66)/2$$

$$X = 83.46$$

Con este dato procedemos a calcular la desviación estándar

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - X)^2}{(N - 1)}$$

$$S^2 = ((82.27 - 83.46)^2 + (84.66 - 83.46)^2)/2$$

$$S^2 = 2.88$$

Utilizando la ecuación No.1

$$\text{Tukey} = 6.09 (2.88/2)^{1/2}$$

$$\text{Tukey} = 7.30$$

Como tenemos que la diferencia entre las dos medias para el índice de yodo es de $(84.66 - 82.27) = 2.39$ y el dato obtenido en la prueba de Tukey es mayor, esto nos señala que entre los datos obtenidos para el índice de yodo no existe una diferencia significativa.

APÉNDICE C

Fotografías

Figura 17. Árbol de macadamia de la especie *M. intergrifolia*



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm.
Midzar Daniel García Estrada

Figura 18. Árbol de macadamia de *M. tetraphyllia* con sus frutos



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm.
Midzar Daniel García Estrada

Figura 19. Materia prima antes de extraer el aceite de macadamia de la especie *M. intergrifolia*



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm. Midzar Daniel García Estrada

Figura 20. Macadamia de la especie *M. tetraphyllia* antes de extraer el aceite en la prensa.



Fuente: Cyber-shot DSC-W110. Resolución: 3072 x 2304 pixeles (7,2 MP) Óptica: 32-128 mm. Midzar Daniel García Estrada