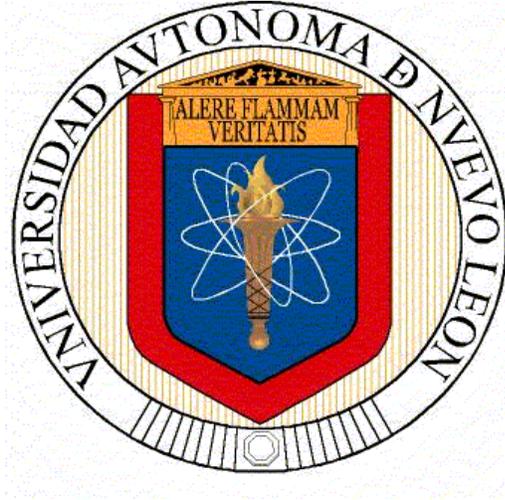


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**EFFECTO DE LA FORTIFICACIÓN DE GALLETAS DE AVENA CON
HARINA DE LENTEJA Y ACEITE DE LINAZA Y SU IMPACTO
EN LA VIDA DE ANAQUEL**

POR

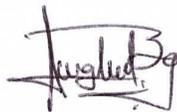
PATRICIA MARÍA MORONES RAMÍREZ

**Como requisito parcial para obtener el Grado de MAESTRÍA EN
CIENCIAS con Acentuación en Alimentos**

Agosto, 2012

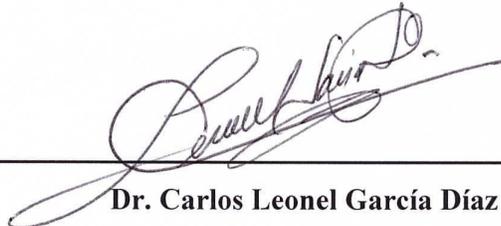
**EFFECTO DE LA FORTIFICACIÓN DE GALLETAS DE AVENA CON
HARINA DE LENTEJA Y ACEITE DE LINAZA Y SU IMPACTO
EN LA VIDA DE ANAQUEL**

Comité de Tesis



Dr. Juan Gabriel Báez González

Director de Tesis



Dr. Carlos Leonel García Díaz

Secretario



Dra. María Guadalupe de Jesús Alanís Guzmán

Vocal

**EFFECTO DE LA FORTIFICACIÓN DE GALLETAS DE AVENA CON
HARINA DE LENTEJA Y ACEITE DE LINAZA Y SU IMPACTO
EN LA VIDA DE ANAQUEL**

Comité Académico de Maestría

Subdirector de Estudio de Postgrado

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido terminar éste trabajo satisfactoriamente para lograr sentirme plena, por enviarme a este mundo y darme la oportunidad de desarrollarme como mujer en todos los ámbitos.

A mi papá, Dr. José Rubén Morones Ibarra, por compartir conmigo el secreto más grande del mundo para ser feliz, por ayudarme a levantarme cada vez que caía, por su gran ejemplo de esfuerzo y dedicación, pero principalmente por ser el mejor padre del mundo. Gracias papá, este trabajo va dedicado especialmente a ti... te quiero mucho.

A mi mamá, Sra. Lucina Patricia Ramírez Guirado, por su incondicional apoyo en todos los aspectos, por enseñarme con su ejemplo a ser una gran mujer, por guiarme por el arduo camino para lograr llegar a donde estoy, por ser mi mejor amiga, por confiar en mí y dedicarme tanto tiempo. Gracias mamá por ser la mejor del mundo, por dedicarte a nosotros al cien, por amarnos tanto y ser una mujer ejemplar. Te quiero mamá.

*A mi hermano, Dr. José Rubén Morones Ramírez, por ser un excelente hermano y un gran hombre, por enseñarme con su ejemplo, el camino para ser una persona de éxito.
Te quiero.*

A mi esposo, MC. Gerardo Macario Pantoja Zavala, por ser mi soporte, mi compañero de vida, mi mejor amigo y el amor de mi vida. Gracias por todo el apoyo que me das, por tu paciencia y tu amor. Te amo.

A mi hija, María Fernanda Pantoja Morones, por llegar a mi vida en el momento indicado, por hacerme feliz todos los días con sus ocurrencias y novedades, porque gracias a ella soy completa y por ser mi motivación para seguir adelante. Te amo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Asesor de mi tesis Dr. Juan Gabriel Báez González por su valioso apoyo para lograr que este trabajo concluyera, por su gentileza y paciencia, y por compartir conmigo sus conocimientos y lo más importante su tiempo; así mismo al Dr. Carlos Leonel García Díaz y a la Dra. María Guadalupe de Jesús Alanís Guzmán por formar parte de mi Comité de Tesis, por sus sugerencias y tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo.

Al personal del Laboratorio de Ciencias de los Alimentos por el apoyo y atención durante la realización de este trabajo.

A todos los que de una u otra manera colaboraron para que se llevara a cabo este trabajo.

Se agradece al CONACYT por el apoyo recibido a través del proyecto No. 157511 titulado “Estudio de propiedades térmicas y físicas de biopolímeros y su aplicación en la protección de polifenoles hidrosolubles en emulsiones dobles y microcápsulas estabilizadas con multicapas”

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Estructura química del ácido alfa linolénico y linoléico	12
2. Semilla de linaza y su aceite	26
3. Lenteja	30
4. Goma de mezquite	41
5. Prueba de aceptación aplicada a los jueces	56
6. Prueba de preferencia aplicada a los jueces	57
7. Prueba de nivel de agrado o Hedónica aplicada a los jueces	58
8. Microscopia electrónica de barrido de las microcápsulas de goma de mezquite	62
9. Galletas de avena caseras, comerciales y del estudio	63
10. Etiqueta nutrimental de galletas comerciales	65
11. Formación de hidroperóxidos a través del tiempo en las diferentes formulaciones de galletas almacenadas a 4° C	71
12. Formación de hidroperóxidos a través del tiempo en las diferentes formulaciones de galletas almacenadas a 25° C	72
13. Formación de hidroperóxidos a través del tiempo en las diferentes formulaciones de galletas almacenadas a 35° C	73

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I.	Ingesta diaria recomendada de macronutrientes	15
II.	Ejemplos de alimentos fortificados para promover la salud de los “Baby Boomers”	21
III.	Descripción taxonómica de la linaza	26
IV.	Composición típica de tres aceites de semillas	27
V.	Composición de los ácidos grasos en el aceite de linaza de diferentes países	27
VI.	Descripción taxonómica de la lenteja	29
VII.	Formulación de galletas	54
VIII.	Claves asignadas a cada una de las formulaciones de galletas	55
IX.	Composición proximal de las formulaciones de galletas	63
X.	Porcentaje de IDR por porción y por cada 100 g de galleta	64
XI.	Resultados en porcentaje de la prueba de aceptación	66
XII.	Resultados de la prueba de aceptación	67
XIII.	Resultados prueba de preferencia	68
XIV.	Resultados de la prueba Hedónica	69
XV.	Parámetros cinéticos de la formación de hidroperóxidos en las diferentes formulaciones de galletas, cinética de orden cero	76
XVI.	Parámetros del modelo Arrhenius y energía de activación	78
XVII.	Predicción de la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 4° C	80
XVIII.	Predicción de la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 25° C	81
XIX.	Predicción de la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 35° C	82
XX.	Información nutricional, sensorial y vida de anaquel de las formulaciones de galletas	83

TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
1. RESUMEN	1
ABSTRACT	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. ANTECEDENTES	5
3.1. Nutrición	5
3.1.1. Nutrientes	7
3.1.1.1. Carbohidratos.....	9
3.1.1.2. Proteínas	10
3.1.1.3. Lípidos	10
3.1.1.3.1. Ácidos Grasos Poliinsaturados	11
3.1.1.4. Micronutrientes (Vitaminas y Minerales)	12
3.1.1.5. Agua.....	13
3.1.2. Requerimientos y Recomendaciones Nutrimientales	13
3.1.2.1. Ingesta Diaria Recomendada	15
3.2. Alimentos Funcionales	16
3.2.1. Las Galletas como Alimento Funcional	22
3.2.2. Fortificación con Ácidos Grasos Poliinsaturados.....	22
3.3. Linaza	25
3.4. Lenteja	28

3.5. Oxidación de Lípidos	32
3.6. Emulsiones	34
3.6.1. Definiciones de Emulsiones	35
3.6.2. Oxidación de Lípidos en Emulsiones	37
3.7. Microcápsulas	37
3.7.1. Funciones de las Microcápsulas	39
3.7.2. Desventajas o Deficiencias y Limitantes del uso de las Microcápsulas	40
3.8. Goma de Mezquite	40
3.9. Secado por Aspersión	42
3.10. Vida de Anaquel	43
3.10.1. Determinación de la Vida de Anaquel: Pruebas Aceleradas	44
3.10.1.1. Cuantificación del Efecto de la Temperatura sobre los Alimentos	45
4. HIPÓTESIS	48
5. OBJETIVOS	49
5.1. Objetivo General	49
5.2. Objetivos Particulares	49
6. MÉTODOS	50
6.1. Preparación de las Emulsiones	50
6.2. Preparación de las Microcápsulas de Aceite de Linaza	51
3.6.2.1. Caracterización de las Microcápsulas	52

6.3. Inclusión de las Microcápsulas de Aceite de Linaza en la Elaboración de las Galletas	53
6.3.1. Composición Proximal	53
6.4. Evaluación Sensorial de las Galletas	55
6.5. Determinación de la Vida de Anaquel	59
6.5.1. Método de Hidroperóxidos.....	59
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
7.1. Caracterización de las Microcápsulas	61
7.2. Composición Proximal	62
7.3. Evaluación Sensorial	66
7.3.1. Prueba de Aceptación	66
7.3.2. Prueba de Preferencia	67
7.3.3. Prueba de Nivel de Agrado ó Hedónica (“Hedonic Test”)	68
7.4. Cinéticas de Oxidación	70
7.5. Vida de Anaquel	74
8. CONCLUSIONES	84
LITERATURA CITADA.....	85

1. RESUMEN

El presente trabajo tuvo dos enfoques, el primero orientado al aspecto nutricional y el segundo hacia la tecnología de alimentos. El objetivo nutricional fue la elaboración de un alimento funcional, que es un alimento que además de ser inocuo y nutritivo posee uno o más ingredientes que aportan un beneficio adicional a la salud, para lograrlo se modificó una receta de galletas de avena casera. Se elaboraron cinco formulaciones de galletas, la F1 era la receta casera, F2 contenía 50 g de aceite de linaza *per se*, F3 50 g de aceite de linaza microencapsulado, F4 50 g de aceite de linaza *per se*, pero además se realizó una sustitución de 40% de harina de trigo por harina de lenteja, la F5 contiene 50 g de aceite de linaza microencapsulado más la sustitución de 40% de harina de trigo por harina de lenteja. La finalidad de adicionar el aceite de linaza fue para agregar ácidos grasos poliinsaturados (principalmente ácido alfa linolénico) a las galletas y la harina de lenteja para incrementar el contenido en proteína, además de retardar la oxidación por el contenido en polifenoles (de la lenteja). Lo anterior conduce al segundo enfoque, tecnología de los alimentos pues se modificaron las formulaciones de galleta con la finalidad de proteger al aceite de linaza que se adicionó. Al realizar el análisis proximal se observó un incremento en el contenido de proteína de 7.29 ± 0.07 de la F1 a 10.26 ± 0.03 de la F5, lo cual representa un 40.74% de aumento; en cuanto al contenido de ácido alfa linolénico, la F5 teóricamente contiene 1.03% a diferencia de un 0% de la F1, lo anterior representa un 38.75% por porción de la IDR para éste ácido graso esencial. Una vez analizado el aspecto nutrimental se estudió lo sensorial y se obtuvo que el orden de preferencia de menor a mayor fue F2, F1, F5, F4 y F3. Aunque la F5 que es la mejor nutricionalmente, no fue la más aceptada, tuvo una preferencia sobre la F1, y se puede aumentar el nivel de aceptación mediante la adición de saborizantes. Por el aspecto de la tecnología de alimentos, por la presencia de polifenoles (lentejas) y el aceite microencapsulado, la F5 tiene una vida de anaquel de entre 50 y 90 días, comparada con la F1 35 – 70 días.

ABSTRACT

The aim of this work had two approaches, the first one oriented to the nutritional aspect and the second one to food technology. The nutritional purpose was to develop a functional food, which is defined as a food that is harmless and nutritious, but also provides an extra benefit because of the presence of one or more ingredients that gives an extra value to our health; to achieve this, a home recipe of oat cookies was modified. Five formulations were made, F1 is the home recipe, F2 contains 50 g of flaxseed oil *per se*, F3 50 g of flaxseed oil microencapsulated, F4 50 g of flaxseed oil *per se* and a 40% substitution of wheat flour by lentil flour, F5 contains 50 g microencapsulated flaxseed oil and 40% substitution of wheat flour by lentil flour. The purpose of adding flaxseed oil was the presence of the polyunsaturated fatty acids (primarily alfa linolenic acid) in the cookies and the lentil flour to increase the protein content, and to retard the lipid oxidation because of the presence of polyphenols (lentils). This brings to the second approach, food technology, the formulation were modified with the purpose of protecting the added flaxseed oil. After the bromatological analysis an increase in the content of protein was observed, from 7.29 ± 0.07 (F1) to 10.26 ± 0.03 (F5), that represents a 40.74% increase; in alfa linolenic acid F5 contains theoretically 1.03% , compared to 0% in F1; F5 represents a 38.75% of the daily recommended intake for thie esencial fatty acid. Once the nutritional aspect was analyzed, a sensorial study was done and the results were: the order of preference from worst to best F2, F1, F5, F4 y F3. Even though F5 is nutritionally the best, it was not the most preferred, although it was selected as better than F1, but the sensorial aspect can be increased by adding flavors. In the matters of food technology, because of the presence of polyphenols (lentils) and the microencapsulated oil, F5 has the longest shelf life (50 – 90 days) compared to F1 (35 – 70 days).

2. INTRODUCCIÓN

Dentro de las preocupaciones del ser humano hoy en día se encuentran las de mantener una buena salud para lograr una vida más prolongada y de mejor calidad. Por lo tanto, mientras que el conocimiento del valor nutritivo de los alimentos fue el logro del siglo XX (Lowenberg *et al.*, 1985), actualmente ante la amplia gama de productos alimenticios a la que estamos expuestos es importante saber elegir no solo el de mejor calidad, sino el de mayor aporte nutricional (Francis, 2007). En este siglo, el área con mayor auge para la nutrición son los llamados alimentos funcionales, que se definen como productos alimenticios que además de ser inocuo y poseer los nutrientes básicos contiene uno o más ingredientes adicionales que aportan un beneficio para la salud (Castelli, 2007).

La linaza (*Linum usitatissimum*) es una oleaginosa que contiene de 38 – 45% de aceite, de los cuáles el ácido alfa linolénico (aceite esencial) representa el 52% de estos (Báez, 2008). De igual manera es la fuente más rica en lignanos, que son fitoestrógenos y sirven como precursores de lignanos de mamíferos. Por esas dos características, se propone la linaza como fuente de ácidos grasos para la fortificación de las galletas.

En este trabajo se elaboró una nueva opción para la fortificación de un alimento con ácidos grasos poliinsaturados mediante la inclusión de microcápsulas de aceite de linaza en la formulación de galletas de avena sustituidas con harina de lenteja. La microencapsulación cambia el estado líquido del aceite en estado sólido de las microcápsulas, por lo que su empleo como aditivo alimentario es más fácil y tiene como finalidad de proteger al aceite de linaza de los posibles factores que lo puedan deteriorar la fase activa, como el oxígeno, temperatura, iones metálicos y luz (Anandaraman y Reineccius, 1986; Kagami *et al.*, 2003; Matsuno y Adachi, 1993; Shahidi y Han, 1993; Dziezak, 1988). Se utilizó harina de lenteja por su alto contenido proteico y el contenido de polifenoles que ayudaron a prolongar la vida de anaquel de producto debido a su actividad antioxidante (Scalbert *et al.*, 2005).

3. ANTECEDENTES

3.1. Nutrición

Los seres humanos son los únicos del reino animal que cosechan, almacenan y procesan los alimentos que han cultivado. Casi todos los animales cazan sus alimentos y muchos los almacenan para su consumo posterior, pero ninguno, salvo el ser humano, los cultiva y los procesa. En su evolución, el hombre aprendió a cultivar los alimentos para su subsistencia y posteriormente desarrollaron métodos para preservarlos o para aumentar las características deseables, mejorando así, o incluso disminuyendo su valor nutricional (Latham, 2002).

Nuestra sociedad contemporánea se caracteriza por un gran interés en la alimentación, este interés radica en dos áreas del conocimiento, el de la nutrición y el de

la tecnología de alimentos. Estos a su vez se dividen en dos preocupaciones importantes para cualquier país: la salud de su población y la economía (Contreras, 2002).

La nutrición se define como la ciencia que se encarga del estudio de los alimentos y como éstos actúan en nuestro cuerpo, influyendo en nuestra salud. Se encarga también de hacer recomendaciones acerca de las cantidades de los diferentes tipos de alimentos que debemos consumir diariamente para mantener una óptima salud (Thompson *et al.*, 2008). El *Council on Food and Nutrition of the American Medical Association* define nutrición como “la ciencia de los alimentos, los nutrimentos y las sustancias que contienen su acción, interacción y equilibrio en relación con la salud y la enfermedad, y el proceso por el cual el organismo ingiere, digiere, absorbe, transporta, utiliza y excreta sustancias alimenticias” (Wardlaw *et al.*, 2004). Es el conjunto de fenómenos involucrados en la obtención, por el organismo, y en la asimilación y utilización metabólica, por las células, de la energía y de las sustancias estructurales y catalíticas necesarias para la vida (Badui, 1993).

El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos fue el logro del siglo XX (Lowenberg *et al.*, 1985); hoy en día conocemos a profundidad los nutrientes de cada uno de los alimentos y podemos crear dietas balanceadas que satisfagan las necesidades de cada individuo (Wardlaw *et al.*, 2004). Desde la prehistoria, el aspecto más importante para el ser humano ha sido la de la supervivencia, donde juega un papel esencial la alimentación. Podemos observar a través de la historia que la edad promedio de vida se ha incrementado considerablemente, lo cual se debe en gran parte a que poco

a poco el hombre ha aprendido más sobre él, por lo que ha adaptado sus costumbres de manera que sean benéficas para su salud y poder así prolongar su vida así como la calidad de la misma (Lowenberg *et al.*, 1985). Es ampliamente aceptado que una dieta adecuada puede cambiar significativamente la salud y la calidad de vida (Simopoulos, 1997). A mediados del siglo XIX la nutrición empezó a tomar forma como disciplina científica al identificar los tres grupos de macronutrientes: carbohidratos, proteínas y lípidos y algunos micronutrientes. Estudios tempranos en el campo de la nutrición lograron combatir enfermedades carenciales así como identificar a los alimentos que podían evitarlas (Thompson *et al.*, 2008). A finales del siglo XX la nutrición como ciencia dejó a un lado sus investigaciones sobre enfermedades carenciales para atacar un nuevo reto en la salud: las enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer; con lo anterior se comprueba la estrecha relación entre la nutrición y la salud (Thompson *et al.*, 2008).

3.1.1. Nutrientes

Los nutrientes son las sustancias químicas que el cuerpo utiliza para obtener energía y ayudar en el crecimiento, mantenimiento y reparación de los tejidos; estos se encuentran en los alimentos. Los nutrientes esenciales son los nutrientes que se deben de obtener de la comida ya que el cuerpo no puede producir los suficientes para cumplir con sus necesidades y a falta de ellos nuestro cuerpo deja de funcionar de manera óptima. Son

importantes ya que se les asocia con funciones biológicas importantes para el adecuado estado de salud (Thompson *et al.*, 2008).

Para que un nutriente sea considerado como esencial debe de cumplir con tres características: 1) al presentarse una ausencia del nutriente en la dieta, se muestra una disminución en la calidad de la salud; 2) al incorporar de nuevo al nutriente en nuestra dieta, se muestra una mejora en el funcionamiento del cuerpo, siempre y cuando la ausencia no haya sido por un tiempo prolongado suficiente para causar daños irreversibles a la salud; y 3) se le asocia con una función biológica específica (Wardlaw *et al.*, 2004). Los nutrientes esenciales se clasifican en seis grupos:

- 1) Carbohidratos
- 2) Proteínas
- 3) Lípidos
- 4) Vitaminas
- 5) Minerales
- 6) Agua

Todos están presentes en las comidas de las personas saludables, la falta de la cantidad mínima necesaria lleva a un estado de malnutrición (Fox y Cameron, 2004). Los carbohidratos, las proteínas y los lípidos son los encargados de proporcionar energía y se denominan macronutrientes debido a que se consumen en grandes cantidades para satisfacer las demandas de energía del cuerpo (Thompson *et al.*, 2008). También se considera como macronutriente al agua (Wardlaw *et al.*, 2004). Las vitaminas y

minerales se conocen como micronutrientes ya que se necesitan cantidades relativamente pequeñas para cumplir con las funciones que desempeñan en el cuerpo para mantener una buena salud (Thompson *et al.*, 2008). Las proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y el agua promueven el crecimiento y el desarrollo del cuerpo, también regulan procesos del cuerpo (Wardlaw *et al.*, 2004).

3.1.1.1. Carbohidratos

Los carbohidratos o hidratos de carbono “son compuestos con estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona;” son la fuente más abundante y barata de alimentos en la naturaleza lo cual los convierte en los nutrientes más consumidos, constituyendo del 50 al 80% de la dieta del pueblo en la mayoría de los países (Badui, 1993). Están compuestos principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno y proporcionan una fuente grande de combustible para el cuerpo, en promedio de 4 kcal / gramo. Son importantes en la dieta principalmente para obtener energía necesaria para las células del cuerpo. Cuando no se consumen suficientes carbohidratos para cumplir con las necesidades de energía, el cuerpo se ve forzado a obtenerla a partir de las proteínas. Se encuentran en una amplia variedad de alimentos, principalmente en los cereales: arroz, trigo, avena, entre otros; las frutas y verduras; legumbres como lentejas, judías, garbanzo y frijol; semillas, nueces, leche y otros productos lácteos (Wardlaw *et al.*, 2004).

3.1.1.2. Proteínas

Las proteínas son los nutrimentos que debido a su escasez e importancia en el funcionamiento del cuerpo son los macronutrientes más cuidados por los tecnólogos de alimentos; de hecho su nombre deriva del griego que significa “ser primero” lo cual demuestra implícitamente su importancia en la dieta. Están formadas además de carbono, hidrógeno y oxígeno, como los carbohidratos y lípidos, por un elemento químico más: el nitrógeno, cuya aparición le da su función biológica: regeneración y formación de tejidos, síntesis de enzimas, anticuerpos y hormonas, constituyente de la sangre, entre otras funciones (Badui, 1993). Son el principal material estructural del cuerpo y además aportan en promedio 4 kcal / g; sin embargo el aporte calórico no es su principal función en el organismo (Wardlaw *et al.*, 2004). Desempeñan un papel fundamental en la construcción de nuevas células y tejidos, reparan las estructuras dañadas y ayudan a regular el equilibrio entre metabolismo y fluidos. Se encuentran en muchos alimentos, dentro de los cuales podemos destacar: carne y productos lácteos, semillas, nueces y legumbre; y en menor cantidad de las verduras y cereales integrales (Thompson *et al.*, 2008).

3.1.1.3. Lípidos

Los lípidos son un grupo de compuestos generalmente constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno, que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, conteniendo además en ocasiones nitrógeno y fósforo (Badui, 1993). Debido a su composición química proporcionan más energía que los demás nutrientes, en promedio 9

kcal / g; comparado con la aportación de 4 kcal / g que aportan los carbohidratos y las proteínas (Wardlaw *et al.*, 2004). Se encuentran en varias formas en los alimentos, grasas sólidas como las margarinas, mantequillas y mantecas; las líquidas, comúnmente denominadas aceites, incluyen los aceites vegetales como los de oliva y girasol, entre otros (Thompson *et al.*, 2008). Las funciones principales de los lípidos son como fuente energética importante, cumplen actividades biológicas importantes como parte estructural de membranas celulares y de los sistemas de transporte de diversos nutrimentos, otros son vitaminas, hormonas o pigmentos; también actúan como aislantes naturales en el cuerpo humano o animal, debido a su pobre conducción del calor, ayudan a mantener estable la temperatura del organismo (Badui, 1993).

3.1.1.3.1. Ácidos Grasos Poliinsaturados. Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés), cumplen funciones fisiológicas importantes; los ácidos grasos esenciales no pueden sintetizarse en el cuerpo y es necesario consumirlos en la dieta. Hoy en día es conocido que el ácido alfa-linolénico (AAL) es esencial para un crecimiento y desarrollo normal, además juega un papel importante para la prevención y tratamiento de enfermedades coronarias, hipertensión, diabetes, artritis y desórdenes inflamatorios, participa en el transporte de oxígeno en la sangre, regula el índice de coagulación, dispersa el colesterol depositado en las venas e induce una actividad hormonal normal (Braverman, 1980; Hearn *et al.*, 1987; Simopoulos, 2000).

El compuesto más importante de la familia omega 3 (n-3) es el ácido alfa-linolénico (ácido *cis*-9,12,15-octadecatrienoico) ver figura 1, este compuesto es sintetizado sólo por algunas plantas, algas y el fitoplancton; algunos aceites de semillas contienen el AAL como son la linaza, canola, soya, entre otros (Gunstone y Padley, 1997).

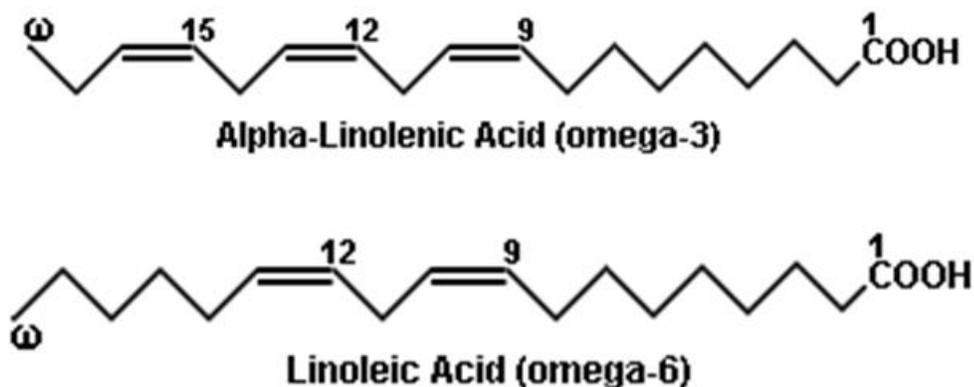


Figura 1. Estructura química del ácido alfa linolénico y linoléico

3.1.1.4. Micronutrientes (Vitaminas y Minerales)

Las vitaminas son compuestos orgánicos que contribuyen a la regulación de los procesos fisiológicos del cuerpo; a pesar de que no aportan energía, desempeñan un papel fundamental en la liberación y aprovechamiento de la energía obtenida de los macronutrientes (Thompson *et al.*, 2008). Son 13 las vitaminas conocidas y se dividen en dos grupos, nueve son las hidrosolubles (solubles en agua) tiamina, riboflavina, ácido nicotínico, ácido pantoténico, piridoxina, biotina, ácido fólico, vitamina B 12 y ácido ascórbico (vitamina C) (Badui, 1993); y cuatro liposolubles (no solubles en agua) A, D,

E y K (Wardlaw *et al.*, 2004). Las principales fuentes son los cereales, oleaginosas, carne, lácteos, frutas y verduras (Badui, 1993).

Los minerales son los únicos nutrimentos que son inorgánicos y son grupos de uno o más de los mismos átomos (Wardlaw *et al.*, 2004), al ser inorgánicos, no contienen carbono y dentro de los más importantes se encuentran: sodio, potasio, hierro, magnesio, calcio y cinc; sus funciones principales son en la regulación de fluidos y la producción de energía; son esenciales para la salud de los huesos y la sangre y promueven la eliminación de sustancias dañinas al cuerpo (Wardlaw *et al.*, 2004).

3.1.1.5. Agua

El agua es considerada como macronutriente ya que, aunque no aporta energía, es el nutriente que se necesita en mayor cantidad ya que cumple con múltiples funciones vitales en el cuerpo. Actúa como disolvente y lubricante en el transporte de los nutrimentos y desechos; además ayuda a regular la temperatura y los procesos químicos (Wardlaw *et al.*, 2004).

3.1.2. Requerimientos y Recomendaciones Nutrimientales

Hoy en día se sabe que la nutrición es importante ya que una dieta balanceada nos ayuda a tener una buena salud, prevenir enfermedades, así como tener mayor energía y

vitalidad al mantener un peso adecuado, mejorando así nuestra calidad de vida (Thompson *et al.*, 2008). El requerimiento o “necesidad” de un nutrimento es la cantidad que se debe de consumir para un óptimo estado de nutrición. Los requerimientos de cada nutrimento son diferentes y varía de individuo a individuo, dependiendo de diversas características como edad, sexo, complexión, actividad física habitual, entre otras. Las recomendaciones nutrimentales son el resultado de un largo estudio realizado por especialistas en los cuales se llega a un consenso de la cantidad de cada nutrimento que los individuos de cada población deben de consumir. Lo anterior es importante debido a que existen diferencias entre las costumbres de cada nación y las recomendaciones varían de acuerdo a factores propios de cada población humana, tomando en cuenta las características de la población, el clima, la forma de alimentarse y hasta los problemas de alimentación y de salud por los que pasa cada nación (Badui, 1993).

Por lo general las recomendaciones y los requerimientos de cada alimento son bastante aproximadas, con la ligera variación de que una recomendación “sugiere” un poco más de cada nutrimento para asegurar un estado óptimo de salud. Existen recomendaciones emitidas por organismos internacionales, que indican las cantidades que se deben de consumir de cada nutriente de acuerdo a ciertas características del individuo como: sexo, edad, condición física, entre otras; que aseguran un óptimo estado de salud. Lo anterior ayuda para una buena decisión a la hora de elegir un alimento entre una amplia gama de opciones que se nos presenta en el mercado (ific.org).

3.1.2.1. Ingesta Diaria Recomendada

La Ingesta Diaria Recomendada (IDR) se refiere a la ingesta diaria promedio que cumple con los requerimientos nutricionales de casi todas las personas saludables en una categoría específica de edad y género. Anteriormente la IDR de los nutrientes se basaba en recomendar las cantidades de nutrientes suficiente para evitar trastornos causados por deficiencias; sin embargo hoy en día se tiene además de lo anterior, los objetivos de prevenir enfermedades crónicas como osteoporosis y enfermedades del corazón cuando aplique (Mahan y Stump, 1998). Ver tabla I.

Tabla I. Ingesta diaria recomendada de macronutrientes

NUTRIMENTO	IDR
Carbohidrato	225 g
Proteína	0.75 g / kg de peso
Lípidos	0.8 – 1.1g de alfa linolénico
Fibra dietética	25 g

Fuente: Mahan y Stump, 1998

3.2. Alimentos Funcionales

En los últimos años se ha incrementado el mercado de alimentos funcionales y se pronostica un mayor aumento en el desarrollo de éstos alimentos. Esto corresponde a una enorme demanda de productos de buen sabor y fáciles de usar, con una larga vida de anaquel y que se ajuste a las recomendaciones nutricionales, como son: una disminución en el contenido total de grasas saturadas y una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de la familia omega 3 y 6. Estos requerimientos tienen el problema de la oxidación en los lípidos y enfatiza la necesidad de soluciones efectivas, asegurando la vida de anaquel y la calidad sensorial de nuevos productos (Báez, 2008).

Un alimento funcional es aquel que además de ser inocuo y nutritivo posee uno o más ingredientes que aportan un beneficio adicional a la salud. “Durante los últimos años, la industria alimentaria ha sufrido un giro radical con relación a la manera de alimentarse de los consumidores. Debido al nuevo concepto que está adoptando la población de elegir los alimentos por sus propiedades nutritivas y por los beneficios que aportan a la salud, se han desarrollado numerosos productos funcionales” (Castelli, 2007).

Evidencia clínica y epidemiológica indica que una dieta basada en alimentos de plantas reduce el riesgo de adquirir enfermedades crónicas, especialmente el cáncer. Estos alimentos contienen químicos biológicamente activos (fitoquímicos) que mejoran la calidad de vida y se han identificado hasta ahora once:

- 1) Avena: reduce el riesgo de enfermedades coronarias del corazón al disminuir el colesterol en la sangre.
- 2) Soya: contiene proteína de alta calidad y se ha demostrado que previene enfermedades cardiovasculares, cáncer y osteoporosis, así como previene síntomas menstruales.
- 3) Linaza: su aceite es rico en ácido alfa-linolénico (omega 3); lignanos que previenen el cáncer y se ha observado que su consumo reduce el colesterol.
- 4) Tomate: es rico en licopeno que ayuda a prevenir los cánceres de próstata, ovarios, páncreas y gástrico.
- 5) Ajo: es empleado como remedio medicinal y es bien conocido por su propiedad de disminuir el colesterol, así como otros beneficios a la salud, es antibiótico, antihipertensivo y ha demostrado propiedades preventivas contra el desarrollo de cáncer.
- 6) Crucíferas (brócoli): su consumo disminuye el riesgo de cáncer.
- 7) Frutas cítricas: su consumo protege contra diferentes tipos de cáncer humano, especialmente de estómago.
- 8) Arándano: es rica en ácido benzoico, que acidifica la orina, por lo que se ha empleado por décadas para tratar enfermedades urinarias.
- 9) Té: contiene polifenoles que previenen enfermedades cardiovasculares.
- 10) Uvas y vino: por su alto contenido en polifenoles disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares, disminuye los niveles de colesterol y se ha observado que el consumo de vino tinto ayuda a prevenir la degeneración macular.

- 11) Frijoles: son ricos en antioxidantes y polifenoles, que reducen la inflamación en el cuerpo y por lo tanto el riesgo de enfermedades crónicas.

Por otro lado existen alimentos funcionales de fuentes animales y estas son dos:

- 1) Pescado: es rico en ácidos grasos omega – 3, los cuales reducen los niveles de triglicéridos.
- 2) Productos lácteos: para mantener una óptima salud intestinal, los alimentos lácteos fermentados por sus probióticos nos ayudan a lograrlo (Berner, 2011).

Para poder decir que un alimento es funcional se deben de identificar y analizar las interacciones específicas entre sus componentes alimentarios, así como una función biológica beneficiosa a la salud debida a su consumo. De igual forma se deben indicar las dosis requeridas para que el alimento manifieste una mejora a la salud.

Los alimentos funcionales se pueden clasificar en cinco grupos:

1. Probióticos, prebióticos y simbióticos
2. Alimentos enriquecidos con fibra
3. Alimentos modificados en grasas
4. Alimentos ricos en fitoestrógenos
5. Alimentos ricos en compuestos fenólicos

Las propiedades de los alimentos funcionales son seis:

1. Función digestiva

2. Función antioxidante
3. Metabolismo intermediario
4. Función en el sistema cardiovascular
5. Función en el crecimiento, desarrollo y diferenciación
6. Función cognitiva (Vázquez *et al.*, 2005)

La calidad nutritiva de un alimento está determinada por sus nutrientes; por lo que aquellos alimentos que contienen cantidades significativas de un número considerable de nutrientes o de alguno que no sea común en la dieta diaria se considera de alta calidad, mientras que los que son pobres en nutrientes y su función principal es el aporte calórico se consideran de baja calidad.

La adición de nutrimentos a los alimentos es complejo y deben de tenerse en cuenta varios aspectos como: las necesidades del consumidor y el tipo de alimento base que se modificará. Dicha adición se realiza por diferentes razones, y se pueden clasificar en cuatro:

- 1) Reconstitución: se realiza para lograr el contenido original de nutrientes en un alimento antes de haber sufrido pérdidas durante el procesamiento.
- 2) Estandarización: para asegurar la cantidad de nutrientes debido a variaciones propias de cada alimento.
- 3) Enriquecimiento: incremento en la cantidad de nutrientes que normalmente están presentes en los alimentos.

- 4) Fortificación: adición de nutrientes que no se encuentran en el alimento para darle un valor agregado. Los nutrientes que normalmente se manejan son las vitaminas, minerales y aminoácidos (Badui, 1993).

En los últimos años, se ha presentado un aumento en el mercado de los alimentos formulados y un desarrollo esperado de los alimentos funcionales. Este incremento debido a la enorme demanda de productos sensorialmente aceptables y fáciles de consumir, así como que cumpla con las recomendaciones nutricionales y de vida anaquel larga (Genot *et al.*, 2003).

Por otro lado, los ingredientes funcionales son un grupo diverso de compuestos que pretenden producir un efecto positivo en la salud del consumidor. El término “funcional” no es intencional para diferenciar estos ingredientes de otros consumidos históricamente como parte de provisión de alimento. En las años 60 's, ante el crecimiento de la población, la pobreza, los conflictos sociales, entre otros problemas; se desarrollaron productos alimenticios fortificados para combatir la desnutrición en la parte de la población más vulnerables: los niños (Pérez y Klein, 2009; Butt *et al.*, 2007; Hussain *et al.*, 2012).

En los últimos años la generación de los llamados “Baby Boomers” (nacidos entre 1946 y 1964) han mostrado un gran interés por los alimentos funcionales; para evitar el envejecimiento buscan alimentos fortificados que ayuden a mantener su salud

(Chaudhari, 2008). La tabla II muestra algunos alimentos fortificados utilizados para promover la salud.

Tabla II. Ejemplos de alimentos fortificados para promover la salud de los “Baby Boomers”

Producto	Ingrediente Funcional	Enfermedad que Previene
Margarina	Estanol para bloquear la absorción de colesterol	Enfermedades del corazón
Bebida de soya	Vitamina D, Calcio, Magnesio, Isoflavones	Osteoporosis
Barra para desayuno	Alta proteína, menos azúcar, fibra soluble	Diabetes
Bebida a base de vegetales	Licopeno y fitonutrientes	Cáncer
Menor contenido de grasa en los helados y cereales listos para ingerir	Glucosalina $\omega - 3$	Osteoartritis Artritis reumatoide
Bebida de fruta tropical	Luteína, zinc y vitamina C	Degeneración macular y cataratas

Fuente: Chaudhari, 2008

3.2.1. Las Galletas como Alimento Funcional

El término galleta proviene del francés “galette” y hace referencia a un pastel horneado, hecho con una pasta a base de harina, mantequilla, azúcar y huevos. Su fabricación ha sido discutida por Wade (1965), Wade y Watkin (1966) y Stafford (1968). Los ingredientes básicos comunes para su elaboración son la harina, grasa, azúcar y jarabes, agentes aereadores (polvos para hornear) y leche o agua; todos los anteriores, gracias a sus propiedades funcionales permiten elaborar al producto terminado que se puede definir como galleta (Kirk *et al.*, 2004). El concepto galleta hace referencia a pequeños pastelitos elaborados a partir de una harina insuficientemente viscosa como para permitir a los pedazos de harina hornearse en una superficie plana (Plyer, 1988).

3.2.2. Fortificación con Ácidos Grasos Poliinsaturados

Las grasas y los aceites han sido siempre parte integral de la dieta humana, su principal importancia es como componente calórico, conteniendo 9 kilo calorías por gramo comparado con una aportación de 4 kilo calorías por gramo aportadas por proteína o carbohidrato (Fox y Cameron, 2004). Uno de los tipos de alimentos que se han buscado producir es con menor contenido en grasas saturadas y mayor contenido en

ácidos grasos poliinsaturados del tipo omega 3 y omega 6. Estos requerimientos contradictorios de aumentar el contenido en ácidos grasos insaturados prolongando la vida de anaquel avivan el problema de la oxidación de los lípidos y enfatizan la necesidad de soluciones efectivas que aseguren tanto la vida de anaquel como la calidad sensorial de manera adecuada (Genot *et al.*, 2003). La ingesta de ácidos grasos n-3 proporciona beneficios para la salud en la prevención de cáncer, enfermedades del corazón, hipertensión y desórdenes autoinmunes (Connor, 2000; Hung y col., 2000; Aronson y col., 2001; Harel y col., 2002; Villa y col., 2002; Harper y col., 2006).

Son fuentes de ácido linoleico las semillas de vegetales y los aceites que ellas producen. Los aceites que no son de semillas como el aceite de coco, de palmera y de mantequilla de cocoa son fuentes escasas de ácido linoleico (Badui, 1993). Hay dos familias principales de ácidos grasos poliinsaturados – omega 3 – y – omega 6-. Estas familias de ácidos grasos no son intercambiables y tienen papeles bioquímicos muy diferentes. Se han investigado la función de estos en muchas enfermedades. Han demostrado alguna eficacia en la esclerosis múltiple, en otras enfermedades inflamatorias (artritis reumatoide y dermatitis atópica) y en la prevención de la aterosclerosis (Budwig, 1994).

El ácido linoléico (omega 6) y alfa-linolénico (omega 3) son los dos ácidos grasos esenciales de la dieta debido a que ellos previenen los síntomas de deficiencia y no pueden ser sintetizados por los humanos. Estos dos ácidos grasos son los compuestos de origen para otros ácidos grasos biológicamente activos.

Desde el punto de vista nutricional los tres ácidos grasos poliinsaturados omega 3 más importantes son el ácido alfa-linolénico (C18:3) y sus derivados, el ácido eicosapentanoico (C20:5) y el ácido docosahexaenoico (C22:6) (Jacobsen, 2010).

En Estados Unidos la principal fuente alimentaria de ácido alfa linolénico son los aceites para ensaladas / cocinar y margarinas y el material graso hecho a partir de la canola y el aceite de soya. Los aceites de pez y de mariscos son ricos en ácido eicosapentanoico y docosahexaenoico. El pez es capaz de convertir el ácido alfa linolénico en ácido eicosapentanoico y docosahexaenoico por elongación y desaturación. Se presenta un proceso similar en los humanos. Además del metabolismo eicosanoide, los ácidos grasos omega 3 afectan en el metabolismo de las lipoproteínas. Los efectos potenciales de dosis altas de ácidos grasos omega 3 incluyen aumento en el tiempo de sangrado, infecciones, diabetes y peroxidación de lípidos (Mahan y Stump, 1998).

Los ácidos grasos poliinsaturados cumplen funciones fisiológicas importantes. Hoy en día es conocido que al ácido alfa linolénico es esencial para un crecimiento y desarrollo normal, además juega un papel importante para la prevención y tratamiento de enfermedades coronarias, hipertensión, diabetes, artritis y desórdenes inflamatorios, participa en el transporte de oxígeno en la sangre, regula el índice de coagulación, dispersa el colesterol depositado en las venas e induce una actividad hormonal normal. La recomendación de ingesta es de 0.8 g/ día (Mahan y Stump, 1998).

Una excelente forma de incrementar el consumo de poliinsaturados omega – 3 en la dieta de las personas, sin necesidad de modificar los hábitos alimenticios, es mediante el enriquecimiento de los productos comúnmente consumidos por la población (Yalcýn *et al.*, 2007). Recientes avances en el área de productos lácteos funcionales han demostrado una amplia variedad de productos enriquecidos con lípidos de los conocidos por sus efectos benéficos a la salud; los ácidos grasos omega 3 de cadena larga poliinsaturados (García y Márquez, 2009).

3.3.Linaza

La linaza (*Linum usitatissimum*) es una planta antigua que se ha empleado para fibra y alimento. Es una semilla aceitosa (ver figura 2) que contiene entre el 38 – 45% de aceite, de los cuales el ácido alfa linolénico está contenido en el aceite con cerca de 52%; además contiene el 20% de proteína y el 28% de fibra dietética (Hall III *et al.*, 2005; Clifford *et al.*, 2006). Canadá produce cerca del 40% de la semilla de linaza en el mundo y es el mayor exportador de esta semilla en el comercio global de linaza (Oomah, 2001). La semilla de linaza tiene un alto contenido de AAL, generalmente constituye entre el 50-62% del total de los ácidos grasos (Clifford *et al.*, 2006; Oomah, 2001; Harper *et al.*, 2006). Las propiedades del aceite de linaza dependen de su composición química. La mayor parte de los constituyentes del aceite son triacilglicéridos, triésteres

de glicerol (1,2,3-propanotriol) con mezclas de ácidos grasos (Holčapek, 2003). La descripción taxonómica se encuentra en la tabla III.

Tabla III. Descripción taxonómica de la linaza

Nombre	Lino
Nombre científico	<i>Linum usitatissimum</i>
Variedad/ familia	Lináceas
Nombre común	Linaza



Figura 2. Semilla de linaza y su aceite

La composición del aceite de linaza se describe en la tabla IV y V.

Tabla IV. Composición típica de tres aceites de semillas.

Aceite	Ácidos grasos (% total)				
	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Linaza	4-10	2-8	10-24	12-19	48-60
Amapola	9-11	1-2	11-18	69-77	3-5
Nuez	3-8	0.5-3	9-30	57-76	2-16

Fuente: Sultana, 1996

Tabla V. Composición de los ácidos grasos en el aceite de linaza de diferentes países.

Aceite	Ácidos grasos (% total)				
	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Europa	4-6	2-3	10-22	12-18	56-71
Rusia	6-7	3-6	15-23	14-19	49-60
Canadá	5-6	3-4	19-20	14-16	54-61
India	9-10	7-8	10-21	13-15	50-61
Argentina	4-5	5-6	19-21	15-24	45-53

Fuente: Sultana, 1996

3.4.Lenteja

Las leguminosas representan una gran área en la alimentación humana y animal (Matthews, 1989) han sido cultivadas por el hombre desde tiempos inmemoriales; juegan un papel importante en humanos y en la nutrición animal debido a su alto contenido de proteínas. Se han cultivado tradicionalmente con destino al consumo humano el garbanzo, la lenteja, las alubias, los guisantes, las habas y la soya (Iciar y Martínez, 1999). Estas plantas aparte de su alto contenido de nutrientes contiene sustancias bioactivas como antioxidantes que comprenden compuestos fenólicos, carotenoides y vitaminas C y E (Frías *et al.*, 2005). Amarowicz y Raab (1997) han demostrado que la eficacia antioxidante de las semillas de leguminosas (guisante, frijol, lenteja, haba, chicharos) es variado y no depende de su contenido total de polifenoles.

En varios países industrializados las legumbres se han utilizado en formulaciones dietéticas para la prevención de la diabetes, enfermedades cardiovasculares, el cáncer de colon y para reducir los niveles de colesterol en la sangre (Brand *et al.*, 1990). Así, el consumo de leguminosas tiene ha asociado con una incidencia decreciente de enfermedades, una característica que se refiere a su alto contenido de antioxidante compuestos fenólicos, el bajo contenido de lípidos y el bajo índice glucémico (Fernández *et al.*, 2003). Los alimentos basados en leguminosas se preparan en un variado y amplio número de recetas y métodos de cocción, para mejorar su palatabilidad y calidad nutricional el método de calor está bien establecido que ayuda a producir

alimentos funcionales basados en leguminosas que le dan un valor agregado al producto terminado (Aguilera *et al.*, 2010). La lenteja (ver figura 3) es una leguminosa cultivada como alimento a nivel mundial (Yuzbasioglu *et al.*, 2008). Es uno de los cultivos más antiguos e importantes en términos de área y producción, además presenta alta preferencia por los consumidores; ha sido cultivada principalmente como una fuente de proteína de alta calidad y bajo costo para la dieta humana, especialmente en Asia del Oeste (Rahman *et al.*, 2010). Contiene alrededor de 23 – 25% de proteína, por lo que se considera fuente de proteína de bajo costo (Fikry *et al.*, 1980). La descripción taxonómica se encuentra en la tabla VI.

Tabla VI. Descripción taxonómica de la lenteja

Nombre	Lino
Nombre científico	<i>Lens culinaris</i>
Variedad/ familia	Papilionáceas
Nombre común	Lenteja



Figura 3. Lenteja

Las lentejas (figura 3) no solo son una excelente fuente de macronutrientes como proteína, ácido grasos, fibra y carbohidratos; también contienen fitoquímicos que se pueden categorizar en ácidos fenólicos, flavonoides, soyasaponinas, ácido fítico y taninos condensados; aunque en el pasado estos se consideraban compuestos antinutricionales, hoy en día se les ha asociado a la prevención de enfermedades crónicas (Zou *et al.*, 2011). Silva-Cristobal y col. (2010) Evaluaron el contenido de total de polifenoles solubles de extractos acuoso-metanólico de varias leguminosas (frijol, lenteja y garbanzo) y encontraron que las lentejas presento mayor contenido total de polifenoles (3.09 mg/g), seguido por el extracto de frijol negro (2.54 mg/g) y garbanzo (0.72 mg/g). Todas las muestras contienen antocianinas que se depositan en la cascara de la semilla, la muestra que presento mayor contenido de antocianinas fue el extracto de frijol (48.3 mg/kg) y lenteja (36.2 mg/kg). A pesar de su mayor contenido de polifenoles totales las lentejas mostraron un menor nivel de antocianinas que los frijoles

negros, esto indica la presencia de cantidades importantes de otros tipos de polifenoles en las lentejas (Dueñas y col., 2006). La capacidad antioxidante de leguminosas es causada por el contenido de polifenoles solubles. Las antocianinas del extracto de frijol negro mostraron una capacidad antioxidante superior, al tener una mayor reducción de DPPH que los extractos de lenteja y garbanzo. El porcentaje máximo de inhibición del radical DPPH fue el obtenido por el extracto del frijol (20%), mientras que el valor másbajo fue presentado por el garbanzo (12%), las lentejas mostraron un valor de 17%. Este patrón está de acuerdo con el polifenoles totales y contenido de antocianinas de la muestras (Salinas-Moreno *et al.*, 2005).

La testa de las leguminosas son fuentes ricas en polifenoles y antioxidantes naturales que pueden reemplazar antioxidantes sintéticos en los alimentos (Moise *et al.*, 2005), Dueñas y col. (2006) demostraron que un extracto metanólico de la testa y el cotidelon de lenteja contiene flavonas, flavonoles y proantocianinas, dichos extractos mostraron una gran capacidad antioxidante, mientras que las catequinas y flavonoides del cotidelon fueron las de mayor capacidad antioxidante. El extracto de la testa de lenteja contiene mayor capacidad antioxidante que el extracto de la testa del chícharo.

3.5.Oxidación de Lípidos

La oxidación de los lípidos es la principal causa de deterioro de la calidad de los alimentos ya que lleva al desarrollo de olores y sabores desagradables e indeseables, así como el desarrollo de productos potencialmente tóxicos (Halliwell *et al.*, 1995). Para desarrollar métodos que retarden la oxidación en lípidos, es necesario tener un entendimiento de los mecanismos que se llevan a cabo durante la oxidación y como son afectados por los factores fisicoquímicos de los lípidos (Coupland y McClements, 1996).

La oxidación de los lípidos es un término general que se utiliza para describir la secuencia compleja de cambios químicos, que resulta de la interacción de lípidos con especies de oxígeno activo. El mecanismo preciso de la oxidación de lípidos, en un alimento particular, depende de la naturaleza de las especies presentes y de su ambiente fisicoquímico (Steele, 2004).

La oxidación de lípidos puede ser un factor importante en los productos lácteos enriquecidos con lípidos poliinsaturados, ya que estos son altamente susceptibles a la oxidación. La oxidación de los lípidos puede ocurrir durante el procesado y almacenamiento de los productos lácteos funcionales y dar como resultado la formación de sabores desagradables y compuestos no nutritivos que se forman a partir de los compuestos originalmente nutritivos (García y Márquez, 2009).

La formación de hidroperóxidos se realiza vía una reacción autocatalítica entre el oxígeno y los ácidos grasos insaturados, produciendo radicales libres, los cuales pueden combinarse con oxígeno y un grupo insaturado para producir un hidroperóxido y otro radical libre, los cuales comienzan una reacción en cadena(propagación). Estas reacciones continúan hasta que los radicales libres son consumidos normalmente por la combinación con moléculas no reactivas (terminación) (Nawar, 1996).

Una alternativa para retardar la oxidación de los lípidos es el empleo de emulsiones, debido a que las gotas de aceite son estabilizadas por tensoactivos de alto o bajo peso molecular. Estas dispersiones sufren reacciones de oxidación que son afectadas por la composición de los ácidos grasos y las condiciones de almacenamiento, el estado físico influye en gran medida, debido a que en la emulsión se incrementa el área superficial.

La oxidación de lípidos, especialmente la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, es un problema muy significativo en la industria de los alimentos ya que impacta no sólo en la calidad del alimento sino en la salud de los consumidores. Los antioxidantes naturales, como los de la cáscara de manzana, han demostrado tener propiedades antioxidantes contra los ácidos grasos poliinsaturados (Huber y Rupasinghe, 2009).

3.6.Emulsiones

Una emulsión es un sistema de dispersión constituido por dos líquidos inmiscibles en los que la fase dispersa se encuentra en forma de pequeñas gotas, entre 0.1 y 10 micrometros distribuidas en la fase continua o fase dispersante; son inestables, y si se les permite reposar por algún tiempo, las moléculas de fase dispersa tienden a asociarse para construir una capa que puede precipitar o migrar a la superficie, según las diferencias de densidades. La elaboración de emulsiones estables requiere de agentes emulsionantes que reduzcan la tensión superficial entre ambas fases.

Una emulsión está constituida por tres regiones, las cuales presentan propiedades fisicoquímicas diferentes: la fase dispersa, la fase continua y la interfase (membrana interfacial). Todas las moléculas o ingredientes de la emulsión se distribuyen de acuerdo con su concentración y polaridad, a lo largo de las regiones mencionadas anteriormente. Las moléculas polares tienden a localizarse en la fase acuosa, las moléculas no polares tienen afinidad por la fase oleosa, y las moléculas anfifílicas se localizan en la interfase (McClements, 1999). La mayoría de las emulsiones en alimentos están elaboradas con aceite y agua, según en la concentración en las que se encuentren las emulsiones pueden ser de aceite en agua (mayonesa, leche, aderezos y crema) o de agua en aceite (margarina).

Dentro de las reacciones que se pueden llevar a cabo en las emulsiones, la oxidación de los lípidos tiene una influencia apreciable en las propiedades tecnológicas, sensoriales y nutricionales. Debido a que ataca los ácidos grasos insaturados en un amplio rango de condiciones, mientras que haya oxígeno presente, induce una serie de efectos secundarios que deterioran la calidad del producto como dar lugar a sabores indeseables, que en altas concentraciones, convierten al alimento en no aceptable para consumo humano; y la producción de compuestos potencialmente tóxicos derivados de las reacciones de degradación de los ácidos grasos. Además de esto se pueden alterar las propiedades funcionales y nutricionales, especialmente en los sistemas complejos como las emulsiones, donde se afectan las moléculas no lipídicas (Genot *et al.*, 2003).

3.6.1. Definiciones de Emulsión

A través del tiempo el concepto de emulsión se ha visto modificado para lograr una mejor definición que englobe todas sus características. Las definiciones a través del tiempo se pueden expresar como sigue:

Una emulsión es una dispersión muy fina de un líquido en otro, en el cual es inmisible. (Alexander y Johnson, 1949). Un sistema que contiene dos fases líquidas, una dispersa como glóbulos en la otra (Clayton, 1943). Son mezclas mecánicas de líquidos que son inmiscibles bajo condiciones ordinarias, y que pueden ser separadas en

dos capas por reposo, calentamiento, congelamiento, por agitación o por la adición de otros químicos (Enciclopedia Británica, 1959). Son mezclas íntimas de dos líquidos inmiscibles, uno de ellos disperso en el otro en forma de gotas finas (Sutheim, 1946). Son líquidos finamente dividido en sustancias semi sólidas (Schulz, 1949). Son mezclas íntimas y estabilizadas de aceite o materiales aceitosos con agua (Carbide & Carbon Chemicals Corp., 1937). Consiste en una dispersión estable de un líquido en otro líquido (Webster's New Collegiate Dictionary, 1979).

Las definiciones anteriores son todas de cierto valor, sin embargo ninguna determina la definición global de lo que es una emulsión. Por lo que una definición apropiada sería: Una emulsión es “un sistema heterogéneo, que consiste en al menos un líquido inmiscible íntimamente disperso en otro en la forma de gotas, cuyos diámetros, por lo general, exceden 0.1 μm . Dichos sistemas poseen una mínima estabilidad, la cual puede ser acentuada por aditivos como agentes tensioactivos (surface – active agents), sólidos finamente divididos, etc. (Becher, 1966)

Uno de los agentes emulsionantes son los biopolímeros, como la goma de mezquite, ya que además de ayudar en la formación de la emulsión, le proporciona estabilidad a la emulsión ya que se genera una barrera electrostática que proporciona un potencial de repulsión que evita la floculación de las gotas de la fase dispersa; además se forma una barrera mecánica que proporciona un carácter elástico adecuado, que evita la rotura y coalescencia de las gotas en la emulsión.

3.6.2. Oxidación de Lípidos en Emulsiones

Debido a la creciente demanda de alimentos funcionales, se ha recurrido a alimentos formulados de manera que atiendan dicha demanda, alimentos fáciles de incluir en la dieta, nutritivos, de sabor aceptable, pero sobre todo de larga vida de anaquel. Lo anterior hace recurrir a enfatizar en soluciones adecuadas para lograr aumentar los contenidos de ácidos grasos insaturados n- 3, pero al mismo tiempo tener una vida de anaquel aceptable así como una buena calidad sensorial en el producto terminado. (Genot *et al.*, 2003)

3.7. Microcápsulas

La microencapsulación se define como la tecnología de los sólidos ó líquidos empacados en cápsulas; generalmente tienen la habilidad de proporcionar ciertas propiedades funcionales, modificando y mejorando la forma física y las propiedades de una sustancia. (Shahidi y Han, 1993)

La microencapsulación de aceites es un logro tecnológico que se emplea para proteger a los aceites sensibles, enmascarar o preservar sabores y aromas; así como transferir líquidos a sólidos fácilmente manejables (Marquez *et al.*, 2003).

Microcápsula literalmente significa “pequeña cápsula.” Se ha descrito por el Diccionario Webster`s y la Enciclopedia Británica como: una vaina de una semilla o cubierta de espora en una planta, una membrana o estructura tipo saco cubriendo una parte u órgano de un animal o un cascarón de huevo, un contenedor cilíndrico, gelatinoso cubriendo una medicina, comúnmente denota un contenedor o vasija para encerrar y proteger cierta cantidad de una sustancia. De hecho es un sinónimo del término vasija, contenedor y paquete. La microcápsula es una vasija, paquete o contenedor de tamaño microscópico teniendo una pared polimérica. Puede encerrar y proteger partículas finas de una sustancia en el núcleo. La pared cascaron está usualmente compuesta de una película delgada rígida y sin costuras.

Para el caso de las microcápsulas el material a ser ocluido (confinado) primeramente es finamente dividido para posteriormente servir como núcleo para la deposición de una cubierta polimérica (película); este paso se denomina microencapsulación. Las microcápsulas son caracterizadas por tener una fase de separación entre el material ocluido y la pared de la cápsula. El material ocluido se llama núcleo y la pared externa película protectora. La microcapsula puede contener material líquido, polvo o incluso gas y se adopta el proceso adecuado, por lo tanto pueden ser microencapsulados materiales hidrofílicos como hidrofóbicos. Las microcápsulas tienen un tamaño entre 0.2 y 5000 μm . Las microcápsulas están formadas por el material encapsulado y el material de pared; este material puede ser seleccionado de una amplia variedad de polímeros naturales o sintéticos, dependiendo del agente activo que se va a encapsular y las

características deseadas en las microcápsulas finales (Ré, 1998). El tamaño de las microcápsulas generalmente es de 5 a 200 micrometros, en algunos casos se pueden expandir a algunos milímetros. El grosor de la pared mide de 0.2 a algunos micrómetros, pero normalmente no excede los 10 micrometros.

3.7.1. Funciones de las Microcápsulas

Capacidad de modificar y mejorar la forma aparente y las propiedades de la sustancia, preservar la sustancia en el estado finamente dividido y liberación conforme la ocasión lo demanda. Pueden cambiar el color, la forma, el peso, el volumen, la solubilidad, la reactividad, durabilidad, sensibilidad a la presión, sensibilidad al calor y fotosensibilidad de la sustancia, mejora el manejo de la sustancia de líquido a sólido, cambio en el peso o volumen, decremento de la volatilidad, liberación controlada y separación de los compuestos reactivos. Las microcápsulas tienen la habilidad de proteger una sustancia de las acciones de humedad, oxígeno, rayos ultravioletas, entre otros. Las reacciones químicas entre dos compuestos reactivos se previenen físicamente separando los componentes.

3.7.2. Desventajas o Deficiencias y Limitantes del uso de las Microcápsulas

Las propiedades físicas y químicas de los materiales para la pared deben de ser factores a considerar. En ocasiones, una vez liberado la sustancia ocluida, el residuo de la pared causa problemas (Kondo, 1979).

Los polímeros pueden ser inducidos para encapsular moléculas por varias maneras como deposición gota a gota, secado por aspersion, extrusión, evaporación y coacervación; cada técnica tiene su aplicación especial, fortalezas y debilidades. Las ventajas que guardan en común son la protección y lenta liberación del material encapsulado. En cualquiera de los mecanismos, un polímero coagulado precipita alrededor de del núcleo de un material lábil. Los polisacáridos son polímeros que regularmente se utilizan como materiales encapsuladores (Risch y Reineccius, 1995). La goma arábica es particularmente eficaz para estos fines gracias a su alto contenido en proteína.

3.8. Goma de Mezquite

La goma de mezquite o *Prosopis gum* (ver figura 4) fue utilizada ampliamente por las culturas indígenas del norte, centro y oeste de México (Seri y Yaquis), así como en el

Suroeste de Estados Unidos, principalmente como un dulce, ingrediente en los alimentos para humanos y animales; y como medicinal para ojos o garganta lastimados, dolor de estomago, diarrea, prevención de infecciones y como tratamiento para heridas profundas.



Figura 4. Goma de mezquite

La goma de mezquite es originaria de México y extensamente usada en éste país en pequeñas industrias, principalmente en la confitería. La goma de mezquite, junto con la goma arábica, es única por su alta solubilidad en agua, permitiendo soluciones de hasta

50% (p/p) de concentración. La goma de mezquite es también un gran agente emulsificante este es un coloide funcional que protege y forma películas viscoelásticas visibles en la interface aceite – agua (Vernon Carter, 2000). Se ha reportado que la goma de mezquite ha sido un agente utilizado en la microencapsulación muy eficiente, además de que brinda una mejor estabilización de las gotas de emulsiones y protección contra la degradación de pigmentos que la goma arábiga (Beristain, 2002; Goycoolea, 1997; Vernon-Carter, 1998)

3.9. Secado por Aspersión

El secado es la aplicación de calor en condiciones controladas para eliminar el agua de los alimentos. Dentro de los propósitos del secado es el aumento de la vida de anaquel de los alimentos, ya que al eliminar el agua se inhibe el crecimiento microbiano y la actividad enzimática; así como reducir costos de almacenamiento y transporte al reducir el peso y el volumen. El secado implica la aplicación de calor y eliminación de humedad de los alimentos; en el secado por aspersión el aire se emplea como medio de calentamiento y eliminación de humedad. La capacidad para eliminar la humedad de un alimento depende de la temperatura del aire y de la cantidad de vapor de agua que lleve el aire. (Sharma *et al.*, 2003)

La microencapsulación por la técnica de secado por aspersión es buena en la medida que alcance una alta retención del material encapsulado (buena eficiencia de encapsulación) durante el procesamiento y almacenamiento (Ré, 1998). Cuando se lleva a cabo el proceso de secado existe la formación de una red fina y densa (costra) en la superficie del material. Las pérdidas del material encapsulado están gobernadas por la difusión de la fase líquida en el material. Una vez que se forma la costra seca, las pérdidas pueden ocurrir si el material encapsulado puede pasar a través de ella por un mecanismo de difusión o el material se degrada por la difusión de oxígeno hacia el interior de la microcápsula (Ré, 1998).

3.10. Vida de Anaquel

Uno de los aspectos de mayor relevancia en la industria de los alimentos se refiere a la “vida útil” o “vida de anaquel” de un producto. La vida de anaquel de un producto se define como el periodo de tiempo en que un producto alimenticio una vez que es elaborado, empacado y almacenado bajo condiciones establecidas, permanece óptimo y adecuado para su consumo (Man, 2002) es el periodo de tiempo en que un alimento es 1) seguro para su consumo, 2) mantiene óptimas sus características sensoriales, físicas, químicas, microbiológicas y funcionales; y 3) sigue cumpliendo con lo declarado en la etiqueta de información nutrimental, mientras que sea almacenado bajo condiciones especificadas (Steele, 2004).

Debido a que todos los productos alimenticios están conformados de diversos materiales biológicos, siendo estos propensos a degradarse a través del tiempo, es imposible detener su degeneración. Dentro de los mecanismos que explican el deterioro de estos están:

- 1) Humedad
- 2) Transferencia física de sustancias como olores o sabores.
- 3) Cambios propiciados por exposición a la luz solar o artificial
- 4) Cambios químicos o bioquímicos
- 5) Cambios microbiológicos

3.10.1. Determinación de Vida de Anaquel: Pruebas Aceleradas

Los consumidores modernos cada día son más exigentes, por lo que en la actualidad se busca mejorar no solo la calidad sensorial, sino además las propiedades nutricionales y funcionales, sin dejar de lado la imagen tradicional del producto. Los expertos deben garantizar seguridad pero con menos aditivos e intervención tecnológica, esto conlleva la extensión de la vida de anaquel y alta conveniencia en su consumo (Steele, 2004).

3.10.1.1. Cuantificación del Efecto de la Temperatura sobre los Alimentos

La calidad de los alimentos es un atributo dinámico y complejo que tiene influencia sobre la aceptación por parte del consumidor y constantemente se va deteriorando. Dicho deterioro de los alimentos se puede estudiar representado por la pérdida o ganancia de índices de calidad cuantificables (ej. Olores, sabores, nutrientes). La razón de cambio se puede representar mediante la ecuación 1:

$$r_A = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^m \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$r_A = \text{razón de cambio}$

$k = \text{constante de reacción}$

$[A] = \text{concentración del factor de calidad}$

$t = \text{tiempo}$

$m = \text{orden de reacción}$

Una ecuación general que describe la pérdida de calidad del factor A de los alimentos se puede expresar a través de la ecuación 2:

$$f_q(A) = k(C_i, E_j) * t \quad \text{Ec. 2}$$

La ecuación 2 expresa que la función de calidad del alimento $f_q(A)$, está en función de la constante de reacción k , y la composición de los factores C_i (concentración de compuestos reactivos, catálisis inorgánica, pH, enzimas, inhibidores de reacción,

actividad de agua y poblaciones microbiológicas) y los factores ambientales son expresados por E_j (temperatura, humedad relativa presión de gases total y parcial, luz y mecanismos de estrés) (Steel, 2004).

El promedio de la vida de anaquel es de tres meses para productos untables y doce meses para aceites puros, para productos que contienen aceites el tiempo es variable y depende de la formulación (Kristott, 2000). Los productos de panificación que contienen lípidos ricos en ácidos grasos poliinsaturados presentan reacciones de oxidación, que puede ser cuantificada a través de la medición de hidroperóxidos. Los productos de la oxidación de lípidos son considerados las principales causas del deterioro; el proceso de oxidación puede ser lento a temperatura ambiente y la evaluación de la vida de anaquel es difícil de predecir para las necesidades de la industria, debido al tiempo necesario para dicha evaluación, que puede durar varios meses. El método más común para disminuir el tiempo es utilizar pruebas aceleradas de vida de anaquel (ASLT, por sus siglas en inglés), la oxidación durante el almacenamiento se puede acelerar al cambiar la temperatura, luz y humedad, principalmente. El parámetro más utilizado es la temperatura porque es un factor crítico en el proceso de oxidación de los lípidos (Ragnarsson y Labuza, 1977; Waterman y Adami, 2005). El método ASLT consiste en medir la velocidad de oxidación, descrita por la ecuación 3, de las muestras almacenadas a por lo menos 3 temperaturas diferentes; la velocidad de reacción a una temperatura deseada puede ser extrapolada utilizando el modelo de Arrhenius (ecuación 4).

Partiendo de la ecuación 1 y considerando la concentración de hidroperóxidos, cuantificado como el valor de peróxido, formados durante el almacenamiento como el parámetro a utilizar para medir la calidad, se obtiene la ecuación 3.

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C]^m \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

$$C = \text{Concentración de hidroperóxidos} \left(\frac{\text{meqO}_2}{\text{kg aceite}} \right)$$

$$k = \text{constante de reacción}$$

$$t = \text{tiempo (días)}$$

$$m = \text{orden de reacción (adimensional)}$$

El modelo de Arrhenius permite evaluar la dependencia de la formación de hidroperóxidos con respecto a la temperatura.

$$k = k_0 e^{\left(-\frac{E_a}{RT} \right)} \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

$$k = \text{Constante de reacción}$$

$$k_0 = \text{Factor pre exponencial del factor de frecuencia (adimensional)}$$

$$E_a = \text{Energía de activación del proceso de oxidación (kJ mol}^{-1}\text{)}$$

$$R = \text{Constante de los gases (8.314 J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}\text{)}$$

$$T = \text{Temperatura absoluta (K)}$$

4. HIPÓTESIS

La inclusión de microcápsulas de aceite de linaza (*Linum usitatissimum*) en la elaboración de las galletas sustituidas con harina de lenteja, además de retardar la oxidación de los lípidos y aumentar la vida de anaquel del producto final, mejorará el contenido en proteína y ácidos grasos poliinsaturados (esenciales) de las galletas, cumpliendo con niveles altos de ingesta diaria recomendada de estos nutrientes.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Fortificar galletas de avena, sustituidas con harina de lenteja, con ácidos grasos poliinsaturados, mediante la inclusión de microcápsulas de aceite de linaza en su formulación.

5.2. Objetivos Particulares

- 5.2.1. Obtener microcápsulas de aceite de linaza utilizando goma de mezquite.
- 5.2.2. Fortificar las galletas con ácidos grasos poliinsaturados de manera que su ingesta cumpla con un alto nivel del porcentaje de ingesta diaria recomendada.
- 5.2.3. Aumentar la calidad nutritiva de las galletas en otros nutrientes como proteína y grasas poliinsaturadas, por inclusión de las microcápsulas de aceite de linaza en su elaboración.
- 5.2.4. Evaluar la oxidación del aceite en las galletas a través del tiempo.
- 5.2.5. Determinar la vida de anaquel de las galletas.

6. MÉTODOS

6.1. Preparación de las Emulsiones

Para la preparación de las emulsiones se utilizó goma de mezquite, polielectrolito aniónico en forma de lágrimas purificado de acuerdo al método de Vernon-Carter y cols. (1996), aceite de linaza de la marca Olimu y agua destilada.

Los ingredientes utilizados en las formulaciones de galletas fueron: Harina de trigo refinada La Perla®, Harina de trigo integral La Perla®, Harina de lenteja Verde Valle® molida a 1 mm en un molino Thomas – Wiley Laboratory Mill Modelo 4 (Arthur H Thomas Company Philadelphia, P.A. U.S.A.), Azúcar, Mantequilla Iberia®, Avena Quaker®, Vainilla El Ciervo®, Huevo San Juan®, Agua, Rexal, Manteca vegetal INCA® y Canela en polvo La Carreta®; además las microcápsulas de aceite de linaza obtenidas en el paso anterior y aceite de linaza en estado natural. Los ingredientes secos se mezclaron y posteriormente se les añadieron los ingredientes húmedos, se amasaron y moldearon las galletas y fueron horneadas a 200° C por 20 minutos. Una vez cocidas, se enfriaron en charolas y se empacaron en bolsas de plástico Ziploc®.

Varios investigadores (McNamee *et al.*, 2001) han encontrado que para una adecuada formación de microcápsulas se debe tener una relación de material emulsionante (material de pared) a aceite mayor de 1:1. Por lo que las emulsiones fueron formuladas con una relación de material emulsionante a aceite de linaza de una relación 2:1.

Las emulsiones fueron formuladas para tener una fracción de fase dispersa ($\phi = g_{\text{aceite}} / g_{\text{emulsión}}$), $\phi = 0.3$ y una relación de material emulsionante a aceite de linaza de 2:1(p/p). Todas las emulsiones se prepararon con agua destilada.

La emulsión se elaboró mediante el método tradicional, el cual consiste en la disolución de la goma de mezquite en agua y agregar gota a gota el aceite de linaza a una velocidad de homogeneización de 7600 rpm durante 5 minutos con un Ultra Turrax (Ika Works, Inc., Wilmington, VA. EUA).

6.2. Preparación de las Microcápsulas de Aceite de Linaza

Las emulsiones fueron secadas en un minisecador por aspersion Büchi modelo 190 (Büchi Laboratorio Technik AG, Flawil, Suiza) a una temperatura de aire a la entrada de $170 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y una temperatura de aire de salida de $95 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y una presión de atomización de 4.5 bar.

6.2.1. Caracterización de las Microcápsulas

Microestructura: Las microcápsulas secas fueron montadas en una cinta de carbón colocada en un portamuestras de aluminio para microscopio electrónico de barrido (MEB), y se recubrieron con oro (Fine Coat Jeol-JFC-1100, Jeol Ltd., Akishima, Japón). La microestructura de las películas se determinó utilizando un MEB de bajo vacío Jeol JSM-035 a 10 kV.

Eficiencia de encapsulación: Se determinó el contenido de aceite superficial realizando una extracción con isooctano y agitación magnética durante 15 minutos; el contenido de aceite interno se determinó rehidratando las microcápsulas y rompiendo la emulsión formada para cuantificar el aceite interno utilizando una mezcla de isooctano/2-propanol (3:1, v/v) y centrifugación por 10 minutos a 6000 rpm.

Determinar el porcentaje de aceite interno con la ecuación 5.

$$\%EC = \frac{(\%aceite_{total} - \%aceite_{superficial})}{(\%aceite_{total})} \times 100$$

Ec.5

6.3. Inclusión de las Microcápsulas de Aceite de Linaza en la Elaboración de las Galletas

Las galletas se elaboraron tomando como base una receta casera de galletas de avena (formulación 1) y para la elaboración de las formulaciones 2, 3, 4 y 5 un estudio anterior de sustitución de harina de trigo por harina de lenteja en galletas de avena (Morones, 2007). Ver tabla VII.

Una vez elaboradas las galletas se dividieron en tres partes iguales de cada formulación y se empacaron en bolsas, se colocaron a tres diferentes temperaturas 4, 25 y 35°C en incubadoras de baja temperatura Felisa y ahí se mantuvieron durante todo el estudio.

6.3.1 Composición Proximal

La composición proximal de las formulaciones de galletas: humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra cruda y E.L.N. fueron determinados por los procedimientos de la AOAC (AOAC, 1990).

Tabla VII. Formulación de las galletas

Ingrediente	Formula 1: 0% Harina de lenteja y 0 g de aceite de linaza	Formula 2: 0% Harina de Lenteja y 50 g de aceite de linaza	Formula 3: 0% Harina de Lenteja y 150 g de microcápsulas de aceite de linaza	Formula 4: 40% Harina de Lenteja y 50 g de aceite de linaza	Formula 5: 40% Harina de Lenteja y 150 g de microcápsulas de aceite de linaza
Harina de Trigo Refinada	500 g	500 g	500 g	300 g	300 g
Harina de Trigo Integral	500 g	500 g	500 g	300 g	300 g
Harina de Lenteja	0 g	0 g	0 g	400 g	400 g
Azúcar	300 g	300 g	300 g	300 g	300 g
Mantequilla	400 g	400 g	400 g	400 g	400 g
Vainilla	1 cda	1 cda	1 cda	1 cda	1 cda
Avena	500 g	500 g	500 g	500 g	500 g
Huevo	1 unidad	1 unidad	1 unidad	1 unidad	1 unidad
Agua	200 mL	200 mL	200 mL	200 mL	200 mL
Rexal	30 g	30 g	30 g	30 g	30 g
Manteca	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g
Canela en Polvo	25 g	25 g	25 g	25 g	25 g
Aceite de Linaza	0 g	50 g	50 g*	50 g	50 g*

*Aceite de linaza microencapsulado

6.4.Evaluación Sensorial de las Galletas

Se llevaron a cabo tres pruebas sensoriales del tipo afectivo para evaluar las cinco diferentes formulaciones de galletas y determinar su nivel de agrado. Para su identificación, se asignaron a cada una de las formulaciones de galletas una clave de tres números al azar, de manera que no despertara sospecha entre los jueces de las alteraciones hechas en cada formulación. Ver tabla VIII.

Tabla VIII. Claves asignadas a cada una de las formulaciones de galletas

Formulación	Contenido	Clave
1	0% Harina de lenteja y 0 g de aceite de linaza	320
2	0% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza	542
3	0% Harina de Lenteja y 50 g de aceite de linaza microencapsulado	103
4	40% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza	834
5	40% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza microencapsulado	435

Las pruebas se aplicaron a 45 jueces afectivos, no entrenados o simplemente consumidores; con el siguiente formato:

1) Prueba de Aceptación (“Acceptance Test”)

Cuyo objetivo fue evaluar, de acuerdo a un criterio personal – subjetivo, si las muestras presentadas fueron aceptadas o rechazadas para consumo. Ver figura 5.

Instrucciones: Indique con una “X” su aceptación al probar cada una de las muestras de galletas presentadas.

Nombre: _____

Muestra	Acepta	Sí	No
320		—	—
542		—	—
103		—	—
834		—	—
435		—	—

Figura 5. Prueba de aceptación aplicada a los jueces

2) Prueba de Preferencia (“Preferente Test”)

Con el objetivo de ordenar, según las opiniones de un grupo de consumidores, el orden de preferencia de las diferentes formulaciones de las galletas, de acuerdo a un aprecio personal. Ver figura 6.

Instrucciones: Indique con el número correspondiente el orden de su menor (= 1) a mayor (= 5) preferencia para cada muestra de galletas.					
Nombre: _____					
Muestra	320	542	103	834	435
Preferencia	___	___	___	___	___

Figura 6. Prueba de preferencia aplicada a los jueces

3) Prueba de Nivel de Agrado (“Hedonic Test”)

Para localizar el nivel de agrado o desagrado de cada una de las diferentes formulaciones de galletas. Ver figura 7.

Instrucciones: Pruebe cada una de las muestras e indique con una "X" su nivel de agrado ó desagrado, de acuerdo con la escala que se presenta.

Nombre: _____

Muestra

320

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disgusta			Indiferente				Gusta			

542

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disgusta			Indiferente				Gusta			

103

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disgusta			Indiferente				Gusta			

843

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disgusta			Indiferente				Gusta			

435

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disgusta			Indiferente				Gusta			

Figura 7. Prueba de nivel de agrado o Hedónica aplicada a los jueces

6.5.Determinación de la Vida de Anaquel

La vida de anaquel de las galletas se determinó químicamente mediante la cuantificación de hidroperóxidos a través del método espectrofotométrico Uv-vis escrito por Shanta y Decker (1994).

6.5.1 Método de Hidroperóxidos.

1. Moler una galleta en mortero y pesar 6g de esta y depositarla en tubos para centrifuga y agregar 15ml de isooctano 2- propanol.
2. Mezclar por 10 segundos en vortex y centrifugar 5min.
3. Filtrar y colocar el líquido en un embudo de separación.
4. Tomar 200 μ l de la fase orgánica +2.8ml de metanol- butanol en tubos de vidrio pequeños y agregar: iones fierro 15 μ l y 15 μ l de tiocianato
5. Preparar dos blancos con 3ml de metanol-butanol. A un blanco, agregarle 15 μ L de iones fierro y 15 μ L de tiocianato
6. Reposar 20 minutos.
7. Leer a 510nm
8. **Restar la absorbancia del metanol butanol a la de metanol butanol con iones (y anotar la absorbancia de este segundo). Y leer las muestras, en celdas de cuarzo.**

Preparación de reactivos:

- **Isocatano-2propanol 3:1 v/v.**

750ml de isoctano con 250ml de 2-propanol.

- **Metanol- butanol 2:1 v/v.**

500ml de metanol-250ml de butanol.

- **Tiocianato al 3.94M:** Disolver 2.99g de tiocianato de amonio en 10ml de agua destilada.

- **Solución de HCl al 0.4M:** Tomar 80ml de HCl al 0.5N.

- **Solución de sulfato de fierro :** Pesar 0.4g de fierro en 10ml de HCl al 0.4M.

- **Solución de cloruro de bario:** Pesar 0.3224g de cloruro de bario en 10ml de HCl al 0.4M.

- **Iones fierro:** Se preparan disolviendo 0.5ml de sulfato de fierro y 0.5ml de cloruro de bario. Preparar en un vaso de precipitados, y esperar a que se forme un precipitado blanco, y tomar los iones del líquido.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de las Microcápsulas

En la figura 8 se muestran las micrografías obtenidas para las microcápsulas elaboradas con goma de mezquite (GM). Las micrografías muestran una morfología típica de microcápsulas obtenidos por la técnica de secado por aspersión. Este tipo de morfología se produce debido a que durante el secado se forma una red fina y densa que limita la evaporación del agua formando geometrías esféricas y produciendo una expansión en el interior debido a que el agua pasa del estado líquido al gaseoso y se difunde a través de la película sólida formada alrededor de la microcápsula y cuando el agua abandona la microcápsula hay una disminución en el volumen incrementando la irregularidad en la superficie y puede provocar el apelmazamiento de los polvos secos y un incremento en la porosidad. La morfología presenta una tendencia esférica con superficie irregular producto del colapso estructural (Chuy y Labuza, 1994). Se obtuvieron las microcápsulas de aceite de linaza con tamaños entre 10 y 20 μm .

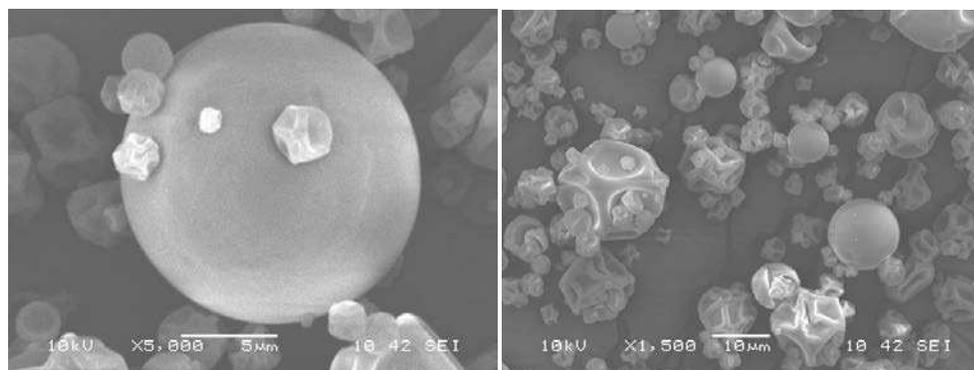


Figura 8. Microscopia electrónica de barrido de las microcápsulas de goma de mezquite.

La eficiencia de encapsulación fue de $67.38\% \pm 1.32$, estos resultados se deben probablemente a que la matriz biopolimérica formada durante el secado por aspersión permite la difusión del aceite encapsulado, pero aun así la eficiencia es aceptable.

7.2.Composición Proximal

En la tabla IX podemos observar un aumento en el contenido de proteína en las formulaciones, lo cual era de esperarse al incluir harina de lenteja en su formulación. Después de un ANOVA obtenemos que existe diferencia significativa entre las formulaciones y al realizar una prueba de Tukey para comparación de medias obtuvimos que solamente entre F1 y F2 no hay diferencia significativa. Por lo anterior concluimos que todas las formulaciones son diferentes entre sí en cuanto al contenido de proteína excepto por F1 y F2, todo lo anterior con un nivel de significancia del 5%. Ver figura 9.

Tabla IX. Composición proximal de las formulaciones de galletas*

	F1	F2	F3	F4	F5
HUMEDAD	6.86 ± 0.24	5.59 ± 0.45	6.60 ± 0.15	5.51 ± 0.43	6.06 ± 0.16
CENIZAS	1.75 ± 0.01	1.79 ± 0.01	2.00 ± 0.34	2.10 ± 0.02	1.95 ± 0.03
PROTEÍNA	7.29 ± 0.07	7.39 ± 0.07	8.54 ± 0.03	10.04 ± 0.57	10.26 ± 0.03
GRASA	21.08 ± 0.20	21.36 ± 0.21	20.67 ± 0.07	21.84 ± 0.31	20.79 ± 0.16
FIBRA	0.48 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.61 ± 0.04	1.11 ± 0.08	0.84 ± 0.04
E.L.N	62.54 ± 0.26	63.38 ± 0.26	61.58 ± 0.30	59.40 ± 0.38	60.10 ± 0.13

*Resultados expresados como el promedio de tres repeticiones y en base húmeda.

Por otro lado, el contenido de grasa también muestra diferencias, después del análisis estadístico obtenemos que existe diferencia significativa a un nivel del 5% entre F2 y F3, F4 y F1, F4 y F2, F4 y F3; y F4 y F5.



(a)

(b)



(c)

Figura 9. Galletas de avena caseras (a), comerciales (b) y del estudio (c)

Tabla X. Porcentaje de I.D.R. por porción y por cada 100 g de galletas

	Proteína	Ácido alfa linolénico	% I.D.R.	
	Por porción (30 g)	Por porción (30 g)*	Por porción (30 g)*	
	Por cada 100 g	Por cada 100 g	Por cada 100 g	
			Proteína	Alfa linolénico
F 1	2.19	-----	4.87	-----
	7.29	-----	16.20	-----
F 2	2.22	0.33	4.93	41.25
	7.39	1.10	16.4	137.5
F 3	2.56	0.32	5.68	40
	8.54	1.08	18.98	135
F 4	3.01	0.33	6.69	41.25
	10.04	1.10	22.31	137.5
F 5	3.08	0.31	6.84	38.75
	10.26	1.03	22.80	128.75

*El tamaño de porción se reporta en base a lo sugerido para el tipo de alimento (galletas, 30g).

En la tabla X observamos la diferencia en contenido de ácido alfa linolénico, en la formulación 1 está ausente, mientras que en las cuatro formulaciones restantes aparece en contenidos elevados de alrededor de 40% de la IDR por porción. Sin embargo podemos aumentar ese porcentaje si suponemos o sugerimos que la persona ingiera una porción por alimento (mañana, tarde, media tarde - noche), si aumentamos el consumo a 100 g se cumple con porcentajes arriba del recomendado. Ver figura 10.

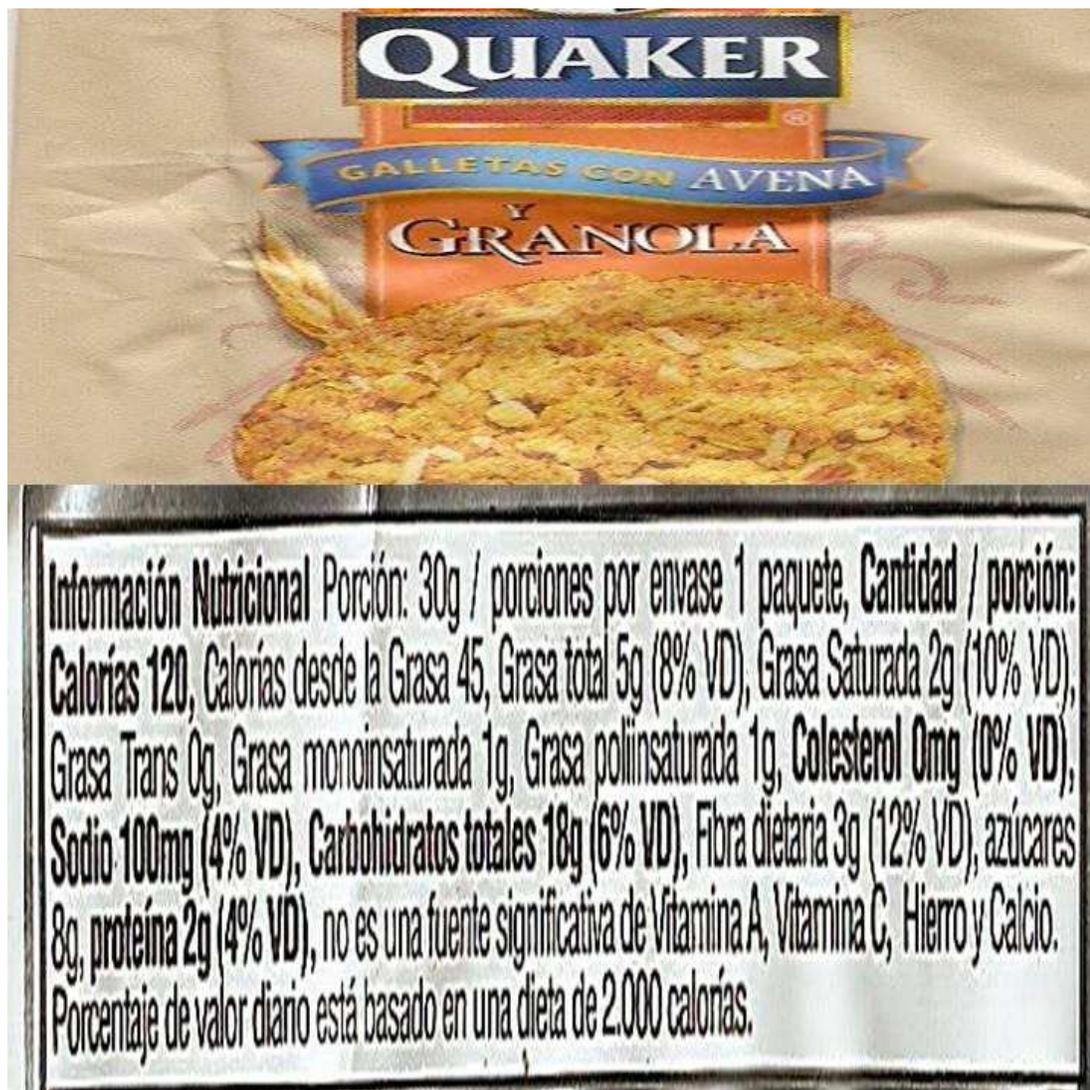


Figura 10. Etiqueta nutrimental de galletas comerciales

7.3. Evaluación Sensorial

7.3.1. Prueba de Aceptación

Al realizar la prueba de aceptación a los 45 jueces se obtuvieron los siguientes resultados. Ver tabla XI y XII.

Tabla XI. Resultados en porcentaje de la prueba de aceptación

Formulación	% de Aceptación
1 (0% Harina de lenteja y 0 g aceite de linaza)	69
2 (0% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza)	67
3 (0% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza microencapsulado)	91
4 (40% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza)	84
5 (40% Harina de lenteja y 50 g de aceite de linaza microencapsulado)	73

Tabla XII. Prueba de Aceptación

Formulación	Acepta	Rechaza	Jueces	Valor tabla*
1	31	14	45	30
2	30	15	45	30
3	41	4	45	30
4	38	7	45	30
5	33	12	45	30

*Valor correspondiente a la diferencia de sumatoria ordinal crítica para “tratamiento contra control” dos colas. Con comparación al nivel de significancia del 5% (Pedrero y Pangborn, 1989).

Como observamos en la tabla XII al comparar el valor de los jueces que aceptan las formulaciones contra el valor correspondiente a la diferencia de sumatoria ordinal crítica éste es menor, por lo que se concluye que las formulaciones se aceptan de manera significativa por los jueces con un nivel de significancia del 5%.

7.3.2. Prueba de Preferencia

Al realizar la prueba de preferencia se obtiene que existe diferencia significativa entre las formulaciones 1 y 4, 2 y 4, 3 y 4; y 4 y 5, con un nivel de significancia del 5%.

Tabla XIII. Resultados de la prueba de preferencia

Muestras	$F1^{F2,F3,F5}$	$F2^{F1,F3,F5}$	$F3^{F1,F2,F5}$	F4	$F5^{F1,F2,F3}$
Suma de rangos	115	121	132	176	131

Como observamos en la tabla XIII la formulación 4 es sensorialmente diferente al resto de las formulaciones. De la prueba de preferencia concluimos que el orden de preferencia de menor a mayor fue F1, F2, F5, F3 Y F4, donde la formulación 1 fue la menos gustada y la formulación 4 la que más gustó. Lo anterior se asemeja a los resultados obtenidos de la prueba de aceptación.

7.3.3. Prueba de Nivel de Agrado ó HEDÓNICA (“Hedonic Test”)

Los resultados de la prueba HEDÓNICA indican que existe diferencia significativa entre las cinco diferentes formulaciones, así como en las opiniones de los jueces; lo anterior con un nivel de significancia del 5%. Al obtener los resultados de diferencias en las muestras, se realizó una prueba Fisher DMS para identificar las muestras que eran diferentes entre sí. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla XIV. Resultados de la prueba Hedónica

Muestras	Medias	Diferencia de medias		Valor crítico	Resultado
F1 y F2	6.33 – 6.20	0.13	<	0.84	No hay diferencia significativa
F3 y F1	7.04 – 6.33	0.71	<	0.84	No hay diferencia significativa
F4 y F1	8.06 – 6.33	1.73	>	0.84	Hay diferencia significativa
F5 y F1	6.64 – 6.33	0.31	<	0.84	No hay diferencia significativa
F3 y F2	7.04 – 6.20	0.84	=	0.84	No hay diferencia significativa
F4 y F2	8.06 – 6.20	1.86	>	0.84	Hay diferencia significativa
F5 y F2	6.64 – 6.20	0.44	<	0.84	No hay diferencia significativa
F4 y F3	8.06 – 7.04	1.02	>	0.84	Hay diferencia significativa
F3 y F5	7.04 – 6.64	0.40	<	0.84	No hay diferencia significativa
F4 y F5	8.06 – 6.64	1.42	>	0.8351	Hay diferencia significativa

De la tabla XIV podemos observar que existe diferencia significativa con un nivel de significancia del 5% entre las formulaciones F1 - F4, F4 - F2, F4 - F3 y F4 - F5. Lo anterior nos indica que la formulación 4 es diferente a las demás, siendo la preferida por los jueces. De ésta prueba, en base a las diferencias de las medias, podemos concluir que el orden de preferencia de menor a mayor de las formulaciones de galletas fue: F2, F1, F5, F3, F4.

En resumen, lo obtenido de las tres pruebas del análisis sensorial de las galletas concuerda, el orden de menor a mayor gusto fue el siguiente:

Prueba de Aceptación: F2, F1, F5, F4, F3

Prueba de Preferencia: F1, F2, F5, F3, F4

HEDÓNICA: F2, F1, F5, F3, F4

Observamos que las formulaciones 1 y 2 son las menos gustadas, seguida de la 5 que se mantiene en tercer lugar en todas las pruebas y las preferidas son la 3 y 4.

7.4. Cinéticas de Oxidación

Se cuantificó el grado de oxidación de los lípidos contenidos en las galletas, a través de la concentración de hidroperóxidos formados durante el almacenamiento a diferentes temperaturas. Las figuras 11 a 13 muestran los resultados de la oxidación en las galletas almacenadas a 4, 25 y 35°C, respectivamente. La formulación F1 es la receta original sin la adición de aceite de linaza ni harina de lenteja, es una formulación con mayor contenido de ácidos grasos saturados (mantequilla y manteca vegetal), las formulaciones F2 a F5 contienen una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados debido a la adición del aceite de linaza. En todos los casos la formulación F2 presenta una mayor oxidación, esta formulación es adicionada con aceite de linaza sin encapsular (50 gramos). El aceite de linaza fue mezclado con todos los ingredientes y quedaron

expuestos a las condiciones de procesamiento y las condiciones de almacenamiento donde el oxígeno y la temperatura aceleran la oxidación de los lípidos. La formulación F3 fue adicionada con aceite de linaza microencapsulado utilizando goma de mezquite como material de pared, con este sistema se logró disminuir la oxidación con respecto a la formulación F2 (ver figuras 11 a 13).

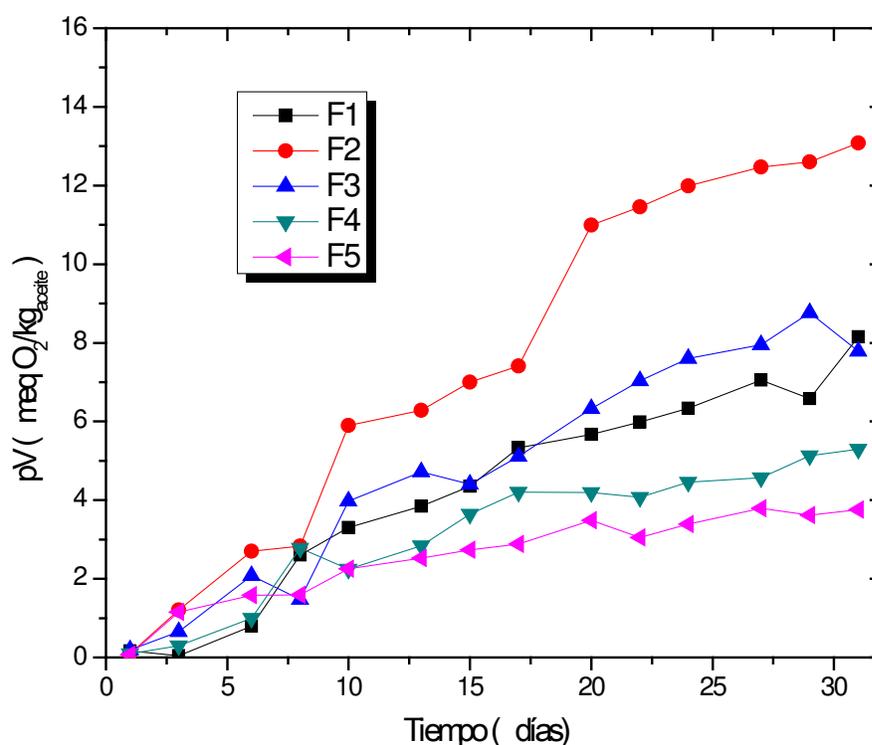


Figura 11. Formación de hidroperóxidos a través del tiempo en las diferentes formulaciones de galletas almacenadas a 4° C.

Las figuras 11 a 13 muestran que las formulaciones F4 y F5 son las que presentan menores velocidades de oxidación a las diferentes temperaturas de almacenamiento: 4, 25 y 35°C, respectivamente. Las formulaciones F4 y F5 contienen harina de lenteja cuya

fuerza es rica en polifenoles que tienen un efecto antioxidante (Silva-Cristóbal y col., 2010; Dueñas y col., 2006; Salinas-Moreno y col., 2005). La Formulación F4 fue adicionada con harina de lenteja y aceite de linaza sin encapsular y presenta una menor oxidación comparada con las formulaciones F1, F2 y F3, al comparar las formulaciones F2 y F4 se muestra el efecto antioxidante de los polifenoles de la harina de lenteja que disminuye la oxidación, aún en mayor grado que la formulación F3 que contiene microcápsulas de aceite de linaza, se puede concluir que hay un mayor efecto antioxidante debido a los polifenoles.

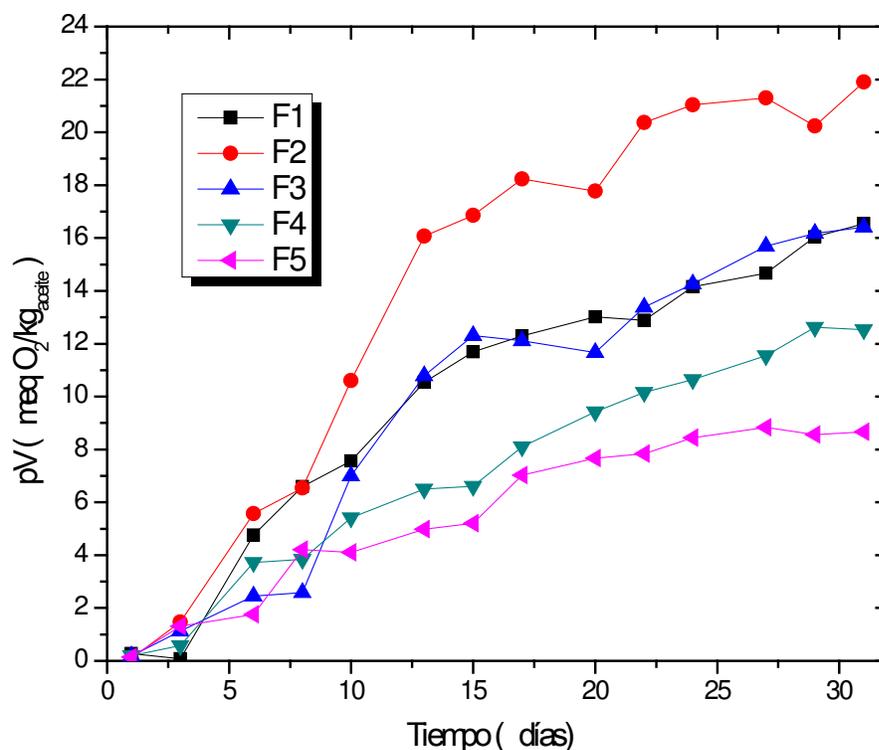


Figura 12. Formación de hidroperóxidos a través del tiempo en las diferentes formulaciones de galletas almacenadas a 25° C.

En la formulación F3 la membrana interfacial compuesta por la goma de mezquite disminuye la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, comparada con la formulación F2, pero no fue suficiente para incrementar la estabilidad del aceite de linaza adicionado en la formulación de las galletas, comparado con la formulación F1.

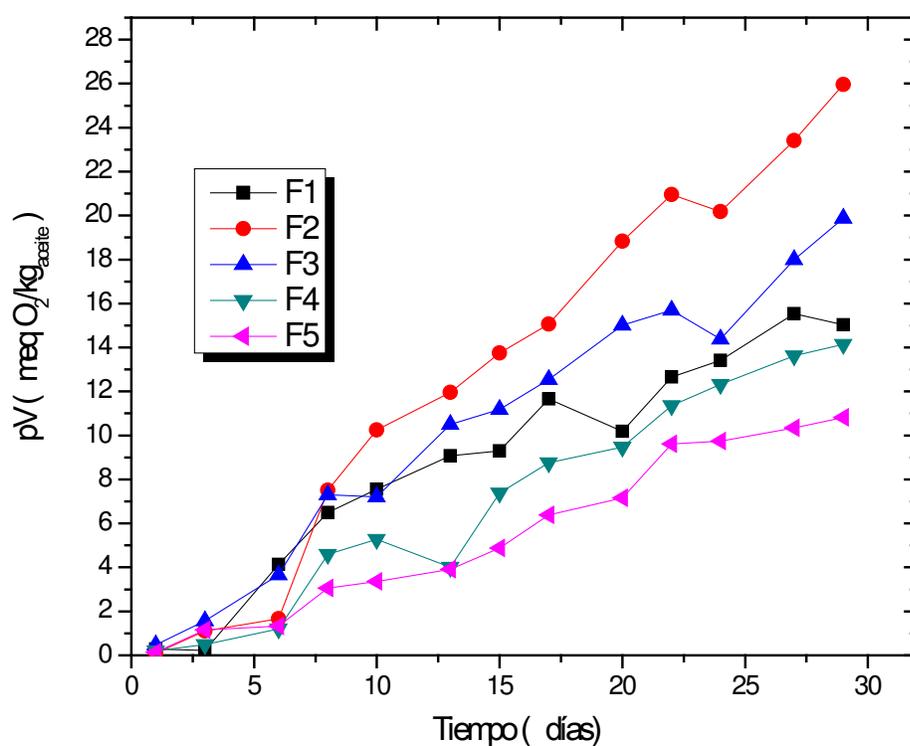


Figura 13. Formación de hidroperóxidos a través del tiempo en las diferentes formulaciones de galletas almacenadas a 35° C.

En todos los casos el incremento en la temperatura de almacenamiento incrementa la velocidad de formación de hidroperóxidos y como consecuencia se incrementa la velocidad de oxidación. La formulación F5 presentó la menor oxidación, como se

observa en las figuras 11 a 13, debido probablemente a un efecto sinergista, entre el contenido de polifenoles y la protección que brinda la matriz biopolimérica compuesta por la membrana interfacial de la goma de mezquite en las microcápsulas del aceite de linaza.

7.5.Vida de Anaquel

La vida de anaquel se determinó utilizando el método ASLT consiste en medir la velocidad de oxidación, descrita por la ecuación 3, de las muestras almacenadas a por lo menos 3 temperaturas diferentes, en este caso se utilizaron las temperaturas a 4, 25 y 35 °C. El primer paso es determinar la cinética de oxidación de las figuras 11 a 13, se probaron ajustes para una cinética de orden 0, 1 y 2. El mejor ajuste se logro para la cinética de orden cero con valores de R^2 mayores a 0.9. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Calligaris y col. (2007). En la Tabla XV se muestran los valores de la cinética de orden cero, esto significa que la velocidad de formación de hidroperóxidos no depende de la concentración de los mismos, es decir, la velocidad de formación de hidroperóxidos es constante y está determinada por la ecuación 6

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C]^0 = k \quad \text{Ec.6}$$

Al resolver la ecuación diferencial ordinaria anterior por el método de separación de variables se obtiene la ec. 7

$$C = kt$$

Ec. 7

Donde:

$$C = \text{Concentración de hidropéroxidos} \left(\frac{\text{meqO}_2}{\text{kg}_{\text{aceite}}} \right)$$

$$k = \text{constante de reacción} \left(\frac{\left(\frac{\text{meqO}_2}{\text{kg}_{\text{aceite}}} \right)}{\text{días}} \right)$$

$$t = \text{tiempo (días)}$$

Al graficar la C vs t, se obtiene la ecuación de una línea recta cuya pendiente es la constante cinética que representa la velocidad de formación de hidropéroxidos, los resultados se muestran en la Tabla XV. La constante cinética incrementa al incrementar la temperatura, la formulación F5 presentó los valores más bajos de k comparado con todas las formulaciones.

Tabla XV. Parámetros cinéticos de la formación de hidroperóxidos en las diferentes formulaciones de galletas, cinética orden cero.

Temperatura (°C)	Parámetros Cinéticos	F1	F2	F3	F4	F5
4	<i>k</i>	0.262	0.461	0.288	0.168	0.108
	<i>R</i> ²	0.95	0.96	0.95	0.91	0.90
25	<i>k</i>	0.533	0.745	0.577	0.420	0.295
	<i>R</i> ²	0.92	0.88	0.92	0.98	0.93
35	<i>k</i>	0.523	0.922	0.657	0.518	0.396
	<i>R</i> ²	0.95	0.98	0.97	0.97	0.98

Se determinó la vida de anaquel en las galletas simulando condiciones aceleradas al cuantificar la oxidación a la temperatura de 4, 25 y 35°C. La tabla XV muestra que la constante cinética de formación de hidroperóxidos incrementa al incrementar la temperatura, para todas las formulaciones. Los valores de la constante cinética (*k*) fueron menores para la formulación F5. La energía de activación para la formación de hidroperóxidos se obtuvo al utilizar el modelo de Arrhenius.

$$k = k_0 e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)}$$

Ec.4

$$\ln k = \ln k_0 - \left(\frac{E_a}{R}\right) \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 8}$$

Linealizandola ecuación de Arrhenius se obtiene la ecuación 8; al graficar ($\ln k$) vs ($1/T$) se obtienen los parámetros como la energía de activación (E_a) y k_0 , La Tabla XVI muestra los resultados de los parámetros cinéticos.

Para este análisis, en particular, se puede interpretar la energía de activación como la energía necesaria para que se formen los hidroperóxidos durante la oxidación de los lípidos; a menor energía de activación la formación de hidroperóxidos será mayor porque se requiere de menor energía para que los lípidos se oxiden. La formulación F5 presenta la mayor energía de oxidación y por lo tanto es la formulación más estable y la que presenta la menor oxidación. El cálculo de la energía de activación es un valor cuantitativo que representa con un valor numérico lo que se observa de forma cualitativa en las cinéticas de las figuras 11 a 13.

Tabla XVI. Parámetros del modelo de Arrhenius y energía de activación

Formulación	Ln k₀	m	R²	Ea (kJ/mol)
F1	6.133	-2059.05	0.90	17.12
F2	6.091	-1902.74	0.99	15.82
F3	7.288	-2359.06	0.98	19.61
F4	9.739	-3186.31	0.99	26.49
F5	10.928	-3639.86	0.99	30.26

El modelo cinético que permite predecir la formación de hidroperóxidos en función de la temperatura se obtiene al combinar las ecuaciones 4 y 7, así se obtiene la ecuación 9.

$$C = k_0 e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} t \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

$$C = \text{Concentración de hidroperóxidos} = \left(\frac{\text{mmol}_{\text{hidroperóxidos}}}{\text{kg}_{\text{aceite}}} \right)$$

$$k = \text{constante de reacción} \left(\frac{\left(\frac{\text{mmol}_{\text{hidroperóxidos}}}{\text{kg}_{\text{aceite}}} \right)}{\text{días}} \right)$$

$$t = \text{tiempo (días)}$$

E_a = Energía de activación del proceso de oxidación $\left(\frac{J}{mol}\right)$

R = Constante de los gases $\left(8.314 \frac{J}{molK}\right)$

T = Temperatura absoluta (K)

El modelo representado por la ecuación 9 permite determinar la concentración de hidroperóxidos con respecto al tiempo en función de la temperatura. Las tablas XVII, XVIII y XIX muestran las predicciones de formación de hidroperóxidos hasta 90 días a 4, 25 y 35 °C. Para estimar la vida de anaquel se toma como referencia $20 \frac{meqO_2}{kg_{aceite}}$ de hidroperóxidos (Calligaris, 2007), considerando que a este nivel las galletas ya no son aptas para consumo.

En la tabla XVII se muestra que las formulaciones más estables son la F4 y F5, la formulación F2 tendría una vida de anaquel entre 40 y 50 días almacenada a 4 °C. La tabla XVIII muestra que la vida de anaquel de las formulaciones F4 y F5 es de 50 y 70 días, respectivamente.

Tabla XVII. Predicción de la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 4°C

Tiempo (días)	Valor de peróxido $\left(\frac{meqO_2}{kg_{aceite}}\right)$				
	F1	F2	F3	F4	F5
29	8.02	13.45	8.62	5.09	3.28
31	8.57	14.37	9.20	5.43	3.50
40	11.03	18.52	11.85	6.98	4.49
50	13.77	23.13	14.79	8.71	5.60
60	16.50	27.73	17.73	10.43	6.70
70	19.24	32.34	20.67	12.15	7.80
90	24.71	41.56	26.55	15.60	10.00

Tabla XVIII. Predicción de la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 25°C

Tiempo (días)	Valor de peróxido $\left(\frac{meqO_2}{kg_{aceite}}\right)$				
	F1	F2	F3	F4	F5
29	13.48	21.76	15.62	11.32	8.14
31	14.40	23.26	16.69	12.10	8.70
40	18.55	29.98	21.51	15.58	11.20
50	23.17	37.45	26.87	19.46	13.98
60	27.78	44.93	32.22	23.33	16.75
70	32.40	52.40	37.58	27.20	19.53
90	41.63	67.34	48.29	34.95	25.08

Tabla XIX. Predicción de la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 35°C

Tiempo (días)	Valor de peróxido $\left(\frac{meqO_2}{kg_{aceite}}\right)$				
	F1	F2	F3	F4	F5
29	16.84	26.75	20.17	15.98	12.06
31	17.99	28.59	21.55	17.08	12.88
40	23.19	36.86	27.78	22.01	16.60
50	28.97	46.05	34.70	27.49	20.73
60	34.74	55.24	41.63	32.96	24.85
70	40.52	64.44	48.55	38.44	28.98
90	52.07	82.82	62.40	49.40	37.24

La tabla XIX muestra que la vida de anaquel de las galletas almacenadas a 35°C en orden decreciente es F5 (50 días), F4 (35 días), F3 (29 días), F1 (35 días) y la F2 (21 días). La mejor formulación es la F5 porque presenta la mayor vida de anaquel debido a que el aceite de linaza está microencapsulado y presenta un comportamiento sinérgico entre la protección de la matriz biopolimérica y el contenido de polifenoles de la lenteja.

Tabla XX. Información nutricional, sensorial y vida de anaquel de las formulaciones de galletas.

Formulación	Contenido en proteína	Contenido en ácido alfa linolénico	Sensorial (Aceptación)	°T de almacenamiento	Vida de anaquel (días)
1	7.29	0	69 %	4°C	70
				25°C	45
				35°C	35
2	7.39	1.10	67 %	4° C	45
				25° C	30
				35° C	20
3	8.54	1.08	91 %	4° C	70
				25° C	40
				35° C	30
4	10.04	1.10	84 %	4° C	90
				25° C	55
				35° C	35
5	10.26	1.03	73 %	4° C	90
				25° C	80
				35° C	50

8. CONCLUSIONES

El trabajo realizado se puede resumir en la tabla XX que nos permite hacer las respectivas conclusiones: el orden de menor a mayor en cuanto a contenido de proteína es F1, F2 , F3 , F4 y F5; en cuanto a contenido de ácido alfa linolénico no ha diferencia entre las formulaciones F2, F3, F4 y F5, únicamente la F1 no lo contiene debido a que es la formulación original y no contiene aceite de linaza. En cuanto al aspecto sensorial la de menor aceptación fue la F2, seguida por la F1, F5, F4 y la mejor la F3; en cuanto a la vida de anaquel la mejor fue la F5, seguida por la F4, F3, F2 y F1.

Englobando todo lo anterior tenemos que la mejor formulación es la 5 ya que además de aportar un nivel más alto en proteína, contiene ácido alfa linolénico en niveles muy adecuados, su aceptación es de 73%, que aunque no es la más alta es estadísticamente aceptable por los jueces no entrenados (consumidores), además de que es preferida a la formula casera original. Tiene una vida de anaquel de entre 50 y 90 días, lo cual indica que es la mejor formulación desde el punto de vista nutricional como de tecnología de alimentos. Se logró elaborar un alimento funcional que es muy apetecible y práctico para la mayoría de la población, desde niños hasta adultos.

LITERATURA CITADA

- 1) Aguilera Y, Dueñas M, Estrella I, Hernández T, Benitez V, Esteban R, Cabrejas M. 2010. Evaluation of Phenolic Profile and Antioxidant Properties of Pardina Lentil as Affected by Industrial Dehydration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 10101 – 10108.
- 2) Alexander AE, Johnson P. 1949. *Colloid Science*. Corran Books LTD. Carmarthenshire, West Wales, WA, Reino Unido.
- 3) Amarowicz R, Karamac M, Shahidi F. 2003. Antioxidant activity of phenolic fractions of lentil (*Lens culinaris* L.). *J. Food Lipids*, 10: 1-10.
- 4) Anandaraman S, Reineccius G. 1986. Stability of encapsulated orange peel oil. *Food Technology* 40 (11), 88-93.
- 5) AOAC, 1990
- 6) Aronson W.J., Glaspy J.A., Reddy S.T., Reese D. y Bagga D. 2001. Modulation of omega-3/omega-6 polyunsaturated relations with dietary fish oils in men with prostate cancer. *Urology* 58(2), 283-288.
- 7) Astiasarán I y Martínez A. 1999. *Alimentos: Composición y Propiedades*. McGraw Hill Interamericana Editorial: Madrid, pp. 155 – 162.

- 8) Badui S. 1993. Química de los Alimentos. Editorial Pearson Educación: México, pp. 217 - 222
- 9) Báez Gonzalez, J.G., 2008. Evaluación termofísica de los material utilizados en emulsiones y microcápsulas y análisis de su efecto en el retardo de la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados del aceite de linaza. UAM
- 10) Becher P, Robert E. 1966. Emulsions: Theory and Practice. Krieger Publishing Company: USA. pp. 1-4
- 11) Beristain C.I., Azuara E. y Vernon-Carter E.J. 2002. Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material. *Journal Food Science* 67, 206-211.
- 12) Berner C. 2011. Functional Foods Healthy Eating for a Better Life. American Fitness. 29(5) : 66 – 68.
- 13) Brand, J.C., Snow, D.J., Nabhan, G.P., Truswell, A.S. 1990. Plasma glucose and insulin responses to traditional Pima Indian meals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 51: 416–420.
- 14) Braverman J.B.S. 1980. Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. Editorial el Manual Moderno S.A. de C.V. México.
- 15) Britannica Encyclopaedia. 1959.
- 16) Butt M, Muhammad U, Muhammad S, Muhammad T. 2007. Bioavailability and storage stability of vitamin A fortificant (retinyl acetate) in fortified cookies. *Food Research International* vol. 40 (10).
- 17) Budwig J. 1994. Flaxoil as a true aid against arthritis, heart infarction, cancer and other diseases. Apple Tree Pub Co Ltd: EUA p. 64

- 18) Calligaris S, Manzocco L, Kravina G, Nicoli M. 2007. Shelf life modeling of bakery products by using oxidation indices. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55: 2004-2009
- 19) Carbide and Carbon Chemicals Corp. 1937. The preparation of emulsions and other products with triethanolamine $N(C_2H_4OH)_3$ and morpholine $O(C_2H_4)_2NH$. Vashon Island Books: Vashon, WA, E.U.A.
- 20) Castelli M. 2007. Los extractos vegetales son la novedad (Tendencia Funcional). *Énfasis Alimentación Latinoamérica*. 1: 78 – 80.
- 21) Chaudhari R. 2008. Fortificación de Alimentos para los “Baby Boomers.” *Industria Alimenticia* 19 (10).
- 22) Chuy L, Labuza T. 1994. Caking and stickiness of dairy-based food powders as related to glass transition. *Journal of Food Science* 59: 43-46.
- 23) Clayton W. 1943. The theory of emulsions and their technical treatment. Blakiston Publisher: EUA.
- 24) Clifford H, Mehmet C, Yingying X. 2006. Flaxseed. *Advances in Food and Nutrition Research*. 51: 1 – 97
- 25) Connor W. E. 2000. Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition* 71 (suppl.1) 171S- 175S.
- 26) Contreras J. 2002. Alimentación y Cultura. Necesidades, gustos y costumbres. Alfaomega Grupo Editor: México.
- 27) Coupland J.N. y McClements D.J. 1996. Lipidoxidation in food emulsions. *Trends in Food Science & Technology* 7: 83-91.
- 28) Djordjevic D, Cercaci L, Alamed J, McClements D, Decker E. 2007. Chemical and physical stability of citral and limonene in sodium dodecyl sulfate-chitosan and gum arabic-stabilized oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 55: 3585-3591.

- 29) Dueñas M, Hernández, T, Estrella, I. 2006. Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chemistry*, 98: 95–103.
- 30) Dziezak J.D. 1988. Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology* 42: 136 - 151.
- 31) Eder K, Slomma N, Becker K, Brandsch C. 2005. Effect of linseed oil supplementation on concentrations of (n – 3) polyunsaturated fatty acids in liver phospholipids of rats fed diets containing either an oil rich in conjugated linolenic acids, sunflower oil or high – oleic acid sunflower oil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* Vol. 89. Germany, 2005. pp. 45 – 54
- 32) El- Nahry F, Mourad F, Khalik S, Bassily N. 1980. Chemical composition and protein quality of lentils (*Lens*) consumed in Egypt. *Qual Plant Foods Human Nutrition* 30: 87 – 95.
- 33) Fernández-Orozco, R., Zielinski, H., & Piskula, M.K. 2003. Contribution of low-molecular-weight antioxidants to the antioxidants capacity of raw and processed lentil seeds. *Die Nahrung*, 47: 291–299.
- 34) Fox B, Cameron A. 2004. *Ciencia de los Alimentos, Nutrición y Salud*. Editorial Limusa Noriega Editores: México, pp. 12.
- 35) Francis C. 2007. Bienestar de adentro hacia afuera (Nutrición). Énfasis Alimentación Latinoamérica. Año XIII. No. 1: 74 - 76
- 36) Frias J., Miranda M., Doblado R., Vidal-Valverde C. 2005. Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. *Food Chem* 92: 211-220.
- 37) García M, Márquez G. 2009. Lipid Oxidation in Functional Dairy Products. *Current Nutrition and Food Science*. Vol. 5 fascículo 3.

- 38) Genot C, Meynier A, Riaublanc A. 2003. Lipid Oxidation in Emulsions. En: Lipid Oxidation Pathways, Afaf Kamal – Eldin (ed). AOCS Press: Illinois, pp. 190 -245.
- 39) Goycoolea FM, CalderonAM, Balderrama JR, Valenzuela JR. 1997. Immunological and functional properties of the exudate gum from the northwestern Mexican mesquite (*Prosopisspp.*) in comparison with gum Arabic. *International Journal Biol. Macromol.* 21, 29 - 36
- 40) Gunstone F.D. y Padley F.B. 1997. Lipid technologies and applications. Ed. Marcel Decker, Inc, New York.
- 41) Halliwell B., Murcia M.A., Chirico S. y Aruoma O.I. 1995. Free radicals and antioxidants in food and in vivo: What they do and how they work. *Critical Review of Food Science Nutrition* 35, 7-20.
- 42) Hall III C, Mehmet C, Tulbek, Yingying X. 2005. Flaxseed. *Advances in Food and Nutrition Research* Vol. 51.
- 43) Harel Z., Gascon G., Riggs S., Vaz R., Brown W. y Exil G. 2002. Supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids in the management of recurrent migraines in adolescents. *Journal Adolescent Health* 31(2), 154-161.
- 44) Harper C, Edwards M, Jacobson T. 2006. Flaxseed oil supplementation does not affect plasma lipoprotein concentration or particle size in human subjects. *The Journal of Nutrition: Nutrition and Disease.* 136: 2844 – 2848
- 45) Hearn T.L., Sgoutas S.A., Hearn J.A. y Sgoutas D.S. 1987. Polyunsaturated fatty acids and fat in fish flesh for selecting species for health benefits. *Journal of Food Science* 52, 1209-1212
- 46) Holčapek M., Bandera P., Zderadička P. y Hrubá L. 2003. Characterization of triacylglycerol and diacylglycerol composition of plants oil using high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1010: 195-215.

- 47) Huber, G.M.; H.P.V. Rupasinghe. 2009. Phenolic Profiles and Antioxidant Properties of Apple Skin Extracts. *Journal of Food Science* 74 (9).
- 48) Hussain S, Anjum F, Butt M, Alamri M, Shabbir M. 2012. Development and Evaluation of Nutritionally Superior Baked Products Containing Flaxseed. *Pakistan Journal of Nutrition*. Vol. 11 issue 2 pp. 160 – 165.
- 49) IFIC.ORG
- 50) Jacobsen C. 2010. Enrichment of foods with omega – 3 fatty acids: a multidisciplinary challenge. *Annals of the New York Academy of Sciences*. Issue: Foods for Health in the 21st Century. 1190 (1).
- 51) Kagami Y., Sugimura S., Fujishima N., Matsuda K., Kometani T. y Matsumura Y. 2003. Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. *Journal of Food Science* 68 (7), 2248-2255.
- 52) Kristott J. 2000. Fats and oils. In: *The stability and shelf – life of food*, Kilcast D and Subramaniam P (eds). Woodhead Publishing Limited: Cambridge, England, pp. 279 - 307
- 53) Kirk RS, Sawyer R, Egan H. 2004. *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. CECSA: México, pp. 348 - 350
- 54) Kondo A. 1979. *Microcapsule Processing and Technology*. Marcel Dekker Inc: EUA., pp. 1 – 10.
- 55) Latham M. 2002. *Procesamiento y Fortificación de Alimentos*. En: *Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo*. Depósito de Documentos de la FAO. Colección FAO Alimentación y Nutrición No. 29 Roma.
- 56) López Y, Goycoolea F, Valdez M, Caderón A. 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia* 31 (003).

- 57) Lowenberg M, Todhunter E, Wilson E, Feeney M, Savage J. 1985. Los Alimentos y el Hombre. Editorial Limusa: México, pp. 13 – 23.
- 58) Mahan L, Stump S. 1998. Nutrición y Dietoterapia de Krause. Editorial McGraw – Hill Interamericana: México. pp. 51 - 53.
- 59) Man D. 2002. Shelflife. FoodIndustryBriefing Series. BlackwellScience: Oxford, UK.
- 60) Márquez-Ruiz G., Velasco J. y Dobarganes C. 2003. Oxidation in dried microcapsulated oil. En Lipid Oxidation Pathways. Editor Kamal-Eldin A. AOAC Press, Champaign, Illinois.
- 61) Matsuno R. y Adachi S. 1993. Lipid encapsulation technology- techniques and applications to foods. *Trends Food Science Technology* 4, 256-261.
- 62) Matthews R. 1989. Legumes: Chemistry, Technology and Human Nutrition. Marcel Dekker Inc. USA, P. 7.
- 63) McClements D J. 1999. Food Emulsion: Principles, Practice ad Techniques. CRC Press. Boca Raton, FL., EUA.
- 64) McNamee B. F., O’Riordan E. D. y O’Sullivan M. 2001, Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49, 3385-3388.
- 65) Moise, J. A., Han, S., Gudynaite-Savitch, L., Johnson, D. A., and Miki, B. L. A. (2005). Seed coats: structure, development, composition, biotechnology. *In Vitro Cellular Developmental Biology — Plant*, 41, 620–644.
- 66) Morones, P, 2007. *Efecto de la adición de una leguminosa (Lens culinaris) en la preparación de galletas de avena sobre el valor nutricional*. Tesis (licenciatura). UANL
- 67) Nawar W.W. 1996. Lipids. En Fennema O R, editor Food Chemistry, 3^{er}ed. New York; Marcel Decker, p 225-319.

- 68) Oomah B.D. 2001. Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 889-894.
- 69) Pedrero D, y Pangborn R. 1989. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos. Editorial Alhambra Mexicana: México. pp. 103 – 107.
- 70) Pérez A, Klein B. 2009. Impact of fortified blended food aid products on nutritional status of infants and Young children in developing countries. *Nutrition Reviews*. Vol. 67 (12).
- 71) Plyer, E. 1988. Baking Science & Technology. Sosland Publishing Company: E.U.A., p. 1013.
- 72) Ragnarsson J, Labuza T. 1977. Accelerated shelf-life testing for oxidative stability in foods-a review. *Food Chem.* 2: 291-308.
- 73) Rahman T, Ahmed A, Islam M, Hosen M. 2010. Physiological Study and both *in vitro* and *in vivo* Antifungal Activities against *Stemphylium botryosum* causing Stemphylium Blight Disease in Lentil (*Lens culinaris*). *Plant Pathology Journal* 9 (4) 179 – 187.
- 74) Ré M.I. 1998. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology* 16, 1195-1236.
- 75) Rebolledo M, Sangronis E, Barbosa G.V. 1999 Evaluación de galletas dulces enriquecidas con germen de maíz y fibra de soya. ALAN (Archivos Latinoamericanos de Nutrición). Volumen 49 (3): 253 - 259
- 76) Risch S. 1995. Encapsulation: overview of uses and techniques. En: Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients. Risch, S.J. y Reineccius, G.A. (Ed). Cap. 1. ACS Symp. Ser 590.
- 77) Rodríguez-Huezo M.E., Pedroza-Islas R., Prado-Barragán L.A., Beristain C.I. y Vernon-Carter E.J. 2004. Microencapsulation by spray-drying of multiple emulsions containing carotenoids. *Journal Food Science* 69, 7, E351-E359.

- 78) Salinas-Moreno, Y., Rojas-Herrera, L., Sosa-Montes, E., and Pérez-Herrera, P. (2005). Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. *Agrociencia*, 39, 385–394.
- 79) Scalbert A, Manach C, Morand C, Rémésy C y Jiménez L. 2005. Dietary Polyphenols and the prevention of diseases. *Critical reviews in food science and nutrition*. 45, 4. P 287 - 306
- 80) Schulz D. 1949. Polymers as rheology modifiers: developed from a Symposium sponsored by the Division of Polymeric Materials: Science and Engineering at the 198th National Meeting of the American Chemical Society. Miami Beach, Florida.
- 81) Shahidi F, Han X. 1993. Encapsulation of Food ingredients. *Critical Reviews in Food Science Nutrition* 33 (6):501-547.
- 82) Shanta N.C. y Decker E.A. 1994. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal of AOAC International* 77, 2, 421-424.
- 83) Sharma, Shri K.; Steven J. Mulvaney. 2003. *Ingeniería en Alimentos. Operaciones Unitarias y prácticas de laboratorio*. Editorial Limusa Wiley. México.
- 84) Silva-Cristobal, L.; P. Osorio-Díaz, J.; Tovar and L.A. Bello-Pérez. 2010. Chemical composition, carbohydrate digestibility, and antioxidant capacity of cooked black bean, chickpea, and lentil Mexican. *CyTA – Journal of Food*. Vol. 8, No. 1, 7–14.
- 85) Simopoulos A.P. 2000. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids, Symposium: Role of poultry products in enriching the human diet with N-3 PUFA. *Poultry Science* 79:961-970.
- 86) Simopoulos A.P. 1997. Genetic variation and nutrition. *Food Reviews International* 12 (3): 273-277.

- 87) Stafford HR. 1968. Process Biochemistry, 3,58.
- 88) Steele, R. 2004. Understanding and measuring the shelf – life of food. Woodhead Publishing Limited: Inglaterra.
- 89) Sultana, C. 1996. Oleaginous flax. En: Oils & Fats Manual. A. Karleskind y J.-P. Wolff (Ed) Vol. 1, Intercept Ltd., Andover. Pp. 154-168.
- 90) Sutheim G. 1946. Introduction to emulsions. Chemical publishing: EUA p. 260
- 91) Thompson J, Manore M, Vaughan L. 2008. Nutrición. Editorial Pearson Addison Wesley. España.
- 92) Viviant V. 2007. Productos dietéticos en la mira (Alimentación y Salud). Énfasis Alimentación Latinoamérica. Año XIII, No. 1: 82 – 86.
- 93) Vázquez C, de Cos I; López C. 2005. Alimentación y Nutrición. Manual teórico – práctico. Díaz de Santos Ediciones. España.
- 94) Vernon-Carter E.J., Beristain C.I., and Pedroza-Islas R. 2000. Color Mesquite gum (*Prosopisgum*). En: Novel macromolecules in food systems. Doxastakis G. y Kiosseoglou V. (Ed) Amsterdam: Elsevier. 217-238.
- 95) Vernon-Carter E.J., Gómez S.A., Beristain C.I., Mosqueira G., Pedroza-Islas R. y Moreno-Terrazas R.C. 1996. Color degradation and coalescence kinetics of Aztec marigold oleoresin-in-water emulsions stabilized by mesquite or arabic gums and their blends. *Journal of Texture Studies* 27, 625-641.
- 96) Vernon-Carter E.J., Pedroza-Islas R. y Beristain C.I. 1998. Stability of *Capsicum annum* oleoresin-in-water emulsions containing *Prosopis* and *Acacia* gums. *Journal of Texture Studies* 29: 553-567.
- 97) Villa B., Calbresi L., Chiesa G., Rise P., Galli C., Sirtori C. 2002. Omega-3 fatty acid ethyl esters increase heart rate variability in patients with coronary disease. *Pharmacology Res.* 45 (6), 475.

- 98) Wade, P. 1967. Food Trade Review 35, 47.
- 99) Wade P, Watkin D. Food Trade Review 36, 44.
- 100) Walter R. 1997. Polysaccharide Dispersions: Chemistry and Technology in Food. Academic Press: EUA. p. 236
- 101) Wardlaw G, Hampl J, DiSilvestro R. 2004. Perspectivas en Nutrición. Editorial McGraw Hill. México.
- 102) Waterman K, Adami, R. 2005. Accelerated testing: Prediction of chemical stability of pharmaceuticals. Int. J. Pharmacol. 293: 101-105.
- 103) Woolf H B. 1979. Webster`s New Collegiate Dictionary. G & C Merriam Company.
- 104) Yadav S, Rizvi A, Manohar M, Verma A, Shrestha R, Chen G, Bejica G, Chen W, Yadav M y Bahl N. 2007. Lentil Growers and Production Systems Around the World. En: Lentil: An Ancient Crop for Modern Times, Yadav *et al* (eds). Springer: USA 415 – 442.
- 105) Yalçын H, Ünal, Mustafa K, Basmacıool H. 2007. The fatty acid and cholesterol composition of enriched egg yolk lipids obtained by modifying hens' diets with fish oil and flaxseed. Grasas y aceites 58: 372 – 378.
- 106) Yuzbasioglu E, Acik L, Ozcan S. 2008. Seed protein diversity among lentil cultivars. Biologia Plantarum. 52 (1):126 – 128.
- 107) Zou Y, Chang S, Gu Y, Quian S. 2011. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Lentil (*Lens culinaris* var. Morton) Extract and Its Fractions. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 59: 2268 – 2276.