



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

**“ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EFECTO HIPOCOLESTERO-
LÉMICO E HIPOLIPIDÉMICO *IN VIVO* DE UN AGUACATE LIOFILIZADO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

PRESENTA:

P.Q.F.B. MARCELA GONZÁLEZ MONTOYA

ASESORES:

D.C. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES

D.C. JOSÉ OCTAVIO RODILES LÓPEZ

MORELIA, MICHOACÁN

JUNIO, 2012

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la dicha de crecer en una grandiosa familia y de estar rodeada siempre de gente maravillosa, viviendo cada día en su gloria y con una felicidad plena.

A mis padres, por regalarme la vida. Por ser para mis hermanos y para mí, un soporte personal y emocional bien estructurado y cimentado en amor y buenos principios. Por ser los mejores guías y consejeros, por respetar y respaldar cada decisión que he tomado y por confiar en mi capacidad e integridad. Por enseñarme a enfrentar cada adversidad con serenidad y sabiduría y por último, por amarme incondicionalmente como yo los amo.

A mis hermanos; Pepe, por ser un gran ejemplo a seguir y por transmitirme siempre tranquilidad, confianza y seguridad; Lala, por ser más que mi hermana mi amiga, por ayudarme a distraerme en los momentos más difíciles y ser además mi cómplice; y Marco, mi hermano menor, por representar un motivo más por el cual deseo superarme, para ser siempre un buen ejemplo.

A mi inspiración, Alejandro, porque sin ti corazón, ni toda mi alegría ni mis triunfos tendrían un sentido completo, porque llenas mis días de felicidad, por lo que hemos sido, lo que somos y lo que seremos juntos. Gracias por estar siempre conmigo, por brindarme tu apoyo incondicional y respetar cada decisión que he tomado, más aún por compartir y combinar mis sueños con los tuyos para llegar algún día a hacer de ellos uno solo. Así como por tus consejos, palabras de aliento y amor.

A mis cuñados, Tania y Alan que forman hoy parte de mi vida también, por su calidez y amabilidad, además de su linda amistad.

A mi familia; Mamá Con que tengo la fortuna de tener conmigo y mis tres ángeles (abuelitos) que ya me vigilan en el cielo, por su educación, esfuerzo y formación hacia mis padres que se ve hoy reflejada también en mi, a mis tíos y tías, primos y primas; gracias por su compañía durante toda mi vida.

Al D.C. Héctor, cuya trayectoria en Investigación admiro y reconozco. Gracias por su gran confianza, respaldo y apoyo en todo momento, no solo durante la realización del proyecto sino también por permitirme desde hace más de 2 años formar parte del grupo de trabajo en el laboratorio, por estimular y promover mi interés y desarrollo en la ciencia por gestionarme estancias de investigación en reconocidas Instituciones en el país y por ser un gran ejemplo a seguir.

Al Dr. Rodiles, quien con su motivación y entusiasmo de incursión en el área de Investigación y como Profesor, contagia indudablemente el deseo de superación profesional y académica. Gracias por su paciencia, ayuda y orientación en mi formación académica y personal que me brindó siempre. Gracias también porque en gran parte, debido a la confianza que depositó en mi y su apoyo, hoy me espera un prometedor futuro en mi formación en la investigación.

A mis amigos inseparables de la Facultad, porque además de su eterna e incondicional amistad, fueron cada uno contribuyentes en el resultado final de este camino. A Kyralina, por ese carisma, sencillez y alegre presencia, a Perla por su linda amistad, sencillez, compañía, ayuda y disposición; Oscar por ayudarme a fortalecerme mentalmente cada que lo necesité en los altibajos del proyecto y por ser tan especial en mi vida; a Rojas por ser fiel acompañante en mi vida y de mi formación académica y Julio por su divertida y especial compañía. A todos ustedes, gracias por esa grandiosa amistad!!

A mis amigas de laboratorio, que definitivamente merecen mención especial, de nuevo Kyra, Sarahí y Pichardo por hacer de cada día de trabajo un día de diversión y enriquecimiento mutuo

personal y académico, también por su valioso apoyo en la realización de cada uno de los experimentos.

A todos mis compañeros y compañeras del laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos: Eunice, Yvette, Silvia, Samy, Eder, Mireya, Adriana y Leslie, por regalarme todos los días una sonrisa y una linda palabra, por su grato compañerismo y su ayuda.

A la Facultad de Químico Farmacobiología y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que haciendo honor a su lema “Cuna de héroes, Crisol de pensadores”, me proporcionó una excelente formación humana y académica. Por permitirme el acceso a sus instalaciones, aulas y laboratorios, le estoy muy agradecida y me considero Orgullosamente Nicolaita. Espero algún día poder regresarle un poco de lo mucho que me ofreció durante mi formación. Porque soy Nicolaita de Corazón!!

A la fábrica SioSi Alimentos, en especial al M.A. Gerónimo Villanueva por su cordialidad, disposición y cooperación en este proyecto. Sin dicha empresa, y su iniciativa de vinculación de la Industria privada con la investigación, este proyecto no hubiera sido posible. Gracias por la confianza!!

A la fábrica Aarus karlasham AAK, en especial al Laboratorio de Investigación y Desarrollo y al Ing. Galo Set, por permitirme el acceso y la utilización de sus equipos, así como por su asesoría en las determinaciones realizadas en esta empresa.

Al D.C. Rosalío Mercado, por abrirme las puertas del Laboratorio de Neurobiología de la Facultad de Q.F.B. para la realización de los ensayos biológicos. Por su cordialidad y la orientación en dicha área.

Al Q.F.B Roberto, por su disposición incondicional y su apoyo en todo momento. Por su ayuda en el manejo y sacrificio de los animales, así como al recolección de muestras biológicas. Además, gracias por su ayuda para la realización de los análisis estadísticos. Estoy sumamente agradecida contigo Beto.

Al Laboratorio de Análisis Clínicos de la Facultad de Q.F.B de la UMSNH, y a la Q.F.B. Judith, encargada de dicho laboratorio, por permitirme llevar a cabo las determinaciones séricas de los parámetros en sus instalaciones y bajo su asesoría.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	i
Índice General.....	i
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Tablas	iv
Lista de Abreviaturas	v
I. RESUMEN	1
II. ABSTRACT	2
III. INTRODUCCIÓN	3
3. 1. AGUACATE	3
3.1.1. El Aguacate en México y en el Mundo.....	5
3.1.1.1. Aspectos Internacionales	5
3.1.1.2. Aspectos Nacionales	6
3.2. PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL AGUACATE.....	7
3.2.1. Proteínas.....	7
3.2.2. Lípidos	8
3.2.3. Carbohidratos.....	11
3.2.4. Fibra dietética	11
3.2.5. Vitaminas	12
3.2.6. Minerales	13
3.3. LIOFILIZACIÓN	15
3.3.1. Proceso de Liofilización	16
3.3.2. Etapas de la Liofilización	17
3.3.3. Requerimientos del Sistema de Liofilización	17
3.3.4. Liofilización Industrial	18
3.3.5. Liofilización del Aguacate.....	19
3.4. EFECTOS FISIOLÓGICOS de CONSUMO DE AGUACATE.....	19
3.4.1. Efectos Fisiológicos de la Fibra.....	20
3.4.2. Efectos Fisiológicos de los Ácidos Grasos	20
3.4.2.1. Metabolismo de Lípidos	21
3.4.2.2. Metabolismo del Colesterol.....	22
3.4.2.3. Transporte de Lípidos	24
3.4.2.4. Lípidos de la Dieta.....	25

IV. JUSTIFICACIÓN	27
V. HIPÓTESIS	28
VI. OBJETIVOS	28
6.1. Objetivo General	28
6.2. Objetivos Específicos	28
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	29
7.1. MATERIA PRIMA	29
7.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA	30
7.2.1. Análisis Bromatológico	30
7.2.2. Perfil de Ácidos Grasos	30
7.3. ENSAYO BIOLÓGICO	31
7.3.1. Selección del Modelo Biológico	31
7.3.2. Manejo de Animales de Experimentación	32
7.3.3. Formulación de Dietas	33
7.3.4. Consumo de Alimento	36
7.3.5. Sacrificio y Obtención de Muestras Biológicas	36
7.3.6. Determinación de Parámetros Sanguíneos	36
7.3.7. Determinaciones en Muestras Biológicas	36
7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
8.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA AGUACATE LIOFILIZADO	38
8.1.1. Análisis Bromatológico	38
8.1.2. Perfil de Ácidos Grasos	39
8.2. ENSAYO BIOLÓGICO	41
8.2.1. Composición Final de las Dietas	41
8.2.2. Análisis Estadístico	42
8.2.3. Consumo de Alimento	42
8.2.4. Peso Corporal de los Animales	43
8.2.5. Determinaciones Sanguíneas	46
8.2.6. Parámetros Adicionales	48
8.2.7. Determinaciones en Hígado	50
8.2.8. Determinaciones en Heces	52
IX. CONCLUSIONES	55
X. BIBLIOGRAFÍA	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes del Fruto de Aguacate (González, 2011).	4
Figura 2. Producción y Superficie Cultivada de Aguacate, Nivel Mundial.	5
Figura 3. Principales Estados Productores de Aguacate.	6
Figura 4. Distribución Nacional de Aguacate Michoacano.	7
Figura 5. Estructura Química de β -Sitosterol y Colesterol.	10
Figura 6. Efecto de los fitoesteroles sobre la absorción y excreción del colesterol.	11
Figura 7. Pasos del Proceso de Liofilización.	17
Figura 8. Liofilizador Industrial de Bandeja.	18
Figura 9. Estructura Colesterol Libre y Esterificado.	23
Figura 10. Estructura Molecular de un Quilomicrón (Voet, 2007).	25
Figura 11. Procesamiento de Lípidos de la Dieta en Vertebrados (Lehninger, 2005).	26
Figura 12. Materia Prima. Aguacate Liofilizado SioSi Alimentos.	30
Figura 13. Cromatógrafo de Gases. Agilent Technologies.	31
Figura 14. Extracción del Aceite de Aguacate.	31
Figura 15. Animales en Adaptación.	32
Figura 16. Jaulas Metabólicas.	33
Figura 17. Cromatograma del Perfil de Lípidos de Aceite de Aguacate Liofilizado.	40
Figura 18. Aspecto visual de las dietas.	41
Figura 19. Alimento Consumido Promedio por Lote.	42
Figura 20. Talla de los Animales al Final del Experimento.	43
Figura 21. Peso Corporal Final de Animales por Lote.	45
Figura 22. Comprobación del Modelo Biológico.	47
Figura 23. Determinaciones Sanguíneas de Colesterol por Dieta.	47
Figura 24. Determinaciones Sanguíneas de Triglicéridos por Dieta.	48
Figura 25. Peso de Hígados por Lotes.	50
Figura 26. Porcentaje de Grasa en Hígado por Lotes.	51
Figura 27. Comparación del Aspecto de los Hígados.	52
Figura 28. Contenido de Agua en Heces.	53
Figura 29. Excreción de Grasa en Heces.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del Aguacate.	4
Tabla 2. Perfil de Aminoácidos de Aguacate Fresco (100 g).	8
Tabla 3. Perfil de Vitaminas. Aguacate Fresco. Información Bibliográfica (100 g).	13
Tabla 4. Reporte Bibliográfico de Minerales de Aguacate fresco (100 g.)	14
Tabla 5. Materia Prima para la Elaboración de las Dietas y Fuente de Nutriente.	29
Tabla 6. Formulación Final de las Dietas (g).....	34
Tabla 7. Mezcla de Minerales AIN-93M.	35
Tabla 8. Mezcla de Vitaminas AIN-93M.	35
Tabla 9. Análisis Bromatológico (100 g).....	38
Tabla 10. Perfil de Ácidos Grasos de Aguacate Liofilizado.....	39
Tabla 11. Composición Final de Dietas (%).	41
Tabla 12. Ingesta Promedio de Alimento por Animal.	42
Tabla 13. Pérdida de Peso de los Animales al Término de la Experimentación.	44
Tabla 14. Composición Química de Alimento Comercial*.....	44
Tabla 15. Determinación de Colesterol Total y Triglicéridos por Lote.....	46
Tabla 16. Parámetros Adicionales Calculados.	49
Tabla 17. Peso fresco, Contenido de Agua y Lípidos en Hígado por lote.....	50
Tabla 18. Contenido de Agua y Lípidos en Heces.	52

LISTA DE ABREVIATURAS

AACC: American Association of Cereal Chemists

ACAT: AcilCoA Colesterol-Acil-Transferasa

AGM: Ácidos Grasos Monoinsaturados

AGP: Ácidos Grasos Poliinsaturados

AGS: Ácidos Grasos Saturados

AIN-93: American Institute of Nutrition, 1993.

AgL: Aguacate Liofilizado

AL: Ácido Linoleico

C17: Carbono número 17 del colesterol

CT: Colesterol Total

DA: Dieta de Aceite de Aguacate

DC: Dieta Control

DD: Dieta de Aguacate Desgrasado

DL: Dieta de Aguacate Liofilizado

DR: Dieta de Referencia

ECV: Enfermedades Cardiovasculares

FDW: Fórmula de Friedewald

g: gramos

h: horas

HDL: (High Density Lipoprotein) Lipoproteínas de Alta Densidad

IA: Índice Aterogénico

LDL: (Low Density Lipoprotein) Lipoproteínas de Baja Densidad

m: metros

mg: miligramos

OH: Radical hidroxilo

TG: Triglicéridos

VLDL: (Very Low Density Lipoprotein) Lipoproteínas de Muy Baja Densidad

I. RESUMEN

El aguacate es un fruto que posee una importante composición nutricional, principalmente un alto contenido de lípidos insaturados, proteína y fibra. México se ubica como líder mundial en producción y superficie sembrada del fruto. Dentro de México, Michoacán ocupa el primer lugar en producción nacional con un 87%. A pesar de esto, solo un pequeño porcentaje de aguacate es exportado, esto se debe principalmente a que es un fruto con actividad respiratoria intensa después de la cosecha, por esta razón su almacenamiento por periodos largos se dificulta, y por lo tanto, se complica a la vez su comercialización y transporte. Adicionalmente, los alimentos con alto contenido de lípidos, como el aguacate, no son susceptibles a ser tratados por métodos tradicionales de conservación de alimentos como el secado convencional, ya que pueden alterarse las propiedades nutricionales y sensoriales del alimento.

La liofilización es una óptima alternativa utilizada como método de conservación del aguacate que se basa en la extracción de agua de un alimento por sublimación. Esta tecnología, además de prolongar la vida de anaquel del fruto, por disminuir su actividad de agua, permite la conservación de todas sus propiedades organolépticas. Por otra parte, el consumo de aguacate ha sido asociado con la disminución de riesgos en enfermedades cardiovasculares (ECV) debido su efecto positivo en lípidos séricos.

Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue determinar la composición química del Aguacate Liofilizado (AgL) de la empresa SioSi Alimentos de Morelia Michoacán y evaluar su efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico utilizando hámsters como modelo biológico. Primeramente, se realizó un análisis bromatológico del AgL, después la extracción y caracterización del aceite de aguacate liofilizado por cromatografía de gases. Posteriormente, se formularon cinco dietas: DR o dieta de referencia de animales sanos, DC o dieta control alta en colesterol y triglicéridos, y tres dietas experimentales que incluyeron: aceite de aguacate (DA), fibra y proteína sin aceite (DD), y el producto liofilizado completo (DL). El análisis de la composición química y perfil de ácidos grasos del producto mostró un contenido de aceite del 60%, del cual más del 80% corresponden a ácidos grasos insaturados, además del 19% de fibra y 4% de proteína. En el ensayo biológico, se observó una pérdida de peso considerable en los animales que se alimentaron con las tres dietas experimentales. La dieta que mostró un mayor efecto en la disminución de CT y TG sanguíneos fue DL, mientras que DD no mostró una disminución significativa y DA aumentó el contenido de CT, sin embargo, fue esta dieta la que mayor porcentaje manifestó en la fracción HDL del colesterol. Se determinó el contenido de grasa en hígado, la dieta que expuso un menor valor fue DL, seguido de DD y DA, respectivamente. Aunado a esto, al realizar la determinación de lípidos en heces observamos que la dieta que mejor favoreció a la excreción de grasa mediante las evacuaciones fue también DL.

Palabras clave: *Aguacate liofilizado, Colesterol Total (CT), Triglicéridos (TG), hámsters.*

II. ABSTRACT

Avocado is a fruit that has an important nutritional composition; mainly its high content of unsaturated lipids, protein and fiber. Mexico ranks as the world leader in production and area planted with avocado. Inside the country, Michoacán takes the first place in national production of the fruit with 87%. Despite this, only a small percentage of avocados are exported, mostly because it has a strong respiratory activity postharvest. For this reason, storage for long periods is difficult, and therefore, is complicated both marketing and transportation of the fruit. Additionally, foods high in fat, like avocado, are not susceptible to be treated by traditional methods of food preservation as conventional drying, as they may alter the nutritional and sensory properties of food. Freeze drying is a great alternative preservation method used as the avocado, and is based on the extraction of water from food by sublimation, this technology, in addition to prolonging the shelf life of avocados, to decrease its water activity, allows the conservation of all its organoleptic properties. On the other hand, has been associated with avocado consumption with decreased risk of CVD because of its positive effect on serum lipids. Therefore, the aim of this study was to determine the chemical composition of Avocado Freeze Dried Food company Morelia Michoacan SiOSi and evaluate their hypocholesterolemic and hypolipidemic effect using hamsters as a biological model. First, we performed a compositional analysis of the powder, after extraction and characterization of avocado oil lyophilized by gas chromatography. Subsequently, five diets were formulated: DR or reference diet of healthy animals, DC or control diet high in cholesterol and triglycerides, and three experimental diets including: avocado oil (DA), fiber and protein without oil (DD), and complete the lyophilized product (DL). Analyzing the chemical composition and fatty acid profile of the product showed an oil content of 60%, of which more than 80% are unsaturated fatty acids, besides 19% fiber and 4% protein. Finally, in the bioassay showed a significant weight loss in animals that were fed three experimental diets. The diet showed a greater effect in lowering blood TC and TG was DL, DD showed no significant decrease in DA and CT showed an increase, however, was this diet showed the highest percentage in HDL cholesterol. Determinations were also performed of fat in liver, to which the diet exhibited a lower percentage was DL, followed by DD and DA, respectively. Added to this, to make the determination of fecal fat diet showed that the best way that favored fat excretion through stool was also DL, preserving the order listed for the previous determination.

Keywords: Avocado lyophilized, total cholesterol (TC), triglyceride (TG), hamsters.

III. INTRODUCCIÓN

3. 1. AGUACATE

El nombre científico del árbol de aguacate se conoce como *Persea americana* ó *Persea gratissima* y su fruto es conocido como Aguacate. El árbol es nativo de América y se originó en las partes altas del centro y este de México, Centro América, y hasta Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (SAGARPA, 2005).

La palabra aguacate proviene del náhuatl “ahuácatl”, que significa testículo y lo llamaban los Aztecas así por su aspecto. El fruto es conocido en otros países con el nombre de palta, cura, abacate, avocado y “fruta de mantequilla” (Paull & Duarte, 2011).

El aguacate es un árbol frondoso de hoja perenne y con tronco en sección circular. Llega a medir hasta 20 m, y su copa es de ramas ascendentes en forma cónica y densa. Tiene una floración muy generosa, sin embargo, es sensible al frío y a la humedad ambiental. Las hojas son de forma ovalada, lanceolada o elíptica, y de dimensiones entre 5 y 30 cm de largo y 4 cm de ancho, lisas, cerosas y de color verde brillante (Gandolfo, 2008).

Los frutos comestibles son bayas piriformes de unos 12 x 9 a 15 x 10 cm; tienen el exocarpio verde oscuro con numerosas escamas morenas, mesocarpio muy carnoso y oleoso, de color amarillo claro al interior y verde hacia el exterior y conteniendo una semilla ovoide de 5 a 6 centímetros de largo. La porción amarilla del mesocarpio debe su color a los pigmentos β -caroteno, criptoxantina, luteína crisantemaxantina e isoluteína. Presenta una superficie lisa o rugosa, además tiene un rango de peso bastante amplio que en las variedades comerciales oscila entre los 120 g y los 2.5 kg, y de color verdoso con piel fina o gruesa. Es un fruto climatérico, que durante su estadio de maduración manifiesta una respiración acelerada después de haber alcanzado su estado de sazón; no madura en el árbol (como otras frutas climatéricas), y alcanza su madurez a los 13 días en promedio después de haber sido cortadas (Gandolfo, 2008).

El grado óptimo de madurez del fruto para realizar la recolección es difícil de determinar por la diversidad de variedades y ambientes, así como por las variaciones en la duración del período de floración a cosecha y por las diferencias en el contenido de aceites que se van acumulando durante la maduración del fruto. El criterio de madurez que ha prevalecido ha sido el basado en el contenido de grasa en el fruto (SIAP, 2012).

La recolección se hace a mano utilizando escalera, y se corta el pedúnculo por encima de la inserción con el fruto; dado que el fruto del aguacate tiene una actividad respiratoria muy intensa después de recolectado, su almacenamiento por períodos largos se hace difícil, ya que esta característica conlleva una intensa actividad microbiana y una fuerte disminución del contenido de agua en el fruto (SIAP, 2012).

En la Tabla 1 se observa la clasificación taxonómica del aguacate.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del Aguacate.

Clasificación Científica	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Lurales
Familia:	Lauraceae
Género:	<i>Persea</i>
Especie:	<i>P. americana</i>

Se estima que actualmente existen más de 40 variedades del fruto, sin embargo, por razones de productividad y otras del mercado que van desde su vida de anaquel hasta su contenido graso, la explotación comercial se limita a un número muy reducido de estas (Forero et al., 2007).

Una de las variedades más comunes es la variedad Hass, la cual se cosecha todo el año. Se presenta como un fruto de color verdoso que se torna de color negro-púrpura en su maduración y además tiene piel gruesa. La pulpa tiene una consistencia cremosa y un sabor agradable. El peso de la fruta tiene un rango bastante amplio en las variedades comerciales y oscila entre los 120 y los 400 g; así mismo, la corteza del fruto va de delgada a gruesa y de arrugada a lisa (SIAP, 2012). En la Figura 1 se muestran las partes anatómicas del fruto de aguacate.

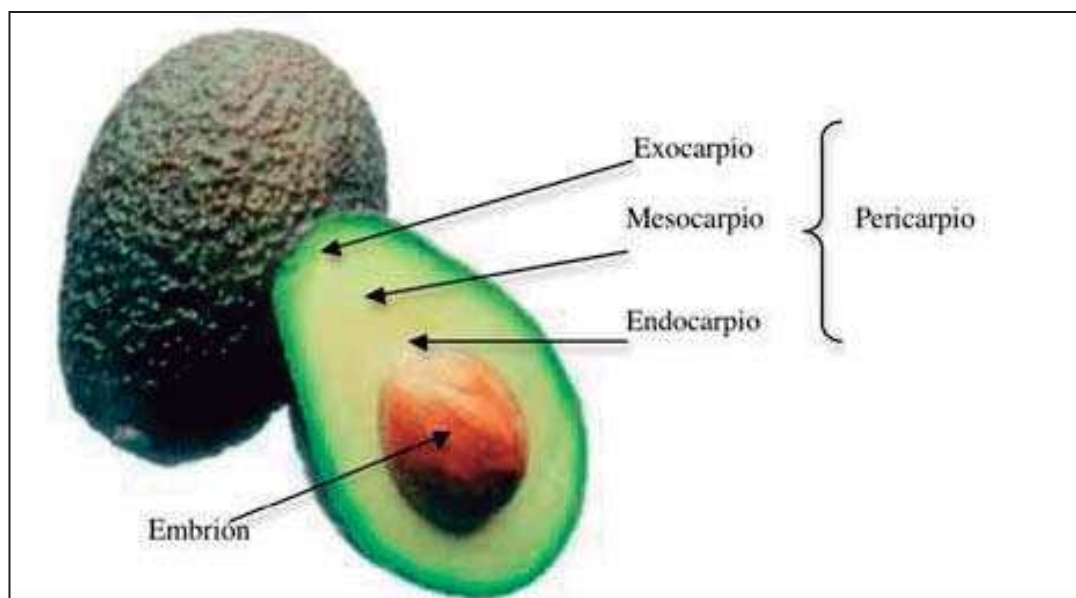


Figura 1. Partes del Fruto de Aguacate (González, 2011).

El aguacate presenta un alto contenido de proteína y grasas, con un porcentaje en aceite de alrededor del 10 al 20% en fruto fresco, principalmente en ácidos grasos insaturados. Se utiliza de forma común en la alimentación, y como complemento alimenticio por su alto contenido de lípidos insaturados, proteínas, vitaminas y minerales. Además, pueden extraerse aceites, que una vez procesados son utilizados en la Industria Cosmética y Farmacéutica.

3.1.1. El Aguacate en México y en el Mundo

3.1.1.1. Aspectos Internacionales

México se ubica como líder mundial en superficie sembrada de aguacate con el 27% del total y con una producción del 34%. A pesar de esto, solo se exporta el 2.7% de la producción nacional. México posee el mayor consumo per cápita anual del mundo con cerca de 10 Kg (SAGARPA, 2005). Así mismo, es el principal exportador con el 22% del total mundial, el valor de la producción del cultivo de aguacate en 2010 fue de más de 14 millones de pesos (SIAP, 2010).

La producción mundial del aguacate en últimos años fue aproximadamente de 2.3 millones de toneladas (SAGARPA, 2005). Algunos de los principales productores de aguacate, después de México, son: Indonesia, Estados Unidos, República Dominicana, Brasil e Israel. Otros países en donde se cultiva el fruto son Colombia, Perú, Chile, Zaire, Sudáfrica, España y Venezuela (Sánchez & Barrera, 2003).

En la Figura 2 se muestra la relación global en Producción y Superficie Cultivada a nivel mundial para el fruto de aguacate (SAGARPA, 2005).

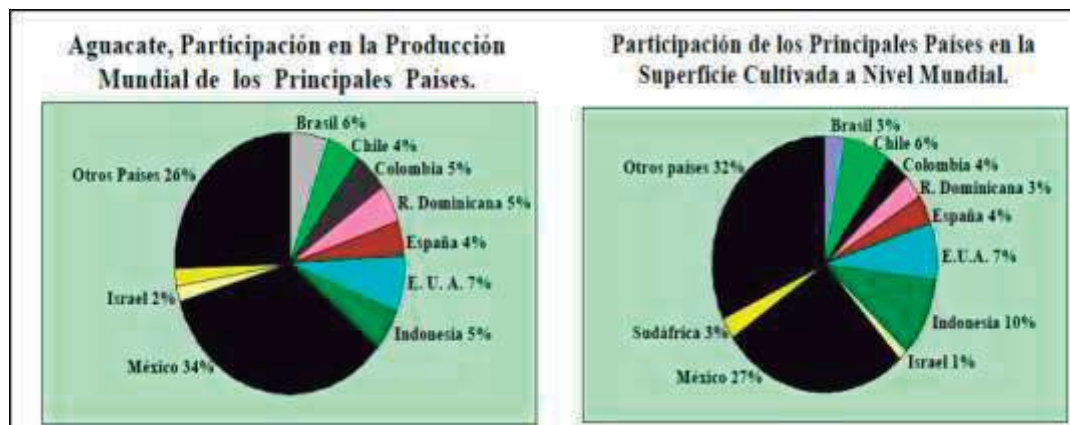


Figura 2. Producción y Superficie Cultivada de Aguacate, Nivel Mundial.

En importaciones mundiales, Estados Unidos y Francia concentran el 53% de Aguacate. En 1990, Francia era el más grande importador de Aguacates del mundo con el 52.3% de las importaciones totales, Estados Unidos participaba con el 9% de las importaciones totales en ese año.

Para 2002, y a la fecha la participación de Francia en las importaciones totales bajó al 24.5% y Estados Unidos supero a Francia con un 29.5%.

3.1.1.2. Aspectos Nacionales

La superficie aguacatera se concentra en cinco entidades federativas que son: Michoacán, Nayarit, Morelos, Estado de México y Puebla con cerca del 92% del total; de ésta, Michoacán participa con el 87% aproximadamente. En la Figura 3 se muestra un resumen de dicha información (Financiera Rural, 2009).

Durante el período de 1999 a 2002 el estado de Michoacán en promedio concentró el 84% de la superficie sembrada nacional de aguacate y el 88% de la producción nacional. En 2008 participó con el 87.8%, (ver figura 3) lo que equivale alrededor de 985.8 miles de toneladas. Ésta registró un decremento del 2.0% respecto a la producción de 2007, por el contrario respecto a 2002, la producción mostró un incremento del 24.4%. Gracias a este crecimiento, México se ha colocado como uno de los principales productores a nivel mundial. Cabe resaltar que en el 2007, Michoacán alcanzó una producción récord de 1,006.1 miles de toneladas. En promedio en el estado de Michoacán se produjeron entre el 2002 y 2008, 906.8 miles de toneladas, con una Tasa Media Anual de Crecimiento del 3.7% (Financiera Rural, 2009). En la Figura 4 se muestra la principal distribución del aguacate michoacano a nivel nacional.

El destino de la producción del aguacate fresco al mercado nacional fue principalmente a las ciudades del Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara.

El aguacate nacional de exportación se destina primordialmente a Estados Unidos con un 32%, Europa 20% y Japón 14% (SAGARPA, 2005).



Figura 3. Principales Estados Productores de Aguacate.



Figura 4. Distribución Nacional de Aguacate Michoacano.

3.2. PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL AGUACATE

El aguacate posee una diversa e importante composición nutricional, la cual lo coloca por encima de muchas otras frutas con respecto a su valor nutritivo.

A continuación se describen los principales componentes nutricionales del aguacate.

3.2.1. Proteínas

El aguacate contiene de una a dos veces más proteína que otras frutas, además de un buen perfil de aminoácidos, los cuales forman parte de las proteínas y también tienen múltiples funciones: como fuente de glucosa, energía y como precursores de numerosas moléculas no proteínicas e importantes para el metabolismo.

Existen 20 aminoácidos que componen a las proteínas, de los cuales 9 se consideran como esenciales por ser indispensable su consumo en la dieta humana; siendo éstos: Lisina, Valina, Leucina, Isoleucina, Metionina, Fenilalanina, Treonina, Triptófano e Histidina. El aguacate contiene 9 de los 9 aminoácidos esenciales en la dieta, y en total 18 de los 20 aminoácidos existentes, además, sus valores se encuentran entre un 5 y 15%; lo cual se considera como un buen aporte dietético (Badui, 1993); solamente los aminoácidos asparagina y glutamina no se encuentran presentes en el aguacate.

Adicionalmente, contiene el aminoácido colina; el cual es un nutriente esencial para el funcionamiento cardiovascular y cerebral; y para el funcionamiento normal de la membrana celular (Belitz & Grosch, 1997).

En la Tabla 2 se presenta el balance de aminoácidos en aguacate fresco. Los datos corresponden al Reporte Bibliográfico basado en las variedades California (86%) y Florida (14%) de la USDA National Database for Standard Reference, Release 23 (2011).

Tabla 2. Perfil de Aminoácidos de Aguacate Fresco (100 g).

Nutriente	Valor 100 g (mg)	IDR* (mg/d)	%IDR**
Triptófano	25	245	10.2
Treonina	73	490	14.9
Isoleucina	84	700	12
Leucina	143	980	14.6
Lisina	132	840	15.7
Metionina	38	910	4.2
Fenilalanina	97	980	9.9
Valina	107	700	15.3
Histidina	49	560-840	8.8-5.8
Tirosina	49	NI	NI
Tirosina	49	NI	NI
Arginina	88	NI	NI
Alanina	109	NI	NI
Ácido aspártico	236	NI	NI
Ácido glutámico	287	NI	NI
Glicina	104	NI	NI
Prolina	98	NI	NI
Serina	114	NI	NI
Cistina	27	NI	NI

*IDR: Ingesta Diaria Recomendada para Adulto de 70 kg de peso. ** % IDR: Porcentaje cubierto de la Ingesta Diaria Recomendada al consumir 100 gramos de aguacate en un adulto de 70kg NI: No Indispensable.

3.2.2. Lípidos

La principal característica nutricional del aguacate es su alto contenido de lípidos, ya que comprenden aproximadamente el 60% del peso seco total del aguacate siendo éstos principal-

mente insaturados; sin embargo, el contenido de aceite del fruto varía con el grado de madurez y la época del año; se observa durante el desarrollo del fruto un incremento en el contenido de aceite y una disminución en su porcentaje de humedad, lo que es utilizado como índice de madurez (Campos et al., 2011). Cuando el fruto madura disminuye el contenido ácidos grasos saturados, como el palmítico y aumenta el de ácidos grasos insaturados, como el oleico (Pérez et al., 2005).

Los *Ácidos Grasos Monoinsaturados* (AGM) son el principal componente del aceite de aguacate, de los cuales el más abundante es el ácido oleico con aproximadamente 60-70%, además del palmitoleico. Los AGM no son indispensables en la dieta; sin embargo, se ha demostrado que la incidencia de padecimientos cardiovasculares es menor en las poblaciones con alta ingesta de estos. Entre las dietas más empleadas para la prevención y tratamiento de arterioesclerosis se encuentra una dieta rica en AGM y en especial del ácido oleico, la cual resulta también muy benéfica para la población sana. Por otro lado, desde el punto de vista del metabolismo de las lipoproteínas sanguíneas, el consumo de AGM representa una contribuye en la disminución de los niveles séricos de colesterol, así como a disminuir la presión arterial. Por lo que puede decirse que una dieta enriquecida en aguacate que contiene altos niveles de AGM puede mejorar el perfil de lípidos en pacientes con hipercolesterolemia moderada e hiperlipidemia.

El aguacate contiene también *Ácidos Grasos Poliinsaturados* (AGP) como el linoleico y linolénico, conocidos también como Omega 3 y Omega 6, respectivamente; los cuales reciben el nombre de ácidos grasos esenciales debido a que no pueden ser sintetizados por los mamíferos y es indispensable su consumo en la dieta. Estos ácidos grasos esenciales sirven a su vez como precursores de otros ácidos grasos de importancia en el organismo como el ácido araquidónico, ácido eicosapentanoico (EPA) y el ácido docosahexenoico (DHA). Éstos ácidos grasos tienen un papel catalítico fundamental y desempeñan roles críticos en la estructura de las membranas celulares, actúan como precursores de las prostaglandinas, leucotrienos y lipoxinas que cumplen funciones importantes en el organismo como son la agregación plaquetaria, procesos inflamatorios y en el sistema inmunológico; además son conocidos por su efecto protector en enfermedades cardiovasculares (Yaqoob & Calder, 2003).

Otro compuesto lipídico importante de mencionar presente en el aguacate es el β -sitosterol; el cual es un compuesto químico que pertenece al grupo de los fitoesteros, los cuales son esteroides que se encuentran de forma natural en el reino vegetal. Estos fitoesteros presentan una estructura química muy similar a la del colesterol, teniendo solamente en diferencia, un sustituyente metilo o etilo en su estructura; y su importancia radica debido a esta similitud química con el colesterol, ya que se ha asociado su consumo con la reducción de niveles de colesterol en la sangre. En la Figura 5 se muestra la estructura química del colesterol y del β -sitosterol.

Se dice que los fitoesteros actúan en tres niveles diferentes:

Primeramente, y debido a que los fitoesteres son más lipofílicos que el colesterol, desplazan competitivamente al colesterol presente en las micelas mixtas formadas en el lumen intestinal por las sales biliares conjugadas y los fosfolípidos. Las micelas mixtas son complejos moleculares donde se asocian sales biliares, lecitina y colesterol en relaciones de concentración definidas que le dan estabilidad al colesterol en una solución acuosa o liposomas cuando solo se encuentran presentes lecitina y colesterol.

Cuando las micelas mixtas entran en contacto con las micro-vellosidades de las células intestinales, los fitoesteres ocupan el lugar del colesterol, que al ser desplazado de las micelas, no puede ser absorbido y es eliminado con las deposiciones. Por su parte, los fitoesteres son escasamente absorbidos a nivel intestinal, por lo cual durante el proceso de difusión de los ácidos grasos y monoglicéridos desde la micela hacia las células intestinales, los esteroides son liberados junto con el colesterol que no puede ser absorbido y son excretados por las heces.

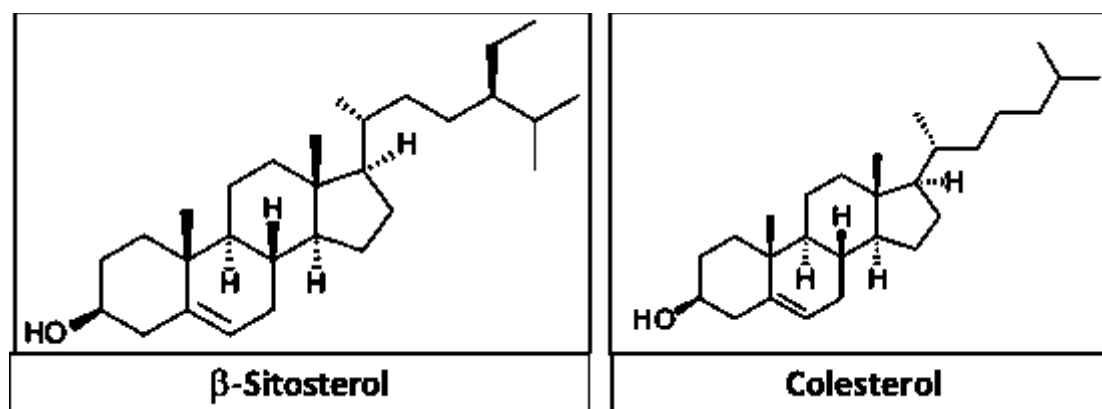


Figura 5. Estructura Química de β-Sitosterol y Colesterol.

En segunda instancia, la absorción intestinal de los fitoesteres es extremadamente baja y cuando los fitoesteres son absorbidos, inhiben la acilCoA colesterol-acil-transferasa (ACAT), que se encarga de realizar el proceso de esterificación del colesterol, por lo que el colesterol no sería re-esterificado e incorporado eficientemente a los quilomicrones en formación, lo que estimula la secreción del colesterol no esterificado al lumen intestinal.

Por último, los esteroides producen una sobreexpresión de los genes que codifican a las proteínas que forman parte de los transportadores que participan en el proceso de metabolización del colesterol, acelerando adicionalmente la salida del colesterol al lumen del intestino (Valenzuela & Ronco, 2004).

En la Figura 6 se muestra un resumen el efecto de fitosteres sobre la absorción y excreción del colesterol dietario, acorde a Valenzuela & Ronco, 2004.

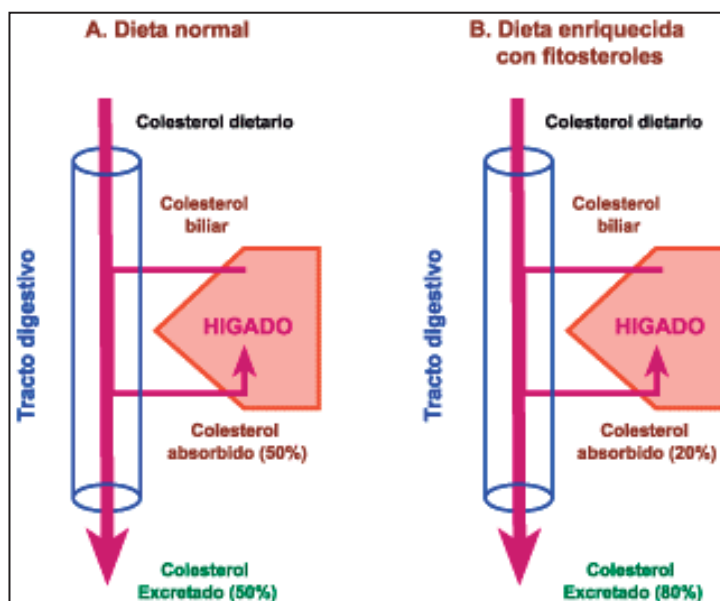


Figura 6. Efecto de los fitoesteroles sobre la absorción y excreción del colesterol.

3.2.3. Carbohidratos

El aguacate es una fruta con un bajo contenido de azúcares solubles totales, con alrededor del 2% en fruto fresco y del 5-9% en base seca.

Su porcentaje depende de la maduración del fruto y las condiciones de almacenamiento. Una cantidad considerable de azúcares solubles totales comprende azúcares de siete carbonos (C7), como la D-manoheptulosa, además de los azúcares tipo hexosas, como son la glucosa y fructosa. Sin embargo, durante el almacenamiento post-cosecha y maduración, el contenido de azúcares solubles disminuye lentamente, en especial los C7 (Liu et al., 1999).

3.2.4. Fibra dietética

El aguacate contiene niveles apreciables de fibra dietética con alrededor de un 5 a un 7% en el fruto fresco, y de la cual, aproximadamente el 75% es insoluble y el 25% restante es soluble.

Según la definición de la American Association of Cereal Chemists, la fibra dietética total es la parte comestible de los vegetales que son resistentes a la absorción y digestión en el intestino delgado humano, con una parcial o completa fermentación en el intestino grueso (Martínez & Figueroa, 2008).

La fibra dietética puede dividirse por su grado de solubilidad en agua en fibra soluble y fibra insoluble. La Ingesta Diaria Recomendada (IDR) de fibra para individuos adultos esta reportada entre 20-30 g/día (Martínez & Figueroa, 2008).

Las fibras solubles en contacto con el agua forman un retículo, originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte de su potencial anti carcinogénico.

Las fibras insolubles o poco solubles son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Esta es la base para utilizar la fibra insoluble en el tratamiento y prevención de la constipación crónica. Por otra parte también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon (Escudero & González, 2006).

3.2.5. Vitaminas

El aguacate también es fuente importante de vitaminas tanto hidrosolubles como liposolubles. Contiene 12 de las 13 vitaminas existentes, solamente se encuentra ausente la vitamina B12 que es exclusiva del reino animal. Dentro de las que más destacan en su composición se encuentran las vitaminas A, C, E, K y el ácido fólico; las cuales se describen a continuación.

La *Vitamina A* es una vitamina liposoluble, que se encuentran principalmente en algunas verduras de hoja verde. Desempeña un papel esencial en la retina, y también interviene en el crecimiento y diferenciación del tejido epitelial y de otros tejidos como el hueso, y así mismo está implicada en la reproducción y desarrollo del embrión. La deficiencia de *Vitamina C* puede provocar escorbuto, padecimiento en el cual generalmente se aflojan los dientes, se produce gingivitis y anemia ya que el ácido ascórbico participa específicamente en la síntesis de hemoglobina. Además la vitamina C presenta efectos antioxidante y por tal razón ha sido utilizada en la prevención de enfermedades coronarias. La *Vitamina E* se encuentra en gran cantidad en el aguacate y es una vitamina liposoluble. La acción más conocida de algunos de los componentes de esta vitamina es como antioxidante *in vivo*. Su principal función es inhibir oxidaciones iniciadas y mediadas por radicales libres y particularmente de ácidos grasos poliinsaturados. Se cree que previene la aterosclerosis no solo por sus efectos antioxidantes, sino también por sus efectos inhibitorios sobre la proliferación de músculo liso y la agregación plaquetaria, además esta vitamina es un factor protector contra la enfermedad coronaria. La *Vitamina K* es también una vitamina liposoluble que la mayoría de sus componentes son sintetizados por bacterias intestinales y absorbidas en el tubo digestivo. La principal deficiencia de vitamina K es el aumento de hemorragias, ya que el papel más crítico de la vitamina K en adultos tiene que ver con la coagulación, otros factores incluyen enfermedades hepáticas o renales y deficiencias en la absorción. El *ácido Pantoténico* o vitamina B5 es esencial en la síntesis de colesterol y glóbulos rojos, así como la síntesis de anticuerpos, formación de células, crecimiento y desarrollo del sistema nervioso.

Además, contribuye a cicatrizar las heridas y previene la fatiga. Su ausencia provoca depresiones y baja resistencia a las infecciones (Rodiles, 2009^a).

La deficiencia de *ácido fólico* o folatos puede contribuir a la síntesis anormal de ADN y en procesos de carcinogénesis, e interferir con la metilación normal del ADN. Su alto consumo en la dieta puede reducir el riesgo de cáncer de colon y de mama (Gauthereau et al., 2008).

En la Tabla 3 se presenta el perfil de vitaminas en el aguacate fresco acorde a un Reporte Bibliográfico basado en las variedades California (86%) y Florida (14%) acorde a la USDA National Database for Standard Reference, (2011).

Tabla 3. Perfil de Vitaminas. Aguacate Fresco. Información Bibliográfica (100 g).

Nutriente	Valor 100 g (mg)	IDR* Hombres (mg/d)	IDR* Mujeres (mg/d)	% IDR** Hombres	% IDR** Mujeres
Vitamina C	10.0	90.0	75.0	11.1	13.3
Tiamina	0.06	1.2	1.1	5.6	6.1
Riboflavina	0.13	1.3	1.1	10.0	11.8
Niacina	1.73	16.0	14.0	10.9	12.4
Ácido Pantoténico	1.38	5.0	5.0	27.8	27.8
Vitamina B6	0.25	1.3	1.3	19.8	19.8
Folato	0.08	0.4	0.4	20.3	20.3
Colina	14.20	550.0	425.0	2.6	3.3
Vitamina E	2.47	15.0	15.0	16.5	16.5
Vitamina K	0.02	0.1	0.1	17.5	23.3

* IDR: Ingesta Diaria recomendada para adultos entre 19-50 años de edad; mg/día. ** % IDR: Porcentaje de Ingesta Diaria Recomendada al consumir 100 gramos de aguacate.

3.2.6. Minerales

El aguacate contiene por encima del 5% de algunos elementos minerales, y principalmente se encuentran presentes fósforo, potasio, hierro, manganeso, magnesio, cobre y zinc, además de ser bajo en sodio.

Es importante mantener un equilibrio en el consumo de algunos iones inorgánicos como el *sodio* y el *potasio* y el aguacate presenta un bajo contenido en sodio y alto en potasio, lo cual es ideal para el buen funcionamiento de la bomba sodio-potasio que se encarga de forma general de mantener y controlar la presión osmótica y el volumen celular. Un exceso de sodio provoca au-

mento en la presión arterial, irritabilidad y retención de líquidos. El sodio además es el principal catión extracelular y participa en el control de la presión osmótica y la regulación del pH celular (Rodiles, 2009b). En la Tabla 4 se presenta el perfil de minerales en el aguacate fresco (Reporte Bibliográfico basado en las variedades California (86%) y Florida (14%) y acorde a la USDA National Database for Standard Reference, 2011).

Tabla 4. Reporte Bibliográfico de Minerales de Aguacate fresco (100 g.)

Nutriente	mg/ 100g	IDR* Hombres (mg/d)	IDR* Mujeres (mg/d)	%IDR** Hombres	%IDR** Mujeres
Calcio	12.0	1,000	1,000	1.2	1.2
Hierro	0.55	8.0	18.0	6.9	3.1
Magnesio	29.0	420	320	6.9	9.1
Fósforo	52.0	700	700	7.4	7.4
Potasio	485. 0	4,700	4,700	10.3	10.3
Sodio	7.0	1,500	1,500	0.5	0.5
Zinc	0.64	11.0	8.0	5.8	8.0
Cobre	0.19	0.9	0.9	21.1	21.1
Manganeso	0.14	2.3	1.8	6.2	7.9
Flúor	7.0	4.0	3.0	0.2	0.2
Selenio	0.4	0.55	0.55	0.7	0.7

*IDR: Ingesta Diaria recomendada para adultos entre 19-50 años de edad; mg/día. ** % IDR: Porcentaje de Ingesta Diaria Recomendada cubierto al consumir 100 g de aguacate.

Por otro lado, al *fósforo* se le conoce como el alimento del cerebro y es después del calcio, es el segundo mineral que más abunda en nuestro cuerpo y en la mayoría de los alimentos. Así mismo, como se encuentra en todas las células de nuestro cuerpo participa de casi todos los procesos metabólicos y energéticos. Ayuda a mantener el pH de la sangre ligeramente alcalino y es un componente importante del ADN. El *potasio* por su parte, es el tercer mineral más abundante en nuestro cuerpo y está implicado en la transmisión de los impulsos nerviosos, en el trabajo de los músculos y en el mantenimiento saludable de éstos, regula el contenido de agua de las células y su movimiento, y es indispensable para el movimiento del miocardio y activa los sistemas enzimáticos (Rodiles, 2009b).

El *hierro* forma parte estructural de la hemoglobina y actúa a nivel del sistema inmunológico.

El *manganeso* participa en la formación de urea y en la síntesis de ácidos grasos, además del metabolismo de proteínas y la formación de huesos; está implicado en el metabolismo del colesterol. El *magnesio* actúa como coenzima en el metabolismo de carbohidratos y proteínas y es cofactor de la vitamina B₁. El *cobre* es un cofactor que participa en la síntesis de hemoglobina, absorción y transporte de hierro y en la formación de huesos, además de ser un constituyente del tejido cerebral. Por último, el *zinc* es vital para el crecimiento y regula el desarrollo sexual y la producción de insulina (Rodiles, 2009b).

3.3. LIOFILIZACIÓN

La liofilización es un método de conservación de alimentos basado en la disminución de la actividad de agua por sublimación para prolongar la vida de anaquel y mantener las propiedades organolépticas, componentes volátiles y/o termo-sensibles. Además, reduce el peso y el volumen, lo cual facilita el transporte y el almacenamiento de los alimentos (González, 2011).

La palabra liofilización proviene de la palabra “liofílico”, que significa amante del solvente; y consiste en la extracción de agua de un alimento por sublimación. El alimento a liofilizarse debe primeramente congelarse y posteriormente someterse a un alto vacío para generar la sublimación. Cuando el hielo se sublima, deja huecos o vacíos en el material residual seco que facilitan su posterior rehidratación. Este método de conservación no produce el deterioro que genera el calentamiento directo.

Se basa en un sistema de deshidratación en frío y en condiciones de vacío. El alimento es primero totalmente congelado para posteriormente pasar a una cámara de vacío; al momento de hacer el vacío se produce el proceso natural de sublimación, en donde el hielo pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (Kaplan & Ludwing, 2005) . La liofilización a diferencia de secado al vacío y el secado con aire caliente, necesita una menor presión y una menor temperatura de operación. Las temperaturas bajas que se emplean en este proceso reducen al mínimo las reacciones de degradación que casi siempre ocurren en los procesos comunes de secado, lo que hace que el producto liofilizado tenga mejores características que los productos tratados con las técnicas convencionales de secado.

La más importante característica a resaltar de esta operación es la excelente calidad de sus productos, debido principalmente a la gran cantidad de agua removida, la baja degradación térmica, la retención de materiales volátiles responsables del aroma y del sabor, y la estructura rígida del material secado; la rigidez de la estructura del material que le da el congelamiento es importante para prevenir colapsos de la matriz sólida después del secado, esta rigidez da origen a otra característica importante de la liofilización, la cual es la fácil rehidratación y reconstrucción original de los productos secos, debido principalmente al bajo grado de rompimiento celular y estructural (Boss, 2004).

3.3.1. Proceso de Liofilización

El principio de la liofilización se basa en el comportamiento de fase del agua pura. Se conoce que a presión atmosférica, el estado físico del agua depende de la temperatura y puede existir en forma de hielo, agua líquida o vapor de agua. Sin embargo, una reducción en los valores de presión ocasionan una disminución en la temperatura de ebullición, hasta llegar a la presión del punto triple, cuyo valor es de 4.58 mm Hg (610.5 Pa). En el punto triple, las tres fases del agua están en equilibrio. La temperatura del punto triple es 0.0099 °C; por debajo de la cual el agua puede existir sólo en forma de hielo. La sublimación del hielo de agua se produce por debajo del punto triple, esto puede lograrse mediante la reducción de la temperatura y a presión baja (González, 2011).

El vapor de agua generado durante el proceso debe ser retirado con una bomba de vacío o de expulsión, o bien, por condensación del vapor de hielo. Los gases no condensables (aire residual) se eliminan por la bomba de vacío o eyector.

Los alimentos presentan un punto crioscópico menor que el del agua pura, puesto que las soluciones se concentran a medida que se va congelando el solvente, y la temperatura de congelación va disminuyendo constantemente hasta verdaderamente congelarse. Los alimentos congelados forman eutécticos que consisten en cristales de hielo y componentes del alimento, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, ácidos y las altas concentraciones de otros sólidos al inicio del proceso. Esto implica que sea necesario llegar al punto eutéctico del alimento para asegurar que la estructura formada sea sólida, sin intersticios donde se deposite líquido concentrado, y así se dé la eliminación de agua sólo por sublimación y no por una combinación con evaporación, ya que la presencia de pequeñas cantidades de fase acuosa, debido a un congelamiento incompleto, puede producir alteraciones en el producto final al momento de ser rehidratado.

Incluso la congelación se realiza a temperaturas inferiores a la de solidificación total, es decir, el producto debe estar congelado a temperaturas entre 10 y 15° C por debajo de la temperatura eutéctica. Se define temperatura eutéctica en un alimento cuando este llega a su punto máximo de congelación con respecto al agua.

En la liofilización, el proceso de separación del líquido se produce durante la congelación, no durante la sublimación. El tiempo total de secado debe ser lo suficientemente largo para que el contenido de humedad sea inferior al 5% en peso y evitar así la degradación del producto final durante su almacenamiento (Rojas, 2007).

3.3.2. Etapas de la Liofilización

El proceso de liofilización consta principalmente de cuatro etapas:

- *Congelamiento*. En esta etapa se prepara el producto para el proceso de sublimación. Esta etapa también incluye el acondicionamiento de la materia prima en algunos casos. Es una operación previa y obligatoria. El tiempo de duración depende de varios factores como la masa a procesar, cantidad de agua, concentración y naturaleza propia del producto. En general podemos decir que una congelación adecuada es la base para que el producto liofilizado presente óptimas condiciones de aspectos, conservación de sus propiedades originales y una rápida rehidratación.
- *Secado primario o secado por sublimación*. El hielo o el solvente congelado pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. Generalmente se realiza a baja presión. En esta etapa, la mayor parte del agua libre pasa a vapor. Los parámetros temperatura, presión y tiempo pueden ser modificados independientemente, pero están íntimamente relacionados y dependen de cada producto.
- *Secado secundario*. La humedad residual se elimina mediante un secado convencional. Su misión es eliminar las últimas trazas de vapor de agua mediante evaporación directa. Se lleva a cabo a una temperatura inferior a la de desnaturalización del producto y se logra una humedad final de valores inferiores hasta al 1 %.
- *Almacenamiento*. El producto liofilizado es almacenado bajo condiciones especiales. No debe haber humedad porque provocaría la rehidratación y descomposición del producto terminado.

En la Figura 7 se muestran las 3 etapas obligadas en el proceso de liofilización industrial.

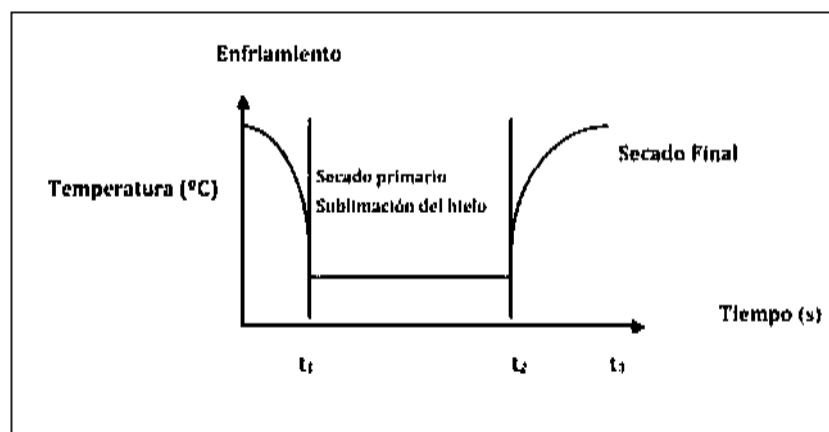


Figura 7. Pasos del Proceso de Liofilización.

3.3.3. Requerimientos del Sistema de Liofilización

Los requerimientos básicos de un sistema de liofilización son (González, 2011):

- **Congelador.** Baja la temperatura del alimento a su punto eutéctico.

- **Cámara de vacío.** Proporciona un entorno limpio y a veces estéril para el proceso; proporciona las temperaturas y presiones necesarias para secar el producto por sublimación.
- **Condensador.** Su principal función es eliminar los vapores condensables antes de que entren en los sistemas de vacío. El condensador puede estar dentro o fuera de la cámara de liofilización.
- **Sistema de Vacío.** Proporciona las presiones necesarias para las fases de secado primario y secundario.

3.3.4. Liofilización Industrial

Los equipos más usados en la industria son los discontinuos de bandejas, que pueden operar en paralelo para hacer continua la operación. Existen también, para grandes producciones, los liofilizadores de túnel y los liofilizadores spray. Se describe a continuación el equipo más utilizado, llamado Liofilizador de Bandejas (Figura 8).

Los liofilizadores tienen bandejas de aluminio tratadas con un revestimiento que se combina químicamente con el aluminio. Las bandejas se sostienen en guías soportadas sobre los calefactores a una distancia de 35 mm aproximadamente. El conjunto bandeja y calefactor es móvil y la temperatura de los calefactores alcanza temperaturas altas al comienzo, que caen hasta unos 40°C, durante las primeras 5 h promedio de un total de 8 h que dura el proceso. El condensador opera normalmente a -40°C, y la presión del sistema es menor a 27 Pa.



Figura 8. Liofilizador Industrial de Bandeja.

3.3.5. Liofilización del Aguacate

El aguacate es una fruta cuya pulpa se altera con facilidad en cuanto es expuesta al oxígeno del aire. Sin embargo, si se elimina una fracción importante del agua que contiene, es posible que su estabilidad mejore; esto se puede conseguir por medio de la deshidratación del fruto (Gandolfo, 2008).

Debido a que el fruto tiene una actividad respiratoria muy intensa después de ser recolectado, su almacenamiento por períodos largos se hace difícil, ya que esta característica conlleva una intensa actividad microbiana y una fuerte disminución del contenido de agua en el fruto, lo cual reduce su tiempo de vida de anaquel. Por este motivo, recientemente se han buscado nuevas tecnologías que puedan incrementar la vida de anaquel del fruto y que además se conserven todas sus propiedades nutricionales y sensoriales.

Actualmente, el aguacate atraviesa por un serio problema de comercialización, debido a la sobreproducción que existe en el país y la dificultad de exportar el producto debido principalmente a sus problemas de conservación y transporte, por lo que la liofilización del aguacate representa una óptima alternativa.

La utilización de la liofilización como un método de conservación para el aguacate se debe principalmente a su alto contenido de agua y aceites, ya que los alimentos con alto contenido en aceites, no son susceptibles de ser tratados por secado usando métodos tradicionales, debido a la enorme degradación que le causan. Los productos deshidratados con aire caliente tienden a experimentar encogimiento y colapso del tejido, características que retardan la rehidratación y cambian el aspecto agradable del producto y además, pueden alterarse sus propiedades funcionales (Arriola et al., 2006).

Hoy en día, existe una empresa mexicana que liofiliza aguacate de forma industrial: Empresa SioSi Alimentos de Morelia, Michoacán, México.

3.4. EFECTOS FISIOLÓGICOS DE CONSUMO DE AGUACATE

Se ha estudiado el consumo de aguacate y su relación con la salud cardiovascular, además de su consumo para la pérdida de peso corporal y saciedad; así como también se ha llevado a cabo una serie de estudios, ya sea de composición, estudios clínicos *in vitro* e *in vivo* y epidemiológicos de los diferentes componentes del aguacate.

Varios autores reportan el uso del aceite de aguacate o del aguacate en crudo en la salud cardiovascular, por ejemplo, Alvizouri (1992), evaluó el efecto del aguacate en la disminución de lípidos séricos y en 2009 mediante la experimentación en conejos afirma que el aceite de aguacate no induce aterosclerosis experimental y por el contrario, el contenido de colesterol en aorta

fue menor en animales alimentados con aguacate, además propone el uso del aguacate en alteraciones cardiovasculares por su similitud con el efecto de las estatinas, las cuales son un grupo de fármacos usados para disminuir el colesterol en sus distintas formas (Alvizouri & Rodríguez, 2009).

Adicionalmente, Pérez et al. (2007), observan una disminución de los niveles de triglicéridos sanguíneos con un aumento notable en las lipoproteínas HDL en ratas alimentadas con aguacate Hass con respecto al grupo control.

Por último, a pesar de que no se encuentran descritos a detalle los mecanismos por los cuales el aguacate tiene un efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico, se describen algunos como aumento en la fibrinólisis y disminución en la agregación plaquetaria (Pieterse et al., 2003).

3.4.1. Efectos Fisiológicos de la Fibra

La fibra dietética promueve efectos fisiológicos benéficos al ser humano como son su poder laxante, disminución del colesterol y de la glucosa sanguínea, entre otros. El consumo de fibra es esencial para la prevención de varios tipos de desórdenes gastrointestinales y útil en la prevención de diversas enfermedades crónico degenerativas. También aumenta el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos. Asimismo, se producirá una disminución en la absorción de los ácidos biliares, ya que estos se unen a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de los polisacáridos. Esto puede alterar la formación de micelas y la absorción de las grasas.

Adicionalmente, como consecuencia de la depleción de ácidos biliares pueden disminuir los niveles de colesterol, al utilizarse éste en la síntesis de *novo* de ácidos biliares (Escudero & González, 2006).

3.4.2. Efectos Fisiológicos de los Ácidos Grasos

Se ha observado que, disminuyendo la ingesta de ácidos grasos saturados, se logra un impacto benéfico en los niveles séricos de colesterol. Las calorías provenientes de la grasa saturada pueden ser reemplazadas con ácidos grasos insaturados, ya sea monoinsaturados o poliinsaturados que son preferibles para mantener niveles óptimos en lípidos séricos (Gardner & Kraemer, 1995).

El consumo de dietas enriquecidas con Ácidos Grasos Monoinsaturados (AGM) ha sido relacionado con la disminución de riesgos en Enfermedades Cardiovasculares (ECV), principalmente debido a su efecto positivo sobre los niveles de lípidos sanguíneos, regulación de la presión sanguínea y regulación en niveles de glucosa. Por otra parte, algunos estudios sugieren que la oxidación preferencial y metabolismo de los AGM en la dieta influyen en la composición corporal y reducen el riesgo de obesidad (Gillingham et al., 2011).

Por otra parte, el consumo de los Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGP) se ha descrito que favorece la disminución de factores de riesgo para enfermedades coronarias, sin embargo, se recomienda que solo del 5-10% de la ingesta total de energía provengan de dichos ácidos grasos, de lo contrario podría también mostrar efectos no deseables (Mozaffarian et al., 2010). Algunos de estos efectos se deben a que los ácidos grasos omega-6 como el ácido linoleico (AL) es precursor de otros ácidos grasos como el araquidónico, el cual sirve como sustrato para la síntesis de una variedad de moléculas proinflamatorias; se sabe que las Enfermedades Cardiovasculares presentan un componente inflamatorio, y con una ingesta alta de AL se incrementaría el potencial inflamatorio y por lo tanto el riesgo cardiovascular (Harris et al., 2009)

El aguacate es una fruta que presenta un alto contenido en AGM y además contiene una cantidad importante de AGP y otros nutrientes, por lo que puede ofrecer por sí mismo, una protección significativa contra Enfermedades Cardiovasculares.

Aunque no se ha descrito a detalle el mecanismo o mecanismos por el cual los ácidos grasos logran un efecto de disminución en niveles plasmáticos, se consideran varios factores como son la disminución de la agregación plaquetaria y aumento en la fibrinólisis, protegiendo de este modo al organismo mediante un efecto contra trombo-génesis. Además, se ha relacionado su consumo con un incremento en remanentes de quilomicrones, los cuales son lipoproteínas de alta densidad y gran diámetro, es decir, partículas esféricas que recogen desde el intestino delgado a los triglicéridos, fosfolípidos y colesterol ingeridos en la dieta, y llevándolos hacia los tejidos a través del sistema linfático; favoreciendo así al transporte de lípidos y evitando su acumulación (Pieterse et al., 2003).

3.4.2.1. Metabolismo de Lípidos

Los lípidos, del griego *lipos*, que significa grasa, son compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno, y solubles en disolventes orgánicos e insolubles en agua. Las grasas, aceites, ciertas vitaminas, hormonas y la mayor parte de los componentes no proteicos de las membranas son lípidos (Voet, 2007).

Se ha clasificado a los lípidos de diferentes maneras. La clasificación más satisfactoria es la que se basa en las estructuras de sus esqueletos carbonados. Los lípidos simples, que se caracterizan porque contienen ácidos grasos como componentes, y que comprenden a los acilglicéridos (monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos), los fosfoglicéridos, los esfingolípidos y las ceras, estos reciben también el nombre de lípidos saponificables, ya que al reaccionar con sosa potásica forman jabones.

El otro grupo de lípidos está constituido por compuestos que no contienen ácidos grasos y son insaponificables o complejos, e incluyen a terpenos y esteroides (Lehninger, 2005).

Las grasas y los aceites que se encuentran en las plantas y en los animales consisten en su mayor parte en mezclas de triacilgliceroles, también denominados triglicéridos o grasas neutras. Estas sustancias no polares e insolubles en agua son básicamente ácidos grasos unidos al glicerol mediante enlaces ésteres. Los triglicéridos funcionan como almacenes de energía en los animales y son, por lo tanto, la clase de lípidos más abundante, aun cuando no son componentes de las membranas biológicas. Los triacilgliceroles difieren entre ellos según el tipo y colocación de sus ácidos grasos en la molécula de glicerol.

Las grasas constituyen una forma eficiente de almacenamiento de la energía metabólica; esto se debe a que las grasas están menos oxidadas que los glúcidos o las proteínas y de aquí que su rendimiento de energía en la oxidación sea significativamente mayor. Además, las grasas al ser sustancias no polares, se almacenan en forma anhidra mientras que el glucógeno, por ejemplo, en condiciones fisiológicas fija alrededor del doble de su peso de agua. En los animales, los adipocitos son células especializadas en la síntesis y almacenamiento de triglicéridos, que pueden estar completamente rellenos de glóbulos grasos (Voet, 2007).

3.4.2.2. Metabolismo del Colesterol

Los esteroides, que son predominantemente de origen eucariótico son derivados del ciclopentanoperhidrofeno. El colesterol es el esteroide más abundante en los animales y se clasifica como esteroide debido a este grupo, además presenta un grupo -OH en el carbono tres, con una cadena lateral alifática ramificada de 8 a 10 átomos de carbono en C17.

El colesterol es un componente mayoritario de las membranas plasmáticas animales y se encuentra en menor cantidad en las membranas de sus orgánulos subcelulares. Su grupo OH polar le da un carácter débilmente anfifílico, mientras que su sistema de anillos fusionados le confiere mayor rigidez que los otros lípidos de membrana. El colesterol determina, por tanto, de manera importante las propiedades de la membrana. También es abundante en lipoproteínas del plasma sanguíneo, donde alrededor de un 70 % del mismo está esterificado con ácidos grasos de cadena larga formando ésteres del colesterol (Voet, 2007).

Los ésteres del colesterol no sufren procesos de digestión a nivel bucal y gástrico, ya que en estas cavidades no secretan enzimas con actividad de colesterol esterasa, aunque sí se secretan lipasas. El páncreas secreta al intestino delgado la enzima colesterol esterasa, que hidroliza prácticamente el 100% de los ésteres de colesterol, con la ayuda de las sales biliares, y cuyos componentes actúan como activadores de esta enzima. El colesterol libre que se encuentra en el lumen intestinal durante el proceso digestivo está constituido por el colesterol proveniente de la dieta (250- 500 mg/día) y por el aportado por la secreción biliar (600-1,000 mg/día), lo cual significa que el colesterol total que llega al intestino está en el rango de 850 mg/día a 1,500 mg/día. Cerca de 95%-98% del colesterol de la dieta está esterificado con un ácido graso en el hidroxilo del carbono 3 de la estructura cíclica de su molécula. Generalmente los ácidos grasos que esterifican

al colesterol son los ácidos palmítico, esteárico u oleico y en menor proporción, el ácido linoleico.

El colesterol libre es incorporado a las micelas mixtas y queda “solubilizado” en la fracción fosfolipídica que forma la superficie de estas estructuras. Las micelas mixtas, que además contienen ácidos grasos libres, monoglicéridos, lisofosfolípidos y fosfoglicerato, entran en contacto con las micro-vellosidades de los enterocitos, transfiriéndose así el contenido micelar al interior de las células intestinales. Los ácidos grasos y los monoglicéridos difunden hacia el interior de las células epiteliales intestinales utilizando transportadores específicos. Se estima que aproximadamente el 50% de colesterol se reabsorbe y el resto se elimina por las deposiciones. Es importante destacar que, a diferencia de otras moléculas, el colesterol no es metabolizado, de modo que su única vía de eliminación es la excreción por las deposiciones.

El colesterol absorbido es re-esterificado nuevamente en el citoplasma de las células epiteliales intestinales, generalmente con ácido palmítico, aunque si la disponibilidad de ácido oleico dietético es alta, también se utiliza este ácido; esta es una de las ventajas del consumo de este tipo de ácidos grasos en la dieta. El proceso de esterificación es realizado por la acilCoA colesterol-acil-transferasa (ACAT). Una vez esterificado, el colesterol es incorporado a los quilomicrones que la célula intestinal exporta, primero a la circulación linfática y posteriormente al torrente circulatorio. El colesterol que no es re-esterificado en las células epiteliales intestinales es secretado hacia el lumen del intestino (Valenzuela-Ronco, 2004).

En el ser humano, el colesterol plasmático se encuentra hasta en 200 mg/dL, y se eleva con la edad, aunque hay variaciones entre individuos; esta molécula es transportada en las lipoproteínas del plasma. Todo el colesterol debe entrar al hígado y se excreta en la bilis como ácidos biliares. El colesterol es señalado como el principal agente comprometido en la enfermedad cardíaca coronaria y la aterosclerosis. En las siguientes figuras se muestra la molécula del colesterol en forma libre y en su forma esterificada.

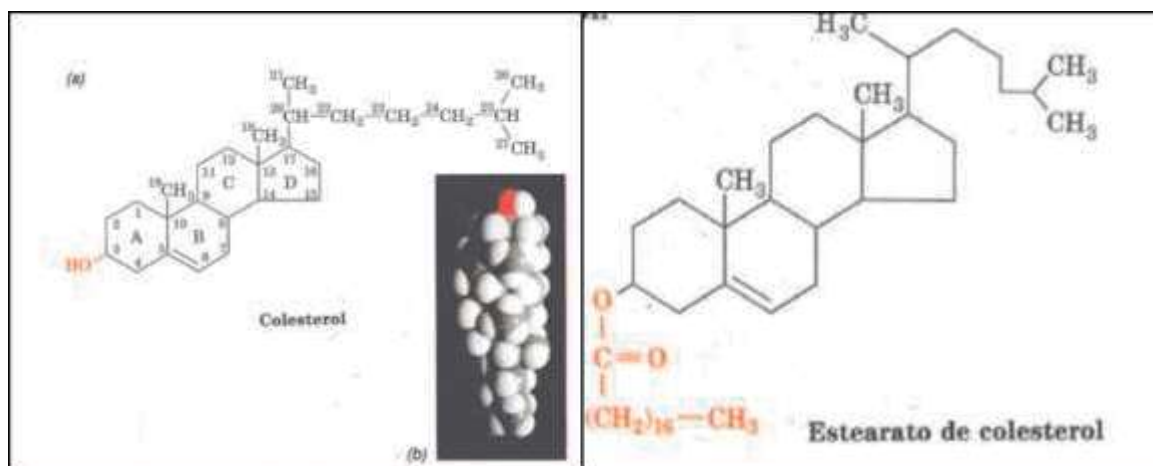


Figura 9. Estructura Colesterol Libre y Esterificado.

3.4.2.3. Transporte de Lípidos

Las lipoproteínas del plasma son complejos compuestos formados por proteínas y lípidos que transportan las grasas por todo el organismo en forma de partículas relativamente pequeñas cuyo diámetro y peso permanecen constantes. Las lipoproteínas del plasma humano se encuentran en cuatro clases principales que difieren en densidad, así como en tamaño de partícula; los quilomicrones (Figura 10), lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de elevada densidad (HDL) (Lehninger, 2005).

La mayor parte del colesterol se transporta en la sangre unido a las LDL, llamado también colesterol malo. Las LDL se forman cuando las lipoproteínas VLDL pierden los triglicéridos, y se hacen más pequeñas y más densas, conteniendo altas proporciones de colesterol. Debido a que LDL transporta el colesterol a las arterias, un nivel alto de estas lipoproteínas está asociado con aterosclerosis en determinadas circunstancias patológicas, como la hipercolesterolemia, la hipertensión arterial, la diabetes o tabaquismo, donde se desarrolla una entrega exagerada y no regulada de colesterol desde las lipoproteínas LDL oxidadas a células macrofágicas subendoteliales, que cuando son sobrepasadas en su capacidad de depuración, se degeneran en células inestables, propensas a la inflamación y a la muerte celular por necrosis. La acumulación de estos macrófagos sobrecargados de colesterol, conocidos como células espumosas, determina el desarrollo de placas de ateroma en la pared arterial, lo cual es una circunstancia definitoria de la enfermedad aterosclerótica.

Por el contrario, las HDL están compuestas de una alta proporción de proteínas y se le conoce como colesterol bueno. Estas lipoproteínas transportan el colesterol desde los tejidos del cuerpo hasta el hígado, por lo tanto pueden retirar el colesterol de las arterias y transportarlo de vuelta al hígado para su excreción.

Por otra parte, la superficie de un quilomicrón está constituida por una capa de fosfolípidos, con los grupos de cabeza encarados hacia la fase acuosa. Los triglicéridos secuestrados en el interior representan más del 80% de la masa. Las apolipoproteínas actúan como señales para la absorción y metabolismo del contenido de los quilomicrones y su diámetro oscila entre 100 y 500 nm (Voet, 2007).

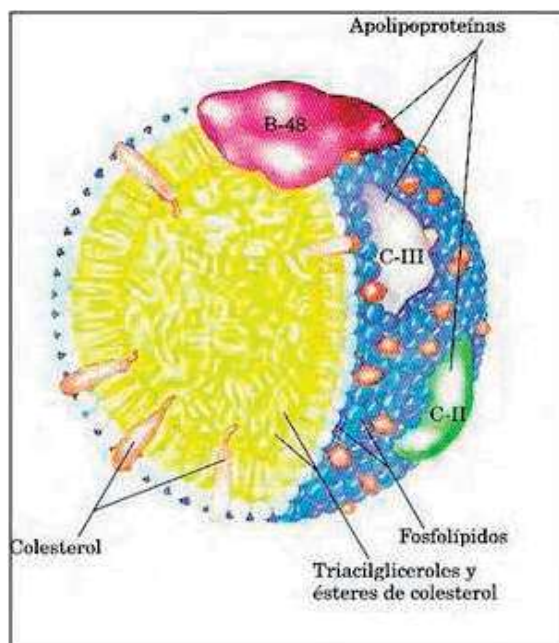


Figura 10. Estructura Molecular de un Quilomión (Voet, 2007).

3.4.2.4. Lípidos de la Dieta

La digestión y absorción de los lípidos de la dieta tiene lugar en el intestino delgado, y los ácidos grasos liberados de los triglicéridos son empaquetados y enviados a los tejidos muscular y adiposo (Lehninger, 2005).

La digestión de los lípidos comienza en el duodeno, primeramente con el estímulo para la secreción de las hormonas secretina y colecistoquinina que activan la producción y salida de líquido pancreático, y a su vez, la colecistoquinina induce la contracción y vaciamiento de la vesícula biliar, para que la bilis ingrese al duodeno por el conducto biliar.

La bilis contribuye a la digestión de los lípidos por medio de los ácidos biliares presentes en ella, y el jugo pancreático a través de las enzimas específicas que secreta. Los ácidos biliares actúan como detergentes en el duodeno para contribuir a la emulsificación de las grasas y al dispersarlos que facilitan la interacción de las enzimas pancreáticas sobre los sustratos como el colesterol, triglicéridos y fosfolípidos.

En la hidrólisis de los lípidos se encuentran involucradas tres enzimas específicas que se activan al contacto con los ácidos biliares y son: la lipasa pancreática, que rompe los triglicéridos para dar como producto ácidos grasos y glicerol; la colesterol esterase, que hidroliza a los ésteres de colesterol para dar colesterol libre y ácidos grasos; y la fosfolipasa que hidroliza a los fosfolípidos.

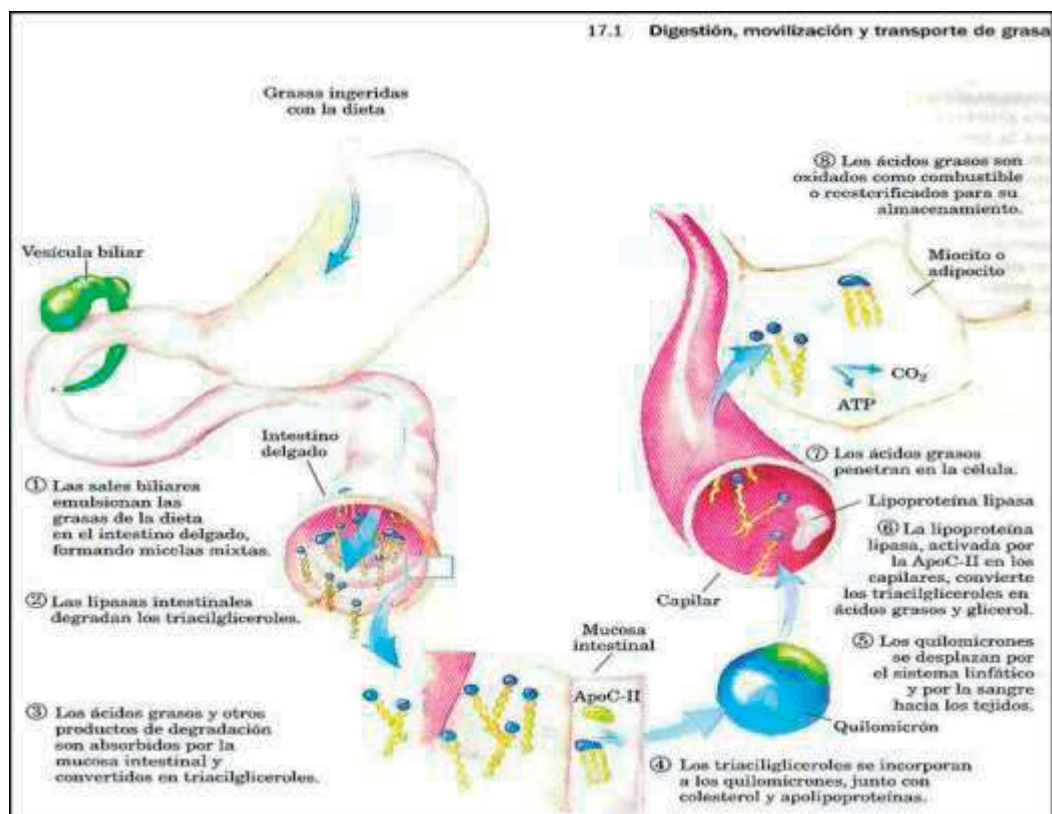


Figura 11. Procesamiento de Lípidos de la Dieta en Vertebrados (Lehninger, 2005).

IV. JUSTIFICACIÓN

Se ha asociado el consumo de ácidos grasos monoinsaturados, abundantes en el aguacate, con la disminución de riesgos de Enfermedades Cardiovasculares (ECV), debido al efecto positivo en lípidos séricos (Alvizouri, 2009). Esto es de gran importancia debido a que en la actualidad las ECV constituyen la segunda causa de muerte en el país (PRONASA, 2012) y representan un 30% de todas las muertes en el mundo (Anderson & Chu, 2007). Así mismo, la prevalencia general de hipercolesterolemia en la población Mexicana se encuentra en niveles desde 26.5% (ENSANUT, 2006) hasta 48.7%, y de hipertrigliceridemia en un 57.3% (Munguía et al., 2008).

Se han desarrollado una serie de experimentos que han tenido como objetivo el uso del aguacate o aceite de aguacate para evaluar la relación entre su consumo y la disminución de colesterol y/o triglicéridos en sangre mediante la acción principal de los ácidos grasos monoinsaturados. Sin embargo, se ha restado importancia a todo el conjunto de nutrientes del aguacate que podrían potenciar su efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico.

Dichos experimentos han utilizado como modelo de experimentación *in vivo* a conejos o ratas, sin embargo, para este trabajo se propone la utilización de hámsters como modelo biológico, basado en Martínez et al., 2004; debido a la similitud del metabolismo de las grasas del hámster con el humano y a la favorable inducción del cuadro de hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia en dichos animales. Además, se ha observado que el metabolismo de las ratas es más acelerado con respecto a metabolismo de lípidos y demora más la inducción del cuadro o incluso no logra inducirse satisfactoriamente la alteración en los niveles sanguíneos (Mora, 2009). En adición, el manejo, cuidado y mantenimiento de los hámsters, resulta más práctico y económico comparado con algunos otros modelos biológicos utilizados en dislipidemias (Yin et al., 2012).

Por último, debido a que el proceso de liofilización no altera las propiedades nutricionales del aguacate, y por el contrario, permite la conservación de sus nutrientes, se propone en el presente trabajo la evaluación del efecto de disminución en los niveles séricos de colesterol y triglicéridos *in vivo* del aguacate liofilizado, comparando los resultados con el uso de aceite de aguacate solo, y del aguacate desgrasado (fibra con proteína) para la evaluación de su efecto fisiológico.

V. HIPÓTESIS

La fibra, proteína y los ácidos grasos insaturados en conjunto, presentes en el aguacate liofilizado, muestran un efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico en un modelo biológico de experimentación *in vivo* utilizando hámsters.

VI. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la composición química del Aguacate Liofilizado de la empresa SioSi Alimentos y evaluar su función nutricional y efecto en los niveles de lípidos séricos en un modelo biológico de experimentación *in vivo*.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición química de aguacate liofilizado producido por la empresa SioSi Alimentos mediante un análisis bromatológico.
- Extraer el aceite de aguacate liofilizado y caracterizarlo con un perfil de ácidos grasos.
- Elaborar dietas basadas en aguacate y algunos de sus componentes químicos para evaluar el efecto del consumo del alimento en los niveles séricos de colesterol y triglicéridos.
- Evaluar el efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico del aceite de aguacate, aguacate desgrasado (fibra y proteína), y del producto liofilizado completo, utilizando hámsters como modelo biológico.
- Analizar la acumulación y/o disminución de grasa en hígado de acuerdo al consumo de cada dieta experimental.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. MATERIA PRIMA

- **Aguacate liofilizado.** Se utilizó aguacate liofilizado Michoacano variedad Hass, elaborado por la empresa SioSi Alimentos ubicada en Morelia Michoacán. Se usó el lote de Producción D-0410-0416 AG-FAI-080401.
- **Aceite de Aguacate.** Este se extrajo directamente del aguacate liofilizado SioSi. La extracción se llevó a cabo por el Método Macro Soxhlet. Se utilizó hexano como solvente de extracción, el cual se dejó en contacto con el aguacate liofilizado durante 3 días a 70° C. Se separó el hexano del aceite de aguacate con un rota vapor, y se eliminó la mayor parte de solvente presente en el aceite por medio de un calentamiento en estufa a 100 °C. Se almacenó en un frasco protegido de la luz a temperatura ambiente.
- **Aguacate Desgrasado.** Se obtuvo del remanente de la extracción del aceite de aguacate. Se secó al sol para eliminar el solvente aún presente y se almacenó a 4 °C.
- **Ingredientes de Referencia.** Para la elaboración de las dietas se utilizaron ingredientes de referencia de acuerdo a lo establecido por el Instituto Americano de Nutrición para Animales de experimentación en mantenimiento publicado por Reeves en 1993 (AIN-93). Los ingredientes se adquirieron de los laboratorios Harlan. Ver tabla 5.

Tabla 5. Materia Prima para la Elaboración de las Dietas y Fuente de Nutriente.

Ingrediente	Fuente de
Caseína	Proteína
Almidón	Carbohidratos
Sacarosa	Carbohidratos
Celulosa	Fibra
Aceite de Soya	Lípidos
Mezcla de Vitaminas AIN-93M	Vitaminas
Mezcla de Minerales AIN-93M	Minerales
Colesterol	Hipercolesterolemia
Aceite de Coco	Hipertrigliceridemia

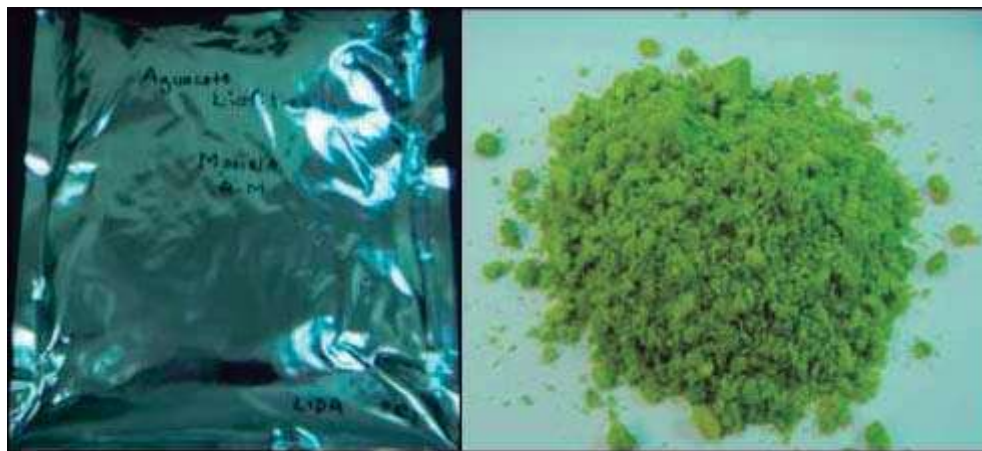


Figura 12. Materia Prima. Aguacate Liofilizado SioSi Alimentos.

7.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

7.2.1. Análisis Bromatológico

- **Humedad.** Método de la AACC (2000) número 934.01. Parece que este método es de la AOAC y no de la AACC
- **Proteína.** Determinación de proteína cruda por el Método Macrokjeldhal.
- **Lípidos.** Método de Soxhlet. Normas técnicas y generales de métodos físicos y químicos para análisis de alimentos. Normas Sanitarias de Alimentos. Tomo 1. O.M.S. 1967.
- **Carbohidratos.** Por diferencia.
- **Fibra Dietética.** Soluble e Insoluble. Método enzimático de Prosky et al. (1998).
- **Cenizas.** Método para determinación de cenizas por incineración. Normas Sanitarias de Alimentos. Tomo 1. Norma técnica general de métodos físicos y químicos para análisis de alimentos.

7.2.2. Perfil de Ácidos Grasos

- **Extracción de aceite por el Método Soxhlet.**

La técnica se realizó utilizando hexano como solvente de extracción durante 8 h con calentamiento a 70 °C. El aceite extraído se recuperó en un rotavapor colocar el modelo, marca del equipo y ciudad de fabricación a la misma temperatura y con ello se separó el hexano del aceite de aguacate.

- **Determinación del Perfil de Ácidos Grasos.**

Se llevó a cabo en la empresa Aarhus Karlshamn México, S.A. de C.V. (AAK), ubicada en Morelia, Michoacán; por medio de una Cromatografía de Gases. Se empleó el Método CHEM32, cromatografía de Gases, y se usó una columna de Agilent Technologies.

En la Figura 13 se muestra dicho equipo.



Figura 13. Cromatógrafo de Gases. Agilent Technologies.



Figura 14. Extracción del Aceite de Aguacate.

7.3. ENSAYO BIOLÓGICO

7.3.1. Selección del Modelo Biológico

Diversos autores proponen que el hámster es el modelo ideal para el estudio de dislipidemias y arterioesclerosis, por presentar similitudes con el humano en relación a alteraciones metabólicas derivadas de la ingesta de dietas hiperlipídicas (Stary, 1990); además, el hámster también presenta, en relación con el humano, similitudes en la regulación de la síntesis de colesterol y metabolismo de lipoproteínas en comparación al humano (Pinto, 1999).

Se han descrito distintos modelos animales, como el de los primates, perros o conejos que guardan una relación muy estrecha con el metabolismo de lípidos y dislipidemias en humanos, sin embargo, los hámsters y ratones con una mutación db/db (ratones diabéticos), se consideran como modelos representativos de uso y manejo práctico para la validación de estudios en modelos biológicos (Yin et al., 2012), para este caso particular fueron seleccionados hámsters.

7.3.2. Manejo de Animales de Experimentación

En el ensayo biológico se utilizaron 30 hámsters machos adultos de la cepa *Golden circus*, proporcionados por el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la UNAM. México, DF.

Los animales fueron pesados al inicio y al término del periodo de experimentación. Se distribuyeron de mayor a menor peso y se fueron asignando uno a cada lote, de forma que cada uno de los distintos lotes mantuviera un peso promedio. El peso promedio de los animales fue de 117 g al inicio de la experimentación.

Se dividieron en cinco lotes de seis animales cada uno y se alimentaron durante 21 días con cada una de las dietas experimentales, suministrando agua y alimento *ad libitum*. El consumo total de alimento se determinó por lote después de los 21 días.

Los hámsters se mantuvieron en un periodo de adaptación con alimento comercial Chow 5001 durante 1 mes. Posteriormente, se colocaron en jaulas metabólicas individuales y en un ambiente aislado de ruidos y controlado. La temperatura entre 18 y 26 °C, una humedad relativa del 40-70%, y con ciclos de 12 h luz por 12 h de oscuridad.



Figura 15. Animales en Adaptación.



Figura 16. Jaulas Metabólicas

Bioterio de la Facultad de Químico Farmacobiología. 30 Jaulas metabólicas, cada una con bebederos, comederos y charolas de desperdicio individuales.

7.3.3. Formulación de Dietas

Se formularon cinco dietas experimentales de acuerdo a lo establecido por la AIN-93 para animales adultos en mantenimiento (Reeves, 1993). En la Tabla 6 se muestra la composición de dichas dietas.

A continuación se muestra la descripción de las cinco dietas:

- ✓ DR: Dieta de referencia establecido por la AIN-93. Control negativo (animales sanos).
- ✓ DC: Dieta Control Positivo (animales enfermos). Adicionada con 2% colesterol y 10% de aceite de coco para inducir hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia, respectivamente.
- ✓ DA: Dieta de Aceite de Aguacate. Dieta modificada. Se sustituye el aceite de referencia, es decir, el aceite de soya, con el 8% de aceite de aguacate liofilizado.
- ✓ DD: Dieta de Aguacate Desgrasado. Dieta modificada. Se sustituye la fibra de referencia (celulosa) y parte de la proteína de referencia (caseína), con el aguacate liofilizado desgrasado. Se agregaron 300 g de aguacate desgrasado para 1 kg de dieta.
- ✓ DL: Dieta de Aguacate Liofilizado Completo. Dieta modificada. Se sustituyen el aceite, la fibra y parte de las proteínas de referencia por el aguacate liofilizado. Se agregaron 280 g de aguacate liofilizado para 1 kg de dieta.

Tabla 6. Formulación Final de las Dietas (g).

Ingredientes	DR	DC	DA	DD	DL
Almidón	665	545	505	370	395
Sacarosa	100	100	100	100	100
Caseína	100	100	100	70	90
Celulosa	50	50	50	NA	NA
Aceite de Soya	40	40	0.0	30	NA
Minerales	35	35	35	NA	15
Vitaminas	10	10	10	10	10
Colesterol	0.0	20	20	20	20
Aceite de Coco	0.0	100	100	100	100
Aceite de Aguacate	0.0	0.0	80	NA	NA
Aguacate Desgrasado	NA	NA	NA	300	NA
Aguacate Liofilizado	NA	NA	NA	NA	270
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

➤ Notas sobre la formulación de las dietas:

- Se complementaron las dietas DD y DL con caseína como fuente de proteína con el fin de evitar desnutrición en los animales de prueba.
- No se agregó celulosa en las dietas DD y DL, con el fin de evaluar exclusivamente el efecto de la fibra del aguacate tanto en ausencia de aceite de aguacate en DD, así como en combinación con todos sus componentes en DL.
- En la dieta DD se agregó solamente 3% de dieta de aceite de soya, debido a que en el proceso de desgrasado del aguacate no se logra eliminar por completo todo el aceite y permanece un pequeño porcentaje de grasa en el polvo desgrasado.
- En la dieta DD no se agregaron minerales debido a que el contenido de ellos presentes en el polvo desgrasado se encuentra concentrado, en la dieta DL se agregó 1.5% de minerales para ajustar el contenido final de estos en la formulación.
- Para evitar deficiencias vitamínicas se administró 1 % de mezcla de vitaminas a todas las dietas.

Se muestran a continuación en las Tablas 7 y 8 la composición de las mezclas de minerales y vitaminas de Harlan México.

Tabla 7. Mezcla de Minerales AIN-93M.

Ingrediente	g/Kg
Carbonato de Calcio	357.0
Fosfato de Potasio, monobásico	250.0
Citrato de potasio, H ₂ O	28.0
Cloruro de Sodio	74.0
Sulfato de Potasio	46.6
Oxido de Magnesio	24.3
Citrato férrico	6.06
Carbonato de Zinc	1.65
Carbonato de Manganeso	0.63
Carbonato Cúprico	0.31
Yodato de Potasio	0.01
Selenato de Sodio	0.0103
Paramolibdato de Amonio, 4 H ₂ O	0.008
Metasilicato de Sodio, 9 H ₂ O	1.45
Sulfato de Cromo y Potasio, 12H ₂ O	0.275
Cloruro de Litio	0.0174
Ácido Bórico	0.0815
Fluoruro de Sodio	0.0635
Carbonato de Níquel, 4 H ₂ O	0.0318
Metavanadato de amonio	0.0066
Sacarosa (polvo fino)	209.496

Tabla 8. Mezcla de Vitaminas AIN-93M.

Ingrediente	g/Kg
Niacina	3.0
Pantotenato de Calcio	1.6
Piridoxina HCl	0.7
Tiamina HCl	0.6
Riboflavina	0.6
Ácido Fólico	0.2
Biotina	0.02
Vitamina B ₁₂ (0.1% en manitol)	2.5
Vitamina E, acetato de tocoferol (500 IU/g)	15
Vitamina A Palmitato (500,000 IU/g)	0.80
Vitamina D ₃ , cholecalciferol (500,000 IU/g)	0.20
Vitamina K ₁ , Filoquinona	0.08
Sacarosa (polvo fino)	974.70

7.3.4. Consumo de Alimento

El consumo de alimento se midió durante los 21 días del ensayo biológico. El consumo final de alimento se determinó pesando la dieta inicial y dieta sobrante para determinar la dieta consumida y restando al final, el alimento desperdiciado durante el periodo de experimentación.

7.3.5. Sacrificio y Obtención de Muestras Biológicas

Anterior al sacrificio se recolectaron las heces de cada lote durante la última semana de experimentación y se almacenaron libres de humedad para su posterior análisis.

El sacrificio se llevó a cabo después de 21 días de experimentación y durante dos días consecutivos. Se sacrificaron mediante dislocación cervical, el cual es un método de sacrificio humanitario y usado habitualmente para la mayoría de roedores pequeños que estén por debajo de 150 g de peso, causando inconsciencia y muerte inmediata (Marshall et al, 1994). Previamente se administró vía intraperitoneal a los animales, una dosis hipnótica de Pentobarbital, para favorecer su manejo y manipulación para la obtención de las muestras, además de reducir el temor y ansiedad del animal, ya que debido al cuello corto de los hámsters resulta más difícil su manejo y manipulación cuando están en movimiento. Estas técnicas se llevaron a cabo teniendo en cuenta los señalamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999.

Se extrajo la sangre por punción cardiaca y el hígado de 3 ejemplares de cada lote. Las muestras sanguíneas se centrifugaron a 5,000 rpm durante 10 min. Posteriormente se realizó la separación del suero y se almacenó a -20 °C hasta su utilización. Las muestras de hígado se pesaron, se limpiaron con agua destilada y se realizaron las determinaciones. De ser necesario, pueden almacenarse a -20 °C hasta su análisis.

7.3.6. Determinación de Parámetros Sanguíneos

Las muestras analizadas fueron los sueros previamente almacenados de los animales.

Se llevó a cabo la determinación cuantitativa de triglicéridos, colesterol total y colesterol HDL, así como de colesterol LDL y VLDL. Además, se realizó la determinación de índice aterogénico y el contenido de lípidos totales.

La determinación cuantitativa de colesterol y triglicéridos se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Facultad de Químico Farmacobiología, Morelia, Michoacán. La determinación cuantitativa de colesterol HDL se llevó a cabo utilizando el kit SpinReact con reactivo precipitante de HDL colesterol.

7.3.7. Determinaciones en Muestras Biológicas

Las determinaciones en las muestras biológicas se llevaron a cabo en tres animales por lote, es decir, por triplicado. Los análisis que se realizaron fueron los siguientes:

- **Determinaciones de humedad en heces.** Se realizó por triplicado. Se pesaron las heces recién recolectadas, se secaron a 60° C durante 8 horas, y se pesaron de nuevo y se determinó por diferencia de pesos la humedad de la muestra.
- **Determinación de grasa en heces.** Se realizó por triplicado. Libre de humedad la muestra, se trituraron, se pesaron las heces y se determinó extracto etéreo por el método de Soxhlet.
- **Determinación de humedad en hígado.** Se realizó por triplicado. Los hígados una vez pesados, se secaron en cápsulas de porcelana a 60 °C por 8 horas, se pesaron de nuevo y por diferencia de pesos se determinó la humedad.
- **Determinación de grasa en hígado.** Se realizó por triplicado. Libre de humedad los hígados, se trituraron, se homogenizó la muestra, se pesaron y se determinó extracto etéreo por el método de Soxhlet.

7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos de las determinaciones biológicas fueron analizados estadísticamente utilizando el los programas GraphPad Prism versión 3.0. U.S.A. y JMP6.

Se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) de 1 vía y la prueba Tukey-Kramer en el programa JMP y se empleó el programa GradPad Prism 3.0 para realizar la representación gráfica de los resultados.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA AGUACATE LIOFILIZADO

8.1.1. Análisis Bromatológico

El reporte bibliográfico de aguacate fresco guardó una estrecha relación en comparación con los resultados obtenidos para el aguacate liofilizado, sin embargo, como se mencionó anteriormente el porcentaje de Lípidos del fruto varía de acuerdo a la temporada de cosecha y para este caso particular, se obtuvo un mayor porcentaje de lípidos que el esperado en bibliografía, y por lo tanto se observa también una pequeña variación en los demás nutrientes.

Cabe señalar además, que el análisis bibliográfico corresponde a las variedades California y Florida, y la del aguacate liofilizado corresponde a la variedad Hass.

Tabla 9. Análisis Bromatológico (100 g).

Nutriente	Bibliografía Base Húmeda (%)	Bibliografía Base Seca (%)	Experimental Liofilizado SioSi (%)
Agua	73.2	-	0.1
Proteína	2.0	7.4	3.9
Lípidos	14.7	54.9	60.4
Carbohidratos	1.8	6.7	9.1
Fibra Dietética	6.7	25.0	19.4
Cenizas	1.6	6.0	7.1
Total	100	100	100

Reporte bibliográfico basado en las variedades California (86%) y Florida (14%). USDA National Database for Standard Reference, Release 23 (2011).

En base al reporte bibliográfico puede observarse que el proceso de liofilización no alteró la composición química del aguacate y las diferencias observadas pueden deberse principalmente a la variación en el periodo de cosecha del fruto, estas variaciones se observan más frecuentemente en el contenido de lípidos. El aguacate liofilizado presentó un contenido de proteína del 3.9%,

más alto que los valores de frutos convencionales que se encuentran entre 1-2%. Adicionalmente, tiene un buen porcentaje de fibra dietética, de la cual se conocen sus efectos fisiológicos.

8.1.2. Perfil de Ácidos Grasos

En la tabla siguiente se muestra un análisis del perfil de ácidos grasos del aceite de aguacate extraído del polvo liofilizado, usando la técnica de cromatografía de gases. Se muestran también los datos bibliográficos para aceite de aguacate.

Tabla 10. Perfil de Ácidos Grasos de Aguacate Liofilizado.

Ácido Graso	Datos Bibliográficos (%)	Datos Experimentales (%)
AGS, TOTAL	15.5	15.8
Láurico	NR	0.04
Mirístico	NR	0.05
Palmítico	15.12	15.23
Esteárico	0.36	0.47
AGM, TOTAL	71.4	71.5
Palmitoléico	5.10	5.69
Oléico	66.10	65.66
Godeléico	0.18	0.14
AGP, TOTAL	14.0	12.3
Linoléico	12.20	11.25
Linolénico	0.90	0.84
18:3 Acido alfa-linolénico (ALA)	0.80	0.25
Stigmasterol	0.02	NR
Campesterol	0.05	NR
Beta-sitosterol	0.07	NR

Reporte bibliográfico basado en las variedades California (86%) y Florida (14%). USDA National Database for Standard Reference, Release 23 (2011). ND: No determinado.

El aceite del aguacate liofilizado presentó un alto porcentaje de lípidos mono y poliinsaturados, primordialmente ácido oleico. Hay reportes que señalan que el aceite de aguacate y particularmente el ácido oleico por sí solo es capaz de reducir los niveles de colesterol y de triglicéridos

en sangre. A pesar de que no se conocen a detalle los mecanismos por medio de los cuales lo hace, se mencionan algunos como la disminución de la agregación plaquetaria y aumento en la fibrinólisis, evitando así la trombogénesis.

Los lípidos insaturados omega 3 y 6, linolénico y linoleico respectivamente, son ácidos grasos esenciales en la dieta de los mamíferos, debido a que no pueden sintetizarse por sí solos en el organismo y es necesario su consumo en la dieta; el aguacate presenta un buen contenido de los mismos, que puede cumplir con parte de los requerimientos diarios de dichos ácidos grasos. En la Figura 17 se muestra el cromatograma del perfil de ácidos grasos del aceite de aguacate de la empresa SioSi.

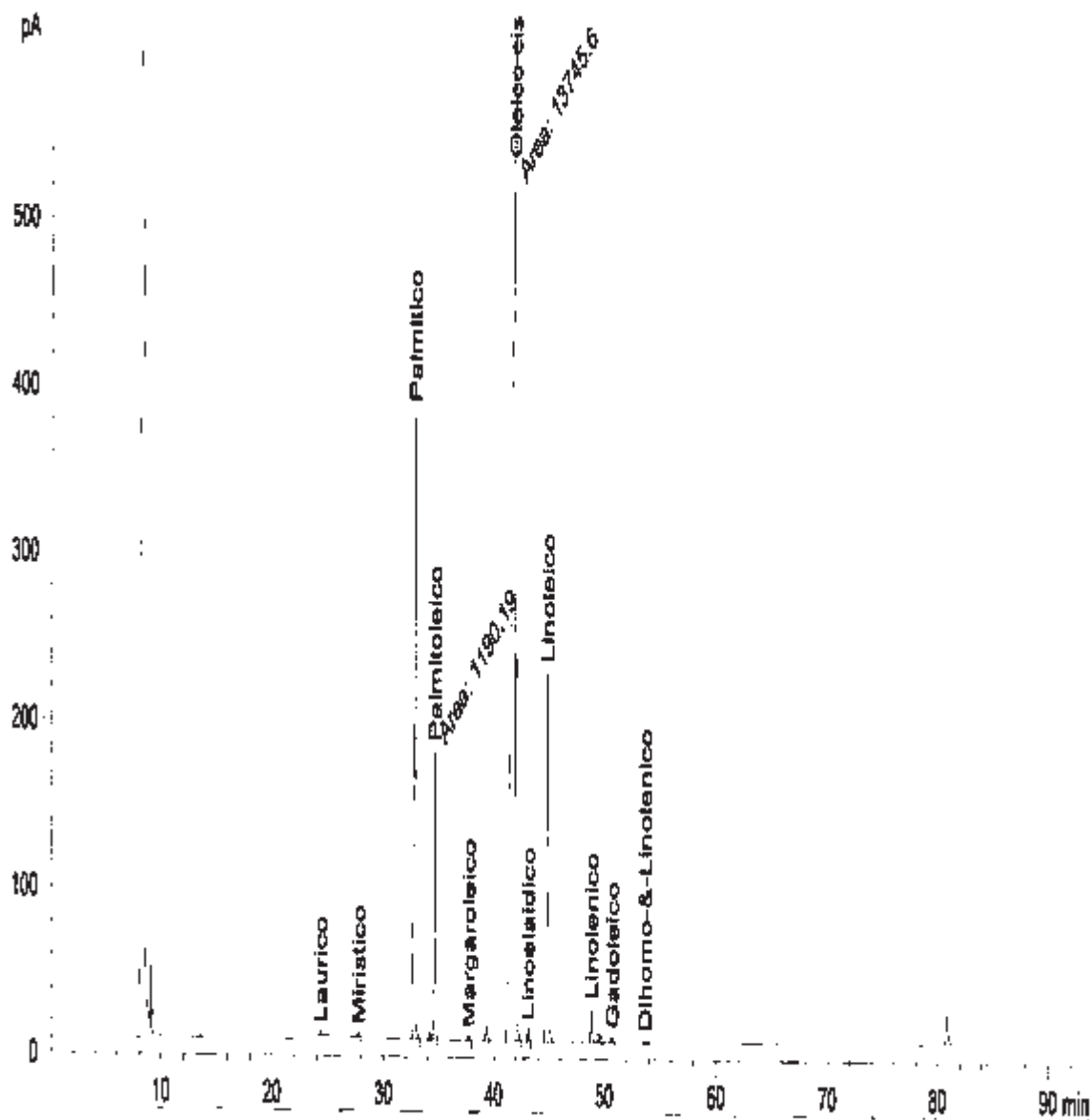


Figura 17. Cromatograma del Perfil de Lípidos de Aceite de Aguacate Liofilizado.

8.2. ENSAYO BIOLÓGICO

8.2.1. Composición Final de las Dietas

Una vez formuladas las dietas, se determinó la composición final en cada una de ellas en porcentaje total de nutriente por dieta. En la tabla siguiente se muestran dichos resultados.

Tabla 11. Composición Final de Dietas (%).

COMPONENTE	DR	DC	DA	DD	DL
Carbohidratos	66.5	54.5	50.5	43.6	42.0
Sacarosa	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Fibra	5.0	5.0	5.0	14.2	5.2
Proteína	10.0	10.0	10.0	9.9	10.1
Lípidos	4.0	4.0	8.0	4.2	16.3
Minerales	3.5	3.5	3.5	5.2	3.4
Vitaminas	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Colesterol	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Triglicéridos	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0
TOTAL	100	100	100	100	100

Cabe señalar que las dietas se diseñaron para ser lo más isoproteicas posibles. El porcentaje de grasa de cada dieta trató de establecerse en base la dieta DR. La recomendación en porcentaje de grasa en la dieta de referencia es del 4%, sin embargo en la dieta DA, que corresponde a la dieta de aceite de aguacate, se incrementó este porcentaje al doble para poder observar un efecto fisiológico del aceite de aguacate. Es importante mencionar, que en la dieta DL, para medir el efecto del aguacate liofilizado no fue posible reducir más el porcentaje de grasa total en la dieta, debido a que se formuló tratando de ajustar el contenido de proteína considerándose este nutriente como factor limitante de crecimiento.

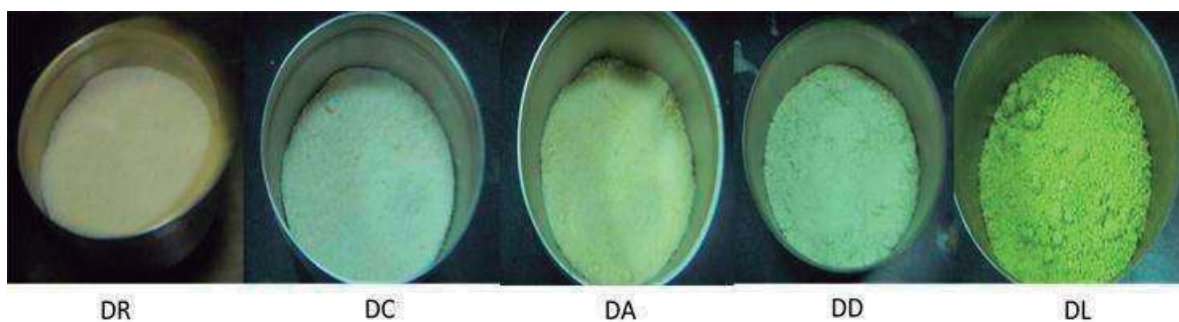


Figura 18. Aspecto visual de las dietas.

8.2.2. Análisis Estadístico

Se obtuvieron medidas de tendencia central y por la homogeneidad de los datos se utilizó el análisis ANOVA de una vía para la comparación de las medias y la prueba de Tukey-Kramer para la significación entre los grupos, aceptando diferencia significativa de $p < 0.05$.

8.2.3. Consumo de Alimento

El consumo de alimento se determinó en total por cada animal y se obtuvo el promedio; dichos resultados se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Ingesta Promedio de Alimento por Animal.

Lote	Alimento total consumido
DR	164.0 $\pm$ 21.4
DC	149.1 $\pm$ 19.8
DA	86.6 $\pm$ 15.0
DD	102.5 $\pm$ 21.2
DL	74.1 $\pm$ 17.5

El análisis estadístico del consumo de alimento mostró que las dietas DR y DC no presentaron diferencias significativas entre ellas; no obstante, estas dos dietas si presentaron diferencias con respecto al consumo de las dietas DA, DD y DL que incluyeron los diferentes componentes del aguacate liofilizado. Esto puede observarse en la Figura 19.

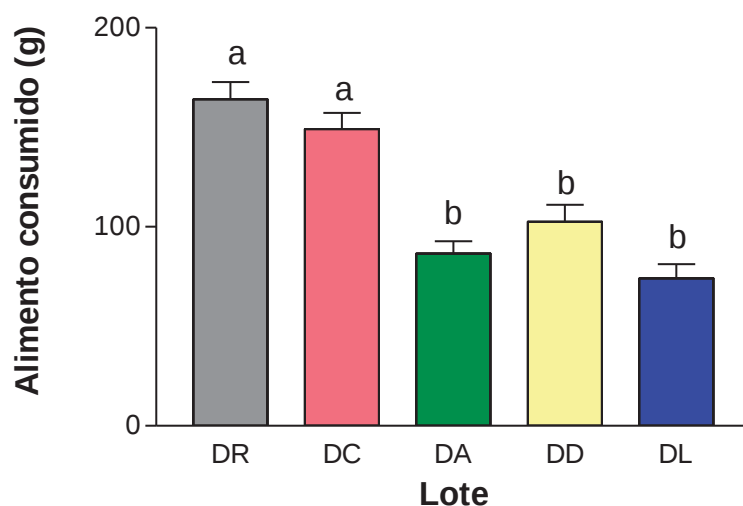


Figura 19. Alimento Consumido Promedio por Lote.

Valores promedio (gramos) $\pm$ desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

El consumo de alimento fue aún menor en los lotes donde los animales fueron alimentados con aceite de aguacate (DA), y con aguacate liofilizado completo (DL). Estas dos dietas contenían una mayor cantidad de lípidos, y un mayor consumo de grasa en la dieta genera una mayor saciedad, debido también a un mayor aporte calórico, todo esto puede atribuirse a la baja ingesta de dieta en estos dos lotes.

El lote que consumió aguacate desgrasado (DD), es decir, que tenían mayor fibra y proteína de aguacate, también mostró una menor ingesta comparado con el lote de referencia y el control positivo, esto pudo deberse a los efectos fisiológicos de las fibras solubles e insolubles, tales como la sensación de una mayor saciedad debido a que enlentecen el vaciamiento gástrico y aumentan la distensión estomacal.

8.2.4. Peso Corporal de los Animales

Se realizó la medición del peso corporal de los animales al inicio del periodo de experimentación. La distribución uniforme inicial por lotes de acuerdo al peso, pudo comprobarse por medio del análisis estadístico, ya que no se encontraron diferencias significativas de peso corporal inicial entre lotes de animales. Respecto a la talla final de los animales, se puede observar en forma visual en la Figura 20, a nivel visual se observó una mayor talla en el lote DC y una talla menor en el lote DL.



Figura 20. Talla de los Animales al Final del Experimento.

Al final del experimento, se presentó una disminución en el peso corporal de los animales. Con una mayor disminución de peso en gramos para los lotes que consumieron las dietas que incluyeron algún componente del aguacate liofilizado, lo cual puede observarse en la Tabla 13.

Tabla 13. Pérdida de Peso de los Animales al Término de la Experimentación.

Lote	DR	DC	DA	DD	DL
Peso Inicial (g)	118±20 ^a	118 ±18 ^a	117±16 ^a	115±15 ^a	119±15 ^a
Peso Final (g)	106.2±14 ^a	107.6±20 ^a	77.8±7 ^b	84.1±9 ^b	70.3±7 ^b
Pérdida de Peso (g)	11.3	10.62	39.1	30.5	48.3
Pérdida de Peso (%)	9.4	8.9	33.4	26.6	40.7

Valores promedio (gramos) ± desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales en la misma fila no muestran diferencia significativa, letras diferentes por fila indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

Esta notable disminución pudo deberse a diversos factores, uno de ellos, debido a que durante el periodo de adaptación los animales fueron alimentados con un alimento comercial Chow 5001, el cual presenta principalmente un mayor contenido de proteína y grasa (ver Tabla 14), en comparación a las dietas experimentales que se formularon, esta variación en el porcentaje de estos dos nutrientes, pudo contribuir a la disminución en el peso corporal de los animales, y además el alimento comercial presenta una menor proporción de ácidos grasos insaturados en comparación al aguacate liofilizado.

Tabla 14. Composición Química de Alimento Comercial*.

Nutriente	Análisis garantizado (%)
Humedad	12.0
Proteína	23.0
Grasa	4.5
Fibra	6.0
Carbohidratos	46.5
Minerales	8.0

*Alimento Rodent Lab Chow 5001

Al realizar el análisis estadístico, se encontró que la pérdida de peso en los lotes DR y DC no mostró diferencia significativa entre ellos, con lo cual puede decirse que las dietas fueron formuladas de manera adecuada, ya que el peso entre estos dos grupos se mantuvo constante.

Sin embargo, en las dietas DA, DD y DL sí se observó una pérdida de peso significativa en comparación con la dieta control y la dieta de referencia, aunque sin diferencias estadísticamente significativas entre ellas mismas. Esto puede observarse en la Figura 21.

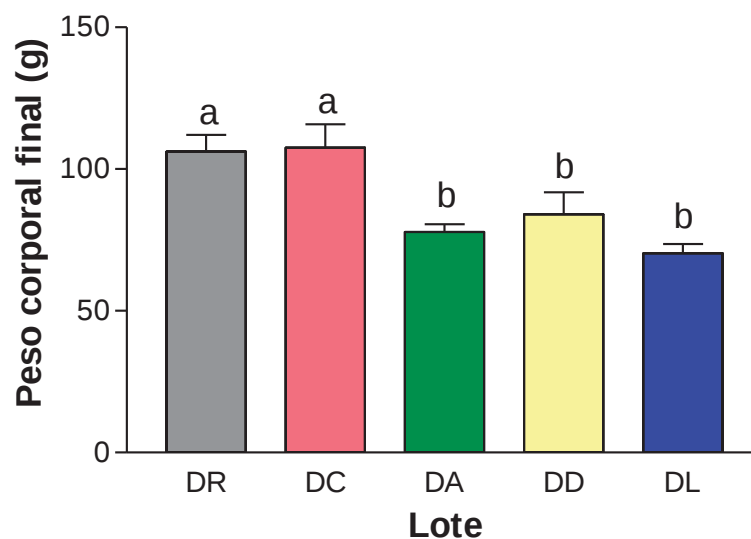


Figura 21. Peso Corporal Final de Animales por Lote.

Valores promedio (gramos) $\pm$ desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

En base a lo anterior, puede decirse que las dietas que se formularon con cualquiera de los ingredientes del aguacate liofilizado, ya sea el aguacate liofilizado completo, aceite o fibra, podrían representar una buena opción de consumo para personas con problemas de obesidad o personas sanas, ya que pueden ser auxiliares en la pérdida o control del peso corporal.

8.2.5. Determinaciones Sanguíneas

Se llevó a cabo la determinación del contenido de Triglicéridos (TG) y Colesterol Total (CT) en sangre al final del periodo de experimentación.

En la Tabla 15 se presentan los resultados del contenido de triglicéridos y colesterol séricos.

Tabla 15. Determinación de Colesterol Total y Triglicéridos por Lote.

LOTE	CT (mg/dL)	TG (mg/dL)
DR	91.7±7.3 ^d	99.2±16.6 ^{c,d}
DC	263.5±18.11 ^b	219.7±102.1 ^a
DA	320.3±24.1 ^a	169.2±32.8 ^a
DD	282.0±14.1.3 ^b	118.5±57.8 ^b
DL	220.3±32.6 ^c	51.7±28.5 ^d

Valores promedio (mg/dL) ± desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales en la misma columna no muestran diferencia significativa, letras diferentes en misma columna indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

En base a los datos obtenidos, se comprobó satisfactoriamente la inducción del cuadro esperado de hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia (ver Figura 22), observándose un aumento significativo en niveles séricos de colesterol y triglicéridos en lote DC, que representaba el control positivo del tratamiento con colesterol y triglicéridos.

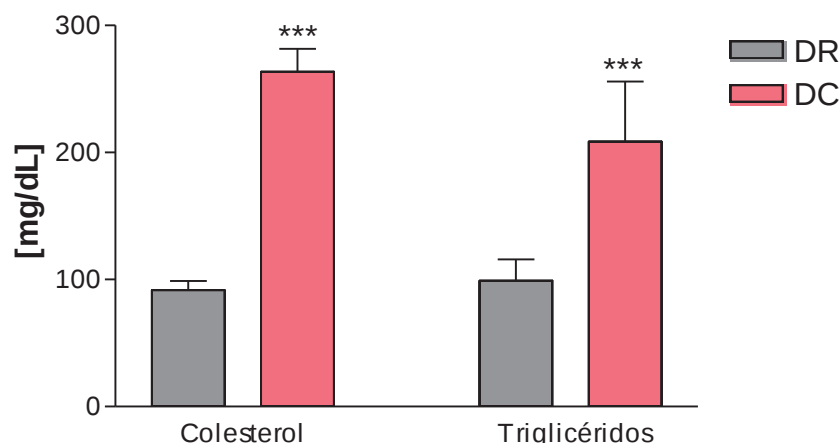


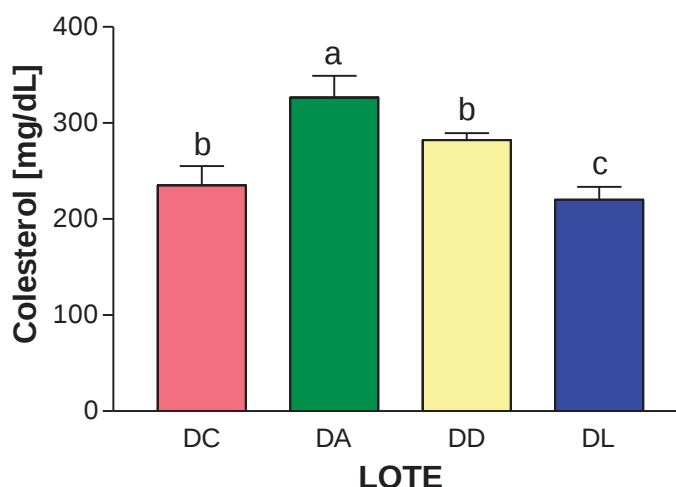
Figura 22. Comprobación del Modelo Biológico.

Valores promedio (mg/dL) $\pm$ desviación estándar de 6 animales por grupo. *** $p < 0.0001$. One Way Anova.

A continuación se muestra también la representación gráfica estadística de los resultados en las determinaciones sanguíneas de CT y TG.

En lo que respecta a la determinación de CT (ver Figura 23), solamente se observó una disminución en el contenido de colesterol total en lote de animales que consumieron el aguacate liofilizado completo (DL). La dieta que incluyó aceite de aguacate liofilizado (DA) aumentó considerablemente el nivel de colesterol total en sangre, sin embargo, se observó en la medición de parámetros adicionales que parte de este aumento pudo deberse a que el consumo de esta dieta, favoreció los niveles de colesterol HDL sanguíneos, lo cual pudo causar al final, un incremento general de colesterol.

Por su parte, la dieta que incluyó fibra y proteína de aguacate, es decir DD, no mostró ni un aumento ni una disminución significativa en el contenido total de colesterol.

**Figura 23. Determinaciones Sanguíneas de Colesterol por Dieta.**

Valores promedio (mg/dL) $\pm$ desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

Referente a la determinación cuantitativa de TG, se observó una tendencia de reducción en los niveles séricos de triglicéridos en las dietas que incluyeron el consumo de aceite de aguacate, aguacate desgrasado y aguacate liofilizado completo, en comparación a la dieta control alta en colesterol y triglicéridos.

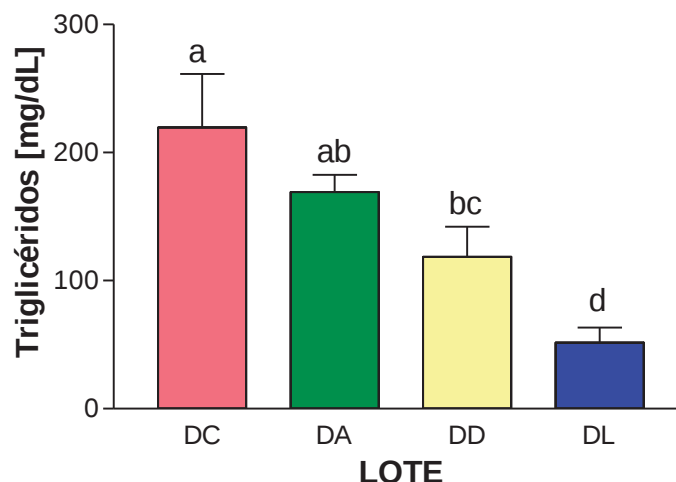


Figura 24. Determinaciones Sanguíneas de Triglicéridos por Dieta.

Valores promedio (mg/dL) $\pm$ desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

La dieta que mostró un mayor efecto hipotrigliceridémico fue la dieta DL con un porcentaje significativo de reducción del 75 % en comparación con DC. En segunda instancia, la dieta DD presentó un porcentaje parcialmente significativo de reducción del 43.3 % y por último en el lote que consumió la dieta DA, se observó también una tendencia de reducción en el contenido de triglicéridos, con un porcentaje del 23.9%, todos ellos en comparación a DC.

En base a lo anterior, puede inferirse que el consumo del aguacate liofilizado completo, es la mejor opción para el control de triglicéridos y colesterol en sanguíneos.

8.2.6. Parámetros Adicionales

Adicionalmente, se realizó la determinación cuantitativa de colesterol HDL por medio del Kit SpinReact; además, se determinó el valor de colesterol LDL y VLDL por medio de la fórmula de Friedewald (FDW). Se escriben a continuación las fórmulas respectivas para cada determinación.

- ♦ $VLDL = TG/5$
- ♦ $LDL = CT - VLDL - HDL$

Conjuntamente, se determinó el valor del índice aterogénico (IA) que representa el potencial de un alimento de obstrucción de las arterias y se establece en relación a la proporción de colesterol HDL y colesterol LDL; el cual se determinó por medio de la misma FDW.

- ♦ $IA = LDL/HDL$

El contenido de Lípidos Totales (LT) incluye triglicéridos, fosfolípidos, colesterol, ácidos grasos libres, glicolípidos, vitaminas liposolubles, etc. Este parámetro se determinó por medio de la siguiente fórmula:

♦ Total de Lípidos = [(triglicéridos + colesterol)*1.8]/100

Tabla 16. Parámetros Adicionales Calculados.

LOTE	HDL (mg/dL)	LDL (mg/dL)	VLDL (mg/dL)	IA	LT (g/L)
DC	120.1±37.3 ^a _b	102.8±4.5 ^b	43.9±20.4 _a	1.1±0.2 ^a _b	8.2±2.2 ^a
DA	167.4±62.0 ^a	140.4±24.2 _a	35.0±6.0 ^a _b	0.9±0.5 ^b	9.0±1.6 ^a
DD	120.1±14.8 ^a _b	138.2±12.7 _a	23.7±9.0 ^b _c	1.2±0.3 ^a _b	7.2±1.1 ^a _b
DL	86.2±20.7 ^{b,c}	144.6±17.2 _a	10.3±3.6 ^c	1.4±0.02 _a	5.2±0.8 ^b _c

Valores promedio (mg/dL) ± desviación estándar de 6 animales por grupo. Letras iguales en la misma columna no muestran diferencia significativa, letras diferentes en la misma columna indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

Los valores de colesterol HDL, conocido también como colesterol bueno, se vieron aumentados favorablemente de manera parcialmente significativa en los lotes que consumieron las dietas experimentales, particularmente los que consumieron aceite de aguacate (DA) en donde si pudo observarse un aumento significativo de este parámetro, a pesar de que este lote presentó mayor contenido de CT, la fracción HDL se vio favorecida. Además, fue la dieta en la se observó un valor de índice aterogénico significativamente menor, lo que representa un bajo potencial de obstrucción de arterias por el consumo de esta dieta, esto gracias a la proporción de ácidos grasos insaturados presentes en el aceite de aguacate.

No obstante, los valores de colesterol LDL aumentaron también en forma significativa con respecto al control, lo cual dio como resultado final un aumento parcial del IA en DD y significativo en DL, este aumento del índice aterogénico en el lote que consumió el aguacate liofilizado completo, se pudo deber a que esta dieta contenía una mayor cantidad total de lípidos, que aunque es favorable la proporción de insaturados al igual que en el aceite de aguacate, este alto porcentaje de grasa en la dieta puede presentar un potencial de obstrucción arterial si no se regula el consumo.

Finalmente, el lote que presentó un menor contenido de lípidos totales sanguíneos fue el DL, el cual fue significativamente menor en comparación a DC, lo cual representa que esta dieta del aguacate liofilizado completo fue la favoreció a un mejor perfil de lípidos en sangre, por lo cual podría representar una excelente opción de consumo para personas que padecen de algún tipo de dislipidemias o de problemas cardiovasculares.

8.2.7. Determinaciones en Hígado

Se pesaron los hígados de cada lote y se determinó la cantidad de humedad y lípidos en el hígado de los animales de experimentación. Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Peso fresco, Contenido de Agua y Lípidos en Hígado por lote.

Lote	Peso* (g)	Peso (g)**	% Humedad	% Lípidos
DC	6.5±1.1 ^a	2.3±0.46 ^a	65.2±0.8 ^c	36.0±0.1 ^{a,b}
DA	5.5±0.1 ^{a,b}	1.9±0.05 ^{a,b}	64.6±0.8 ^c	36.8±1.8 ^a
DD	5.4±0.9 ^{a,b}	1.8±0.30 ^{a,b}	65.8±0.8 ^{b,c}	32.4±2.8 ^b
DL	5.8±1.0 ^{a,b}	1.8±0.33 ^{a,b}	68.8±0.8 ^{a,b}	23.9±0.1 ^c

*Peso fresco **Peso seco. Valores promedio ± desviación estándar de 3 animales por grupo. Letras iguales en la misma columna no muestran diferencia significativa, letras diferentes en misma columna indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

Los hígados de los animales que consumieron las dietas que contenían aguacate liofilizado, mostraron valores de peso de los hígados significativamente menores de alrededor del 22%, en comparación a la dieta control alta en colesterol y triglicéridos.

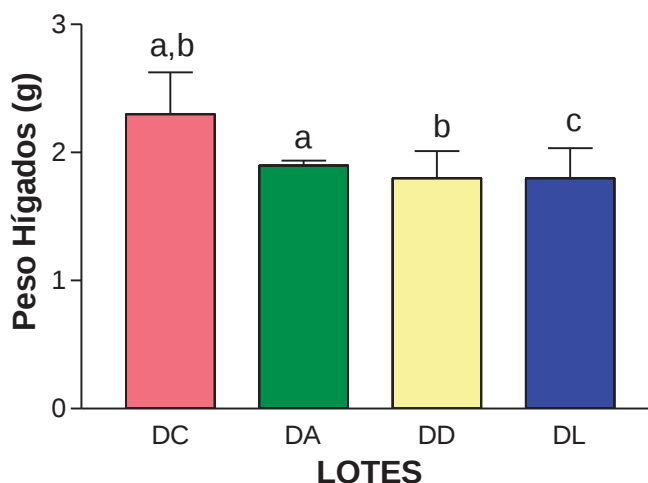


Figura 25. Peso de Hígados por Lotes.

Valores promedio (g) peso seco de hígados ± desviación estándar de 3 animales por grupo. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

El porcentaje de grasa en los hígados de los animales puede observarse en la Figura 25.

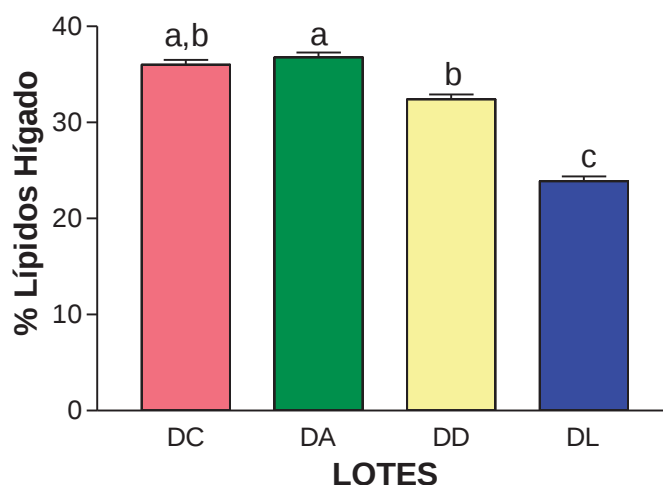


Figura 26. Porcentaje de Grasa en Hígado por Lotes.

Valores promedio $\pm$ desviación estándar de muestras por triplicado. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

El hígado graso se caracteriza por la acumulación excesiva de grasa en los hepatocitos, esta patología a su vez puede desencadenar una serie de procesos inflamatorios en el hígado que ponen en riesgo la fisiología hepática. Esto resulta de gran importancia debido a que la dieta de aguacate liofilizado en los animales, manifestó una disminución significativa en el contenido de lípidos en hígado del 34% en comparación al control. Esta dieta por lo tanto, además de tener un efecto positivo en los niveles de colesterol y triglicéridos séricos, puede favorecer el metabolismo de las grasa a nivel hepático, evitando así su acumulación en este órgano. Por lo que podría recomendarse el consumo de aguacate liofilizado para personas que padecen hígado graso, ya que no favorece la acumulación de grasa a este nivel.

El aspecto de los hígados de cada lote puede observarse en la Figura 27. El lote DR que consumió una dieta libre de colesterol y triglicéridos presentó una apariencia de color rojo brillante, que es el aspecto de un hígado normal. En el lote que consumió la dieta DC alta en colesterol y triglicéridos, puede notarse la apariencia totalmente grasa de este hígado que presentó un cambio de aspecto en la coloración, además de apreciarse la acumulación de grasa en forma de pequeñas gotas en el tejido.

Como puede observarse, el aspecto de los hígados de los demás lotes, aunque no son iguales a DR, tampoco son completamente similares a DC. De manera particular para cada dieta, el lote DA, como se mencionó anteriormente, no mostró una disminución de grasa en hígado con respecto a DC. Los lotes DD y DL por su parte mostraron una disminución de grasa en hígado en comparación al DC, y esto aunque no de manera muy clara, puede observarse también en la Figura 27, principalmente por el cambio de la coloración y el tamaño del órgano.

Con lo anterior podemos afirmar que aunque las dietas con fibra de aguacate o aguacate liofilizado completo contribuyen a disminuir la acumulación de grasa en dietas con alto contenido en colesterol y triglicéridos, la morfología hepática nunca regresará a su estado original.

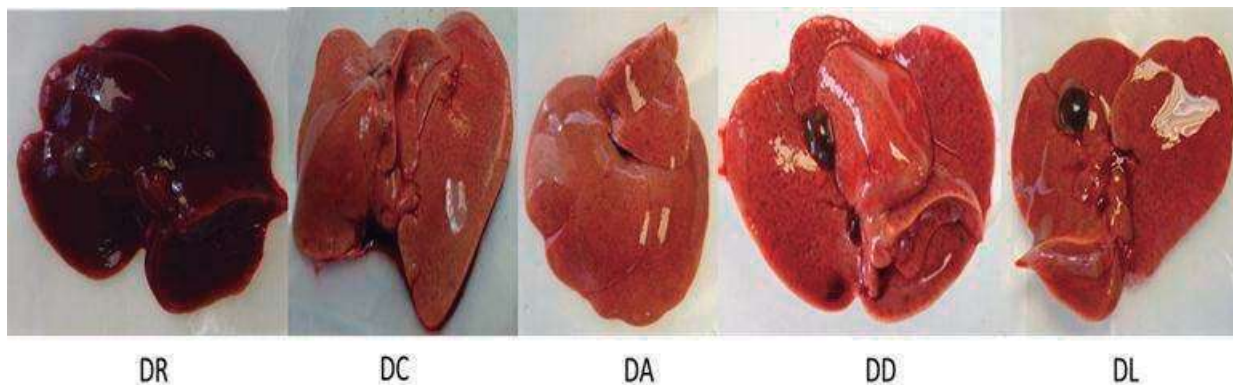


Figura 27. Comparación del Aspecto de los Hígados.

8.2.8. Determinaciones en Heces

Se hicieron determinaciones a nivel de heces fecales, los cuales se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Contenido de Agua y Lípidos en Heces.

Lote	% Humedad	% Lípidos
DC	6.9±0.1 ^b	14.7±0.1 ^c
DA	6.7±2.4 ^b	14.9±0.6 ^c
DD	8.1±0.03 ^{a,b}	20.8±0.2 ^b
DL	8.1±0.05 ^{a,b}	25.5±0.1 ^a

Valores promedio ± desviación estándar de muestras por triplicado. Letras iguales en la misma columna no muestran diferencia significativa, letras diferentes en misma columna indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

Los lotes DA y DD presentaron un porcentaje parcialmente mayor de humedad en heces que el lote DC (ver Figura 28). El porcentaje de agua presente en las heces está directamente relacionado con la suavidad de las mismas, y por lo tanto con una mejor evacuación. Esto se relaciona a su vez con el efecto alguno de los efectos fisiológicos de la fibra. El lote DD fue el que mayor porcentaje de fibra dietética poseía en comparación a las demás dietas ya que fue diseñado de manera particular para evaluar el efecto de la fibra del aguacate liofilizado y DL tenía el mismo contenido de fibra que los demás lotes, sin embargo la proporción de fibra soluble e insoluble si

se modificó, ya que las demás dietas consumieron solamente celulosa, que es una fibra insoluble. El aguacate liofilizado presentó alrededor del 75% de fibra insoluble, la cual es capaz de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal y estimula más rápidamente las evacuaciones. La fibra insoluble es utilizada también en el tratamiento y prevención de la constipación crónica y además contribuye a la disminución en la concentración y tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon.

Los resultados obtenidos en la determinación de lípidos en heces, mostraron de manera satisfactoria que el lote que consumió fibra de aguacate y aún más el que consumió aguacate liofilizado completo, presentaron un mayor porcentaje de expulsión de grasa en heces (Ver Figura 29). Este resultado es muy favorable y puede deberse a que, la fibra soluble, por su parte, presente también en un buen porcentaje en el aguacate liofilizado, tiene la capacidad de que al entrar en contacto con el agua forma un retículo, originando soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, ya que pueden atrapar moléculas de lípidos y colesterol en su estructura, evitando así su absorción y favoreciendo su excreción.

Además, las fibras tienen la característica de aumentar el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos. Asimismo, se producirá una disminución en la absorción de los ácidos biliares, ya que estos se unen a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de la fibra, lo que también altera la formación de micelas mixtas y la absorción de las grasas.

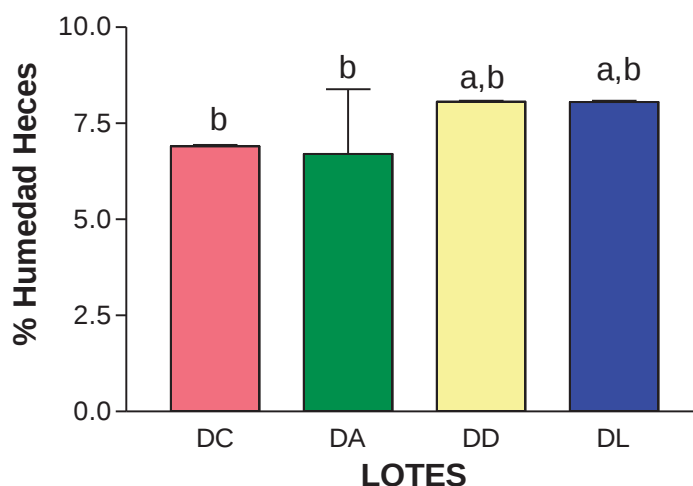


Figura 28. Contenido de Agua en Heces.

Valores promedio $\pm$ desviación estándar de muestras por triplicado. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

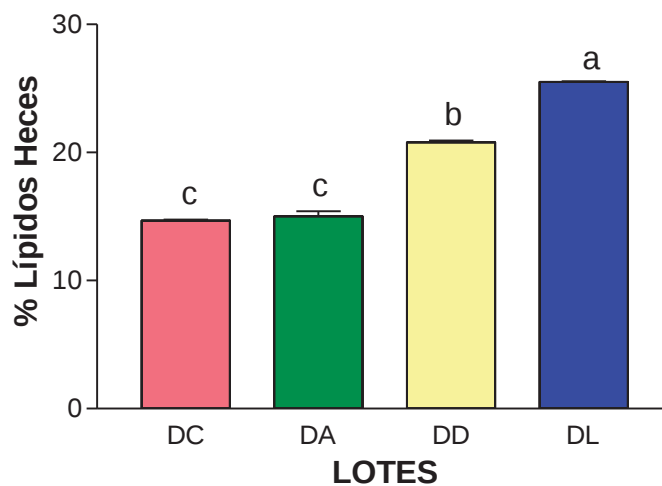


Figura 29. Excreción de Grasa en Heces.

Valores promedio $\pm$ desviación estándar de muestras por triplicado. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes indican una diferencia significativa entre lotes. $p < 0.05$. Anova y Tukey-Kramer.

IX. CONCLUSIONES

La composición química del aguacate liofilizado mostró un alto contenido de lípidos del 60%, de proteína del 3.9% que es superior al valor que presentan frutos convencionales de alrededor del 2%, y un buen porcentaje de fibra dietética del 19%. Por lo cual, puede considerarse como un fruto con un buen aporte nutricional.

Aunado a esto, por medio del análisis del perfil de ácidos grasos del aguacate liofilizado se pudo realizar la caracterización química del aceite de aguacate liofilizado, la cual fue de gran importancia debido a la proporción de ácidos grasos insaturados presentes en el aceite, los que se encontraron en mayor cantidad fueron, el ácido linoleico omega 6 en un 11%, y el ácido oleico que fue el ácido graso que se encontró en mayor cantidad con un valor del 66%, y además es a estos ácidos grasos mono y poliinsaturados a quienes se les atribuye en efecto positivo sobre niveles de lípidos séricos.

Los estudios nutricionales que se llevaron a cabo en el modelo de experimentación biológica con hámsters mostraron que el aguacate liofilizado es capaz de provocar una mayor saciedad y una pérdida de peso significativa, además de un efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico mayor, por su parte, los animales que consumieron aceite de aguacate liofilizado, a pesar de que tuvieron un valor de colesterol total en sangre que el aguacate liofilizado completo, mostró un aumento significativo en la fracción HDL del colesterol, o conocido también como colesterol bueno gracias a que transporta el colesterol desde los tejidos del cuerpo hasta el hígado para su excreción. Asimismo, la dieta de aguacate liofilizado presentó un alto porcentaje de lípidos en heces, es decir favoreció la excreción de estas, lo que resultó también en una menor acumulación de grasa al presentar el menor porcentaje de lípidos en hígado. Todo ello en comparación con una dieta control alta en colesterol y triglicéridos.

En conclusión, podemos decir que la liofilización es una excelente alternativa que puede utilizarse como método de conservación del aguacate que aumenta su vida de anaquel y facilita su transporte, además no altera las propiedades nutricionales del producto y presenta un importante efecto en la disminución de lípidos séricos, por lo que el aguacate liofilizado puede considerarse como un alimento funcional, y de igual forma, representar una excelente opción de consumo para personas con problemas cardiovasculares y para personas sanas.

X. BIBLIOGRAFÍA

Alvizouri Muñoz; Carranza J; Chávez F; Amescua JL. (1992). Effects of avocado as a source of monounsaturated fatty acids on plasma lipid levels. *Archs Med Res*;23:163-67.

Alvizouri Muñoz, M; Rodríguez Barrón, A. (2009). Efectos médicos del aguacate. *Medicina Interna de México*, No. 25 Vol. 5, 379-385.

Anderson, Gerard. F; Chu, Edward. (2007): Expanding priorities confronting chronic disease in countries with low income. *The New England Journal of Medicine*, No. 356 Vol. 3, 209-211.

Arriola Guevara, E; Guatemala Morales, G; Nungaray Arellano, J; González Reynoso, O; Ruíz Gómez, J. (2006). Comportamiento de la humedad en la liofilización del aguacate hass. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, No.1 Vol.5, 51-56.

Badui Dergal, Salvador. México (1993). *QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS*. 3ª edición. Editorial Pearson Educación. Págs. 13-60, 123-50. 157-247

Bartolomeu Ayrosa A.M.I. (2002). Liofilización ciencia o arte?. *Engenharia*. Vol 1. Pp 40-45.

Belitz H., Grosch W. (1997). *QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS*. 2ª edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España. Págs. 207-247

Boss, E. A. (2004). Modelagem e otimização do processo de liofilização: aplicação para leite desnatado e café solúvel. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Tesis Doctorado.

Campos, R.E; SantaCruz, U.E.; Florez, M.A.J1; Rivera, G.M., Rodríguez-Pérez, J.E. (2011). Dinámica de la acumulación de ácidos grasos en aguacate (*Persea americana* Mill.) selección 'Méndez'. World Avocado Congress.

ENSANUT. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (2006). Instituto Nacional De Salud Pública. url: <http://www.insp.mx/images/stories/ENSANUT/Docs/Ensanut2006.pdf>

Escudero, A., González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 21:61-72.

Financiera Rural (2009). Dirección general adjunta de planeación estratégica y análisis sectorial. "Monografía Aguacate" [Disponible en línea] <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Microsoft%20Word%20-%20MONOGRAFIA%20AGUACATE-octubre.pdf>

Forero F., García J., Cárdenas H. J. (2007). Situación y avances de la poscosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana Mill*). Revista Colombiana de ciencias Hortícolas Vol 1 No 2 pp 189-200.

Gandolfo Wiederhold S.P. (2008). Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate. Tesis de doctorado.

Gardner, C. D., & Kraemer, H. C. (1995). Monounsaturated versus polyunsaturated dietary fat and serum lipids. A meta-analysis. [Meta-Analysis. Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 15(11), 1917-1927.

Gauthereau Torres, M. Yvette., Godínez Hernández, Daniel., Mercado Camargo, Rosalío. (2008). Vitaminas en la nutrición: de los mecanismos de acción a la prevención de enfermedades. Capítulo III. Temas selectos en alimentos, nutrición y salud. Editado por Héctor Eduardo Martínez Flores. UMSNH. Morelia, Michoacán.

Gillingham, L. G., Harris-Janz, S., & Jones, P. J. (2011). Dietary monounsaturated fatty acids are protective against metabolic syndrome and cardiovascular disease risk factors. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 15(11), 1917-1927. [Review]. Lipids, 46(3), 209-228. doi: 10.1007/s11745-010-3524-y

González Martínez, Marta Lucía. (2011). Liofilización y productos potenciales en México. Tesina de la UMSNH, 1-85.

GraphPad Prism 3.0. (1999) H.J. Motulsky, Analyzing Data with GraphPad Prism. GraphPad Software Inc., San Diego CA, www.graphpad.com.

Harris, W. S., D. Mozaffarian, et al. (2009). "Omega-6 fatty acids and risk for cardiovascular disease: a science advisory from the American Heart Association Nutrition Subcommittee of the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; Council on Cardiovascular Nursing; and Council on Epidemiology and Prevention." Circulation 119(6): 902-907.

Kaplan H. A., Ludwig K. A. (2005). Comportamiento de distintos métodos de secado. 69th IFLA General Conference and Council Satellite Meeting Washington DC. USA 31. Kurt C. R.

Lehninger (2005). Principios de Bioquímica. 4ª Edición. Editorial Macmillan. Nelson, D. L., Cox, M. M.

Liu Xuan, Paul W. Robinson, Monica A. Madore, Guy W. Witney, Mary Lu Arpaia. (1999). 'Hass' Avocado carbohydrate fluctuations. II. Fruit growth and ripening journal of the american society for horticultural science. vol. 124 no. 676-681

Martínez Flores, Héctor Eduardo., Figueroa Cárdenas, Juan de Dios. (2008). La Fibra dietética y su importancia en la salud humana. Capítulo I. Temas selectos en alimentos, nutrición y salud. Editado por Héctor Eduardo Martínez Flores. UMSNH. Morelia Michoacán.

Martinez Flores, H. E., Chang, Y. Kil et al. (2004). "Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters." Nutrition research (New York, N.Y.) 24(1): 85-93

Mora Bedolla, María Trinidad. (2009). Establecimiento de las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética medidas *in vitro* que permitan predecir su posible comportamiento fisiológico *in vivo*. Tesis de la U.M.S.N.H.

Mozaffarian, D., Micha, R., Wallace, S. (2010). Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 15(11), 1917-1927.

Munguía Miranda, Catarina; Sánchez Barrera, Gabriela; Saavedra Hernández, Daniel; Cruz López, Miguel. (2008). Prevalencia de dislipidemias en una población de sujetos en apariencia sanos y su relación con la resistencia a la insulina. Revista de Salud Pública México, No. 50 Vol. 5, 375-382.

Paull, Robert E., Duarte, Odilo. (2011). Tropical fruits, Volumen 1. Volumen 20 de Crop production science in horticulture CAB books. Chapter 7 Avocado. 2ª Edición, ilustrada. Editorial CABI.

Pérez Méndez O., García Hernández L. (2007). High-density lipoproteins (HDL) size and composition are modified in the rat by a diet supplemented with “Hass” avocado. *Cardiol Mex.* Jan-Mar;77(1):17-24.

Pérez Rosales., Villanueva Rodríguez., Cosío Ramírez. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis*, vol. 3.

Pieterse, Zelda; Jerling, Johann; Oosthuizen, Welma.(2003). Avocados (monounsaturated fatty acids), weight loss and serum lipids. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, No. 3 Vol. 4, 65-71.

Pinto, Wagner de Jesus (1999). Efeito da mistura polpa de laranja/goma-guar sobre parametros bioquimicos e cardiovasculares em hamsters alimentados com dieta hipercolesterolemica. Tesis de Mestría. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biología. UNICAMP.

PRONASA. Programa Nacional De Salud (2007-2012). Secretaría de salud. url: http://portal.salud.gob.mx/descargas/pdf/pns_version_completa.pdf; Enero 2012.

Reeves, P. G., Nielsen, F. H. , Fahey, G. C. (1993). AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J. Nutr.* 123: 1939–1951.

Rodiles O. (2009a). VITAMINAS. *TecnoAgro*. Año 10. Número 54:36-38

Rodiles O. (2009b). MINERALES. *TecnoAgro*. Avances Tecnológicos Agrícolas. Año 10.

Rojas Argandoña H. (2007). Estudio de la cinética de transferencia de materia durante el secado convectivo del pimiento rojo variedad húngaro (*Capsicum annuum*): Evaluación de la influencia de la temperatura sobre la calidad del producto terminado. Tesis Ingeniería en Alimentos.

SAGARPA. (2001). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación.

SAGARPA. (2005). Lista sistemas productos integrados. Plan rector sistema nacional aguacate.

http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto/Lists/Aguacate/Attachments/1/prn_aguac.pdf

Sánchez Brito, Barrera Camacho. (2003). Programa estratégico de investigación y transferencia de tecnología en el estado de Michoacán fundación PRODUCE Michoacán, Morelia.

SIAP. (2012). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México. Agricultura. Aguacate. Consultado, 2012.

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=77:aguacate&catid=10:monografias&Itemid=43

SIAP. (2010). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo, Aguacate. Consultado, 2012.

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=35

Stary, H. C. (1990). "The sequence of cell and matrix changes in atherosclerotic lesions of coronary arteries in the first forty years of life." Eur Heart J 11 Suppl E: 3-19.

USDA. (2011). National Nutrient Database for Standard Reference; url: <http://www.nal.usda.gov/fnic/food comp/search/>; Octubre 2011.

Valenzuela B., Alfonso; Ronco M., Ana María. (2004). Fitoesteroles y fitoestanoles: aliados naturales para la protección de la salud cardiovascular. Rev. chil. nutr. [online]. vol.31, suppl.1 [citado 2012-04-23], pp. 161-169 .

Voet, Donald., Voet, Judith G., Pratt Charlotte W. (2007). Fundamentos de bioquímica: La vida a nivel molecular. 2ª Edición. Ed. Médica Panamericana.

Yaqoob P., Calder, P.C. (2003). Los sistemas inmune e inflamatorio, grasa dietética y función inmune. NUTRICION Y METABOLISMO. Editorial acribia. Editores: M. J. Gibney, I. A. Macdonald, H. M. Roche. Pags 334-338. 1a edición. España.

Yin, W., E. Carballo-Jane, et al. (2012). "Plasma lipid profiling across species for the identification of optimal animal models of human dyslipidemia." J Lipid Res 53(1): 51-65