

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



**Desarrollo y evaluación de la calidad de una galleta funcional
adicionada con microcápsulas de extracto de *Moringa oleifera* y *Carya
illinoensis***

Por:

SUSELY MAYBRITH PÉREZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Programa Docente de ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Desarrollo y evaluación de la calidad de una galleta funcional
adicionada con microcápsulas de extracto de *Moringa oleifera* y *Carya
illinoensis***

T E S I S

Presentada por

SUSELY MAYBRITH PÉREZ PÉREZ

Y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité



Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón

Asesor principal



Dr. Josué Israel García López

Co-asesor



Dra. Xochitl Ruelas Chacón

Co-asesor



Dr. Alberto Antonio Neira Vielma

Asesor externo

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Programa Docente de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Desarrollo y evaluación de la calidad de una galleta funcional
adicionada con microcápsulas de extracto de *Moringa oleifera* y *Carya
illinoensis***

T E S I S

Presentada por

SUSELY MAYBRITH PÉREZ PÉREZ

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Dra. Xochitl Ruelas Chacón

Presidente



Dr. Josué Israel García López

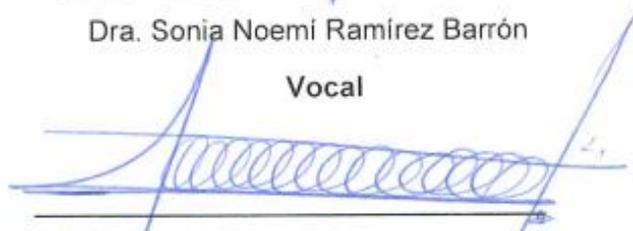
Vocal

APROBADA



Dra. Sonia Noemi Ramírez Barrón

Vocal



Dr. Alberto Antonio Neira Vielma

Vocal



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **Dios** por cada una de las bendiciones recibidas a lo largo mi vida, por la familia que me ha dado, por las personas que me ha puesto en mi camino, por ser mi principal refugio y fortaleza.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de pertenecer a esta gran institución, por brindarme un hogar, por cobijarme y darme las herramientas necesarias para lograr este sueño y la oportunidad de obtener una formación profesional, así como inolvidables momentos.

A mi amiga **Gladys Guadalupe Martell Leyva** con quien viví momentos inmemorables, aventuras y momentos de estrés. Gracias por tu apoyo incondicional, por no dejarme sola y por hacerme parte de tu familia en esta etapa de mi vida. La amistad más bonita entre una local y una foránea, sabes que te aprecio y me alegra saber que ya tengo a una amiga Ingeniera, que nuestra amistad dure para siempre.

A mi amigo **José Jaime Gutiérrez Vázquez** con quien compartí momentos inmemorables, gracias por el apoyo brindando durante mis momentos difíciles, por las risas y aventuras vividas, sin duda alguna una de las amistades que me gustaría conservar por siempre.

A mi amigo de toda la vida **Yoni Mendoza Hernández** a pesar de la distancia siempre estuviste ahí cuando más te necesite, gracias por cada consejo, cada palabra de aliento y nunca dejarme sola, la única amistada que a través de los años se hace más fuerte.

“los verdaderos amigos duran hasta el fin, el resto son etapas del pasado”

A mi asesora **Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón** por apoyarme a resolver mis dudas, dándome sus consejos y proporcionándome sus conocimientos. Una persona del cual solo me queda expresarme con mucho respeto y admiración.

A mis co-asesores **Dra. Xochitl Ruelas Chacón, Dr. Josué Israel García López, Dr. Alberto Antonio Neira Vielma** por gran su apoyo y colaboración para haber culminado con éxito este trabajo, agradeciendo de antemano el tiempo dedicado; mis respetos para todos, fue un honor haber colaborado con ustedes.

DEDICATORIAS

El presente trabajo tiene una especial dedicatoria a la memoria mi hermano **Isael Pérez Pérez** por ser la primera persona que creyó en mí y que en todo momento me impulso para seguir mi sueño, un sueño que planeábamos vivir juntos, sé que desde el cielo estas feliz, ha sido un camino difícil, pero hoy puedo decir “lo logramos”

A mis padres el señor **Narciso Pérez Pérez** y la señora **Patricia Pérez Mundo** por ser mi principal inspiración, por su sabiduría para guiarme, ejemplo de perseverancia, apoyo incondicional emocional y económicamente durante este camino, gracias por darme esta maravillosa oportunidad de vida, “este logro también es de ustedes”

A mi hermano **Rolando Pérez Pérez** gracias por acompañarme en cada paso que doy, por escuchar cada uno de mis dramas, por apoyarme en cada una de mis decisiones, por nunca dejarme sola y por el amor que me tienes. “verte triunfar también es parte de mis sueños”

A mis pequeños:

Emiliano Ángeles Chávez cuando naciste y te tome entre mis brazos te ganaste mi corazón, gracias por ser el angelito que trajo alegría a mi vida, por cada maravilloso recuerdo, por cada una de tus ocurrencias y por tu amor incondicional. No dejas de asombrarme con tu inteligencia y bondad

Tadeo Emmanuel Villa Pérez gracias por nunca dejarme sola, por estar ahí alegrándome mis días con cada una de tus ocurrencias, por acompañarme en cada paso que doy y por tus abrazos llenos de paz

“Cuenten conmigo para lo que sea y no dejen de soñar en grande”

A mi abuela paterna la señora **Mercedes Pérez Pérez** por el amor incondicional que solo una abuela puede dar, gracias por impulsarme a seguir mis sueños, por estar al pendiente de mi en todo momento a pesar de la distancia.

A mi tia **Hermelinda Pérez Pérez** gracias por el apoyo brindado a lo largo de mi vida, por esas largas platicas y por estar en cada meta cumplida.

A mis tíos abuelos

El señor **Leoncio Pérez Otero** y **Juan Pérez Otero** por ser un ejemplo de superación y perseverancia, gracias por compartir conmigo cada meta cumplida y estar en los mejores momentos de mi vida.

A la memoria de mi abuelo **Jesus Pérez Pérez** por ser un gran ejemplo, sin duda alguna el mejor abuelo que la vida me pudo dar, gracias por dejarme la herencia más valiosa, el inculcarme el amor a la familia y los valores que rigen actualmente mi vida.

índice

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
índice.....	IV
Índice de ilustración	VIII
Índice de tablas	IX
Introducción	1
2. Hipótesis.....	5
3. Objetivos.....	5
3.1 Objetivo General	5
3.2 Objetivos específicos.....	5
4. Justificación	6
5. Antecedentes.....	8
5.1. Microcápsulas.....	8
5.1.1. Métodos de obtención.....	9
5.1.2. Materiales para la obtención de microcápsulas	12
5.2. Nuez	13
5.2.1 Actividad antioxidante de extractos de cáscara de nuez.....	19
5.2.2. Aplicaciones de la cáscara de nuez.....	20
5.3. <i>Moringa oleífera</i>	21
5.4. Extractos con alto contenido de proteína de <i>Moringa oleífera</i>	22
5.5. Alimentos funcionales.....	22
5.5.1. Alimentos adicionados con antioxidantes	23
5.5.2. Alimentos adicionados con proteínas	24
6. Metodología	26
6.1. Localización del estudio	26
6.2. Preparación de los extractos	26
6.2.1. Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos	27
6.2.1.1 ABTS	27
6.2.1.2 DPPH	27
6.2.1.1 FRAP	28
6.2.2. Determinación del contenido de proteínas de los extractos obtenidos.....	28
6.3. Preparación de microcápsulas de alginato cargadas con extractos de nuez y moringa.....	30

6.3.1. Caracterización de microcápsulas cargadas con los extractos	31
6.3.1.1. Determinación de tamaño y morfología de las microcápsulas mediante microscopía óptica	31
6.3.1.1. Caracterización química mediante espectroscopía infrarroja (FT-IR)	31
6.4. Elaboración de una galleta adicionada microcápsulas de extractos de moringa y cáscara de nuez	31
6.4.1. Análisis bromatológico.....	32
6.4.1.2. Determinación de grasas	32
6.4.1.3. Determinación de fibra	33
6.4.1.4. Determinación de cenizas	35
6.4.1.5. Determinación de humedad	36
6.4.1.6. Determinación de azúcares por diferencia	37
6.5. Análisis sensorial	37
6.6. Análisis estadístico	38
7. Resultados	39
7.1. Determinación de proteína y capacidad antioxidante de los extractos obtenidos	39
7.2.1. Caracterización de microcápsulas mediante FT-IR	41
7.3. Preparación de microcápsulas de alginato cargadas con extractos de nuez y moringa.....	43
7.3.1. Determinación del tamaño de partícula mediante microscopía óptica.....	46
7.4. Elaboración de una galleta adicionada microcápsulas de extractos de moringa y cáscara de nuez	46
7.4.1. Análisis bromatológico.....	47
7.4.1.1. Determinación de proteínas.....	47
7.4.1.2. Determinación de grasas	47
7.4.1.3. Determinación de fibra	48
7.4.1.4. Determinación de cenizas.....	48
7.4.1.5. Determinación de humedad	49
7.4.1.6. Determinación de azúcares por diferencia	49
7.5. Análisis sensorial	50
7.5.1 Apariencia global.....	51
7.5.2 Color.....	52
7.5.3 Olor	52
7.5.4 Sabor	53
7.5.5 Textura.....	54

7.5.6 Aceptación global	54
7.6. Análisis estadístico	56
8. Conclusiones	57
9. Bibliografía.....	58

Índice de graficas

Grafica 1. Caracterización de microcápsulas mediante FT-IR	41
Grafica 2. Apariencia Global	51
Grafica 3. Color	52
Gráfica 4. Olor.....	53
Gráfica 5. Sabor	53
Grafica 6. Textura	54
Gráfica 7. Aceptación global	55

Índice de ilustración

Ilustración 1 compuestos de la cascara de nuez	19
Ilustración 2. Digestión de las muestras.....	29
Ilustración 3. Destilación de las muestras	29
Ilustración 4. Titulación de las muestras	30
Ilustración 5 Determinacion de fibra.....	34
Ilustración 6 Determinacion de ceniza	35
Ilustración 7. Análisis termogravimetrico del alginato y de las microcapsulas de alginato con extracto de moringa (MAM) y cáscara de nuez (MACN).....	43
Ilustración 8. Microcápsulas de cáscara de nuez	44

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química de hojas secas de Moringa (<i>M. oleifera</i> lam.)	3
Tabla 2. Composición química de la cáscara de nuez.....	3
Tabla 3. Composición proximal de la nuez pecanera	15
Tabla 5 Contenido de minerales y vitaminas de la nuez pecanera	17
Tabla 6. Capacidad antioxidante de extracto de moringa.....	39
Tabla 7. Capacidad antioxidante de extracto de cascara de nuez.....	39
Tabla 8. Contenido de proteína de los extractos.....	40
Tabla 9. Determinación de proteína.....	47
Tabla 10. Determinación de grasa	47
Tabla 11. Determinación de fibra	48
Tabla 12. Determinación de cenizas.....	48
Tabla 13. Determinación de humedad	49
Tabla 14. Determinación de azúcares	49
Tabla 15. Análisis proximal de galletas con microcápsulas de extracto de moringa y cáscara de nuez	56
Tabla 16. Análisis sensorial de galletas con microcápsulas de extracto de moringa y cáscara de nuez	56

Introducción

El acelerado estilo de vida, propio de finales del siglo XX e inicios del siglo XXI, han generado importantes cambios en materia alimentaria a nivel mundial. Los nuevos y algunas veces poco saludables hábitos alimenticios de la población junto con el sedentarismo y el estrés inducen al incremento de enfermedades como la diabetes, la obesidad, hipertensión arterial y cáncer entre otras, que se convierten en un problema de salud pública en muchos países (Guesry, 2005).

Por otra parte, en países subdesarrollados las desigualdades económicas hacen que un importante porcentaje de la población no tenga acceso a los alimentos en calidad y/o cantidad suficiente, lo que ocasiona desnutrición y retraso en el desarrollo físico. En busca de una respuesta a dichos problemas de salud y gracias a los importantes avances científicos y al desarrollo tecnológico, actualmente se pretende fomentar el consumo de alimentos que además de una nutrición básica aporten beneficios adicionales para la salud y el bienestar de la población, teniendo en cuenta sus características genéticas, ambientales, sociales y culturales (Roberfroid, 1999), por lo cual en la actualidad, el concepto de nutrición ha evolucionado notablemente gracias a la investigación constante en ciertas áreas de interés. Las prioridades ya no se encuentran centradas en las carencias nutricionales, el interés actual radica en la relación entre alimentación y enfermedades crónicas no transmisibles, considerando los efectos de la nutrición sobre desarrollo cognitivo y psicomotor, inmunidad, crecimiento y composición corporal, entre otros. Los consumidores, conscientes de sus necesidades buscan en el mercado aquellos productos que contribuyan a su salud y bienestar. Siguiendo esta tendencia, reciben abundante información sobre las propiedades saludables de los alimentos, en especial de aquellos alimentos que ejercen una acción beneficiosa sobre algunos procesos fisiológicos y/o reducen el riesgo de padecer una enfermedad (Araya, 2003). Ya que en estos alimentos que promueven la salud han sido denominados alimentos funcionales y las empresas que los producen presentan una rápida expansión mundial. Los alimentos funcionales son alimentos en los que algunos de sus componentes afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional. Dicho efecto puede ser contribuir a la mantención de la salud y bienestar, a la disminución del riesgo de enfermar, o ambas cosas (Ashwell, 2005).

Existe creciente interés en el desarrollo de extractos antioxidantes como ingredientes funcionales. Estos resultados sugeridos que, durante la optimización de las condiciones de extracción de compuestos

antioxidantes de plantas, además de la influencia de la capacidad antioxidante y el rendimiento, deben tenerse en cuenta las características sensoriales de los extractos.

Extractos de bayas aporta poderosas propiedades antioxidantes que pueden ser beneficiosas al reducir las reacciones oxidativas perjudiciales para la salud. Por tanto, las actividades de los antioxidantes naturales dependen en gran medida del sistema y su eficacia en diferentes sistemas alimentarios reales es difícil de predecir (Frankel, 2000)

Las primeras investigaciones sobre el rol de los antioxidantes en biología se centraron en su uso en la prevención de la oxidación de grasas insaturadas, que es la causa de la rancidez. La actividad antioxidante podía ser medida simplemente colocando la grasa en un contenedor cerrado con oxígeno y midiendo la tasa de consumo de este. Sin embargo, fue la identificación de las vitaminas A, C, y E como antioxidantes la que revolucionó el campo y condujo a dilucidar la importancia de los antioxidantes en la bioquímica de los organismos vivos.

Los posibles mecanismos de acción de los antioxidantes fueron investigados por primera vez cuando fue reconocido que una sustancia con actividad antioxidante es probable que sea una que se oxida a si misma fácilmente (Pupo, 2017).

Estudios recientes han demostrado que los granos de nuez pueden mejorar el perfil de lípidos del suero humano y reducir la baja densidad niveles de lipoproteínas, debido a su alto contenido de grasas monoinsaturadas y contenido de ácido. Los granos de nuez contienen mayor capacidad antioxidante y extraíble total contenido fenólico dentro del grupo de frutos secos, clasificándolos entre los alimentos con mayor contenido fenólico. Según varios estudios, los fenólicos tienen propiedades antirradicales. Actividad que se cree, reduce la incidencia de enfermedades crónicas, como Alzheimer, Parkinson, algunos tipos de cáncer y otras enfermedades degenerativas (Awika & Rooney, 2004).

Las hojas de *Moringa oleifera* (*M. oleifera*) son ricas en fitonutrientes vitales, lo que sugiere un equilibrio prometedor de ingredientes alimentarios para la dieta humana y animal. las hojas se han utilizado para combatir la desnutrición, especialmente entre los lactantes y las madres lactantes. Tradicionalmente, las hojas de *M. oleifera* se han utilizado para tratar muchas dolencias, como debilidad nerviosa, parálisis, asma, diabetes, presión arterial, diarrea, fiebre, tos, cólera, espasmos, agrandamiento del hígado y el bazo, infecciones y úlceras e inflamación. y promover la cicatrización de heridas (Mishra G, 2011).

Tabla 1. Composición química de hojas secas de Moringa (*M. oleifera lam.*)

Valor nutritivo	Hoja seca	Error
Humedad (%)	9.53	0.19
Proteína bruta (%)	30.29	1.48
Grasa (%)	6.50	1.04
Ceniza (%)	7.64	0.43
Fibra detergente neutra (%)	11.40	0.42
Fibra detergente ácida (%)	8.49	0.34
Detergente ácido lignina (%)	1.8	2.20
Detergente ácido celulosa (%)	4.01	0.10
Taninos condensados (%)	3.12	0.10
Polifenoles totales (%)	2.02	0.39

(Alfaro, 2008) Valores expresados en base seca (g/100 g).

En la nuez pecanera, las dos fracciones en donde se han identificado y caracterizado en forma consistente fitoquímicos son fundamentalmente en la almendra y en la cáscara. Adicionalmente, una tercera fracción en la que también se han encontrado compuestos bioactivos la constituye el aceite. En su composición de fitoquímicos, la almendra y particularmente la cáscara de la nuez pecanera tienen un alto contenido de compuestos flavonoides, fenólicos totales y proantocianidinas o taninos condensados los cuales son de gran interés nutricional y medicinal debido a su gran capacidad antioxidante ya que pueden proporcionar beneficios deseables para la salud humana, es decir, poseen acción nutracéutica al otorgar protección ante enfermedades crónicas-no transmisibles como diabetes, arterioesclerosis, cáncer, entre otras (Lim, 2012).

Tabla 2. Composición química de la cáscara de nuez

Compuesto	Almendra	Cáscara
	Composición química	
Proteína (g/100g)	7.50	2.84
Lípidos (como extracto etéreo) (g/100g)	66.18	0.39
Carbohidratos (g/100g)	1.55	34.57
Humedad (g/100g)	9.51	11.30

Cenizas (g/100g)	1.88	1.85
Fibra cruda (g/100g)	9.6	48.47
Nitrógeno no proteico (g/100g)	0.06	---
Energía (kcal/100g)	691 (2,889 kJ)	---

(Lim, 2012) Nota: Los valores son expresados en gramos por 100 g de porción comestible o cáscara

Para proteger de su degradación a los antioxidantes y compuestos proteicos al ser sometidos a altas temperaturas, se han desarrollado procesos tecnológicos, tales como la encapsulación. La cual es un proceso que permite contener una sustancia o agente activo en el interior de otra que constituye el recubrimiento, la encapsulación mejora la incorporación de moléculas bioactivas o nutraceuticos (antioxidantes, minerales, vitaminas, fitoesteroles, luteínas, ácidos grasos, licopeno, etc.), esta proporciona una barrera física entre los compuestos bioactivos sensibles y el medio ambiente. Lo que permite estabilizar los ingredientes de los alimentos durante el procesamiento y en el producto final, al reducir procesos de degradación como la oxidación o la hidrólisis, lo que incrementa la biodisponibilidad de los principios activos. Además, permite la liberación del contenido a una velocidad controlada a lo largo del tiempo o bajo condiciones específicas en el sitio deseado (Nedovic et al., 2011).

2. Hipótesis

La adición de microcápsulas con extracto de moringa y nuez incrementará el contenido nutricional de las galletas elaboradas

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar una galleta funcional adicionada microcápsulas de extractos de moringa y cáscara de nuez con alto contenido proteico y antioxidante y evaluar su calidad a través de un análisis nutricional y sensorial

3.2 Objetivos específicos

- Encapsular extractos con alto contenido proteico a partir de *Moringa oleifera* mediante una matriz de alginato
- Encapsular extractos con alta actividad antioxidante a partir de cáscara de *Carya illinoensis* usando como matriz alginato
- Caracterizar las microcápsulas con extracto de *M. oleifera* y *C. illinoensis* mediante microscopía óptica, FT-IR y TGA
- Incorporar las microcápsulas obtenidas al proceso de elaboración de una galleta de chocolate
- Determinar el contenido nutricional del alimento obtenido
- Evaluar sensorialmente el alimento funcional obtenido una prueba de hedónica del alimento funcional obtenido

4. Justificación

En la actualidad el conocimiento en base a los grandes beneficios que nos otorga la moringa es desconocido aun por muchos, por lo cual en este trabajo se pretende crear conciencia sobre el uso de este, para la creación de un alimento funcional. El mayor contenido proteico y de antioxidantes se encuentran en la hoja, el cual se ha utilizado para tratar muchas dolencias, como debilidad nerviosa, parálisis, asma, diabetes, presión arterial, diarrea, fiebre, tos, cólera, espasmos, agrandamiento del hígado y el bazo, infecciones y úlceras e inflamación. y promover la cicatrización de heridas (Mishra G, 2011). por lo cual se pretende aprovechar esto mediante la microencapsulación y así poder añadirlo al alimento sin perder estas propiedades.

La nuez pecanera es una actividad económica muy importante en el norte de México y sur de los Estados Unidos. Los cinco principales estados productores en México los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León.

La producción de esta nuez en México ha aumentado cerca de 80% en los últimos trece años (2013-2018) alcanzando actualmente alrededor de 160 mil toneladas (SIAP, 2019). Sin embargo, esta importante industria trae consigo inconvenientes, puesto que anualmente se generan 3,200 toneladas de residuos agroindustriales, los cuales incluyen principalmente la cáscara de nuez. Se han realizado investigaciones para aprovechar estos residuos, por ejemplo, se ha comprobado que la cáscara de nuez contiene compuestos antioxidantes que pueden ser utilizados como parte de nutracéuticos y cosméticos, también estos residuos pueden ser transformados en biocombustibles, y para decoración de caminos. Sin embargo, la mayoría de la cáscara de nuez es acumulada como desecho en las industrias o vertederos, contaminando espacios y al mismo tiempo, atrayendo vectores como hongos, mosquitos a localidades aledañas. La oportunidad del proyecto está en rescatar la cáscara de nuez para usarla como fuente de antioxidantes. La cáscara de la nuez pecanera representa un 40-50% de peso total y contiene un alto contenido de compuestos flavonoides, fenólicos totales y proantocianidinas o taninos condensados los cuales son de gran interés nutricional y medicinal (Lim, 2012). Al ser este de una apariencia dura no puede ser consumido, por lo cual se buscó aprovechar al máximo el fruto completo mediante la encapsulación y así disminuir los desechos provocados por el mismo.

Para que el desarrollo de un producto sea viable y aplicado, no es tan solo obtener un producto funcional, sino entender los mecanismos fisicoquímicos de su funcionalidad. En este trabajo se explica la importancia

y función de las mezclas de biopolímeros en la preparación de microcápsulas de cascara de nuez y moringa.

La microencapsulación proporciona una ventaja tecnológica y económica, al permitir la obtención de productos estables, funcionales mínimamente procesados y de menor costo que por otras técnicas de encapsulación, permitiendo hacer uso eficiente de la capacidad instalada existente en el país.

5. Antecedentes

5.1. Microcápsulas

La microencapsulación es definida como la tecnología de empaquetamiento de sólidos, líquidos y gaseosos con materiales de recubrimiento de distinta naturaleza, para dar lugar a cápsulas de tamaño micrométrico que pueden liberar su contenido de manera controlada bajo la influencia de condiciones específicas. Los productos resultantes de este proceso son denominados micropartículas, microcápsulas o microesferas, cuya estructura puede formar un sistema de reservorio y el matricial. La liberación del contenido de las microcápsulas puede llevarse a cabo por distintos mecanismos (Pedroza, 2002).

El proceso de microencapsulación queda definido por el tamaño de las partículas que se encapsulan. La mayoría de las microcápsulas son pequeñas esferas con diámetros comprendidos entre unos micrómetros a unos milímetros. El tamaño y la forma de las micropartículas depende de las propiedades fisicoquímicas del material de la pared (monómeros y polímeros), de la composición de la pared y de la técnica de microencapsulación utilizada (Gharsallaoui 2007).

La microencapsulación es aplicada en alimentos con el objetivo de preparar productos funcionales, se debe tener en cuenta que la incorporación de microcápsulas, micropartículas o microesferas no puede interferir con la textura ni sabor original del alimento. En este sentido, se han descrito diferentes aplicaciones de microencapsulación empleando como principio activo: vitaminas, minerales, ácidos grasos, microorganismos probióticos, proteínas, aminoácidos, polifenoles, fibras y enzimas (Sanguansri y Augustin, 2010).

Su versatilidad incluso ha llegado a ser aplicada en la alta cocina con el término “esferificación”, técnica culinaria con el propósito de modificar las propiedades texturales de los alimentos para así desarrollar nuevas sensaciones en el comensal (Corell et al., 2007).

La encapsulación de aditivos para la industria de alimentos es una técnica considerada desde la antigüedad y crece su aplicación en la conservación de productos alimenticios al mantener su calidad organoléptica. Al estar encapsulados presentan mayor estabilidad a factores ambientales y limitan su interacción con otros ingredientes, para asegurar los efectos requeridos. En aditivos probióticos funcionales, la encapsulación brinda un mayor beneficio al propiciar que su liberación sea controlada (Nag, 2011).

La industria de alimentos utiliza la técnica de encapsulación por diferentes razones.

- Disminuir la velocidad de evaporación o de transferencia del material central hacia el medio ambiente externo.
- Controlar la liberación del material central a condiciones predeterminadas, como el cambio de pH o humedad, la aplicación de calor o los estímulos físicos.
- Reducir la interacción entre el material central y el ambiente externo: algunos ingredientes son sensibles al calor, la luz y la humedad y otros son altamente reactivos y tienden a oxidarse y volatilizarse.
- Facilitar la manipulación del material central: la encapsulación convierte un líquido a estado sólido, además previene la agregación, favorece el proceso de mezclado y asegura que el material central se encuentre uniforme en la mezcla.
- Enmascarar el sabor del material central (Sandoval, 2004).

La protección de los compuestos activos con la técnica de microencapsulación ha sido importante para evitar la degradación química causada por factores como la oxidación en hidrólisis con la finalidad de mantener sus propiedades funcionales. En este sentido, si se considera que, entre las propiedades sensoriales, el sabor y el aroma son las más importantes, se tiene que la tecnología de encapsulación ha sido empleada por la industria alimentaria para enmascarar sabores amargos o astringentes de componentes específicos o para su protección, ya que al degradarse debido a diversos factores, estos cambian su sabor u olor original (Helgerud et al., 2010).

5.1.1. Métodos de obtención

La encapsulación se inició en 1930, con la utilización de materiales coloidales para desarrollar las copias sin papel carbón. El método más antiguo empleado en alimentos es el secado por aspersión, el cual comenzó encapsulando sabores en goma arábica. La selección del material de recubrimiento es el paso más importante para obtener un producto encapsulado porque, dependiendo de sus propiedades, se pueden cumplir los requerimientos de protección. El método de encapsulación se elige de acuerdo con la aplicación requerida, el tamaño de cápsula deseado, el material a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento (Sandoval, 2004).

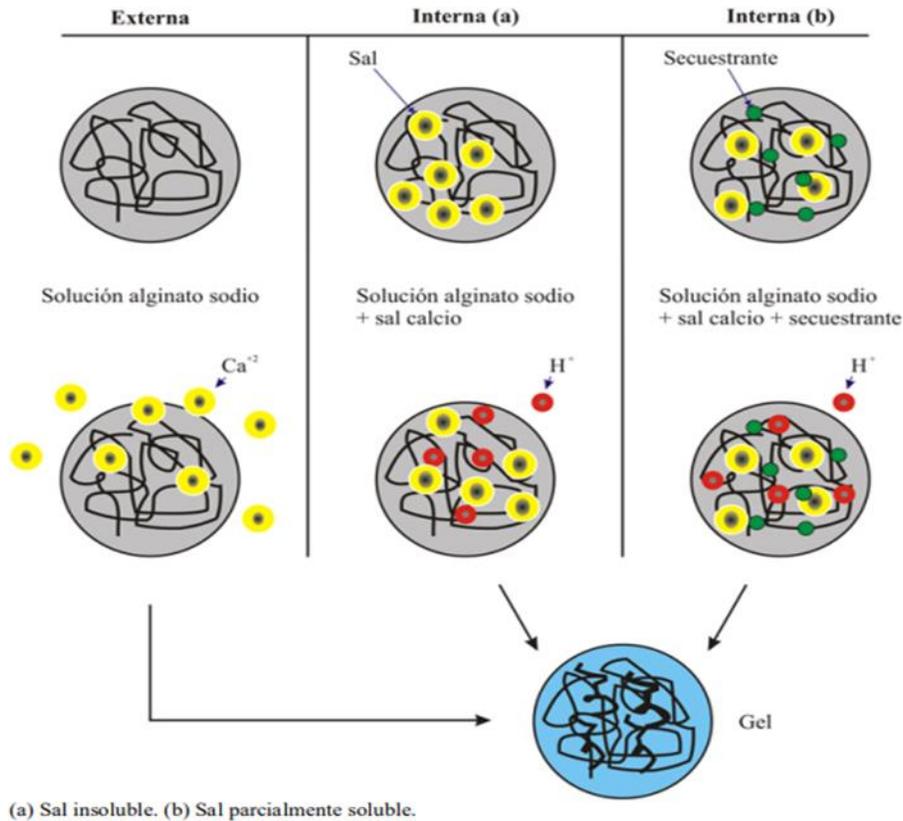
Para la preparación de las microcápsulas existen numerosos métodos y la selección de este para encapsular depende de los costos, el tamaño de la cápsula, las propiedades físicas y químicas de los materiales, la aplicación y el mecanismo de liberación deseado. La encapsulación ha sido aplicada a diversos campos (medicina, industria alimentaria, industria farmacéutica, agricultura, cosmética). Los métodos de mayor aplicación en la industria de alimentos corresponden y se clasifican en:

- Métodos físicos: Secado por aspersión, enfriamiento por aspersión, liofilización, recubrimiento por lecho fluidizado, extrusión, co-extrusión, extrusión-fusión, cocrystalización.
- Métodos físico-químicos: Coalescencia, inclusión molecular, encapsulación por liposomas.

La tecnología de encapsulación de probiótico puede ser dividida en dos partes, microencapsulación de probiótico en las soluciones de encapsulación y secado de la solución de encapsulación para alcanzar gránulos o polvos de células encapsuladas (Sandoval, 2004).

La técnica consiste en la formación de gotas de la solución de alginato que contiene el componente a encapsular al hacer pasar dicha solución por un dispositivo extrusor de tamaño y velocidad de goteo controlado. Estas gotas caen sobre un baño que contiene la fuente del ión divalente, quien induce la gelificación mediante el mecanismo de gelificación externa como se puede apreciar en la ilustración 1 (Chan, 2009).

Ilustración 1. Mecanismos de gelificación iónica



Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones, (Bryshila, 2012)

La principal limitación presentada por esta técnica ha sido el gran tamaño de las microcápsulas, lo cual depende del diámetro de la boquilla del dispositivo extrusor. Entre otras desventajas, la dificultad de producción a gran escala debido a que la formación de las microcápsulas se logra una a una lo cual trae como consecuencia largos tiempos de gelificación (Mofidi et al., 2000). Adicionalmente, es de considerar aspectos que influyen en su forma esférica y tamaño como la distancia de separación de la boquilla al baño, el efecto de la gravedad y la tensión superficial de la solución que induce la gelificación. A pesar de todos estos factores, la técnica de microencapsulación por extrusión ha sido empleada tradicionalmente al permitir la producción de microcápsulas con tamaños uniformes (Chan et al., 2009).

5.1.2. Materiales para la obtención de microcápsulas

La encapsulación se inició en 1930, con la utilización de materiales coloidales para desarrollar las copias sin papel carbón. El método más antiguo empleado en alimentos es el secado por aspersion, el cual comenzó encapsulando sabores en goma arábica. La selección del material de recubrimiento es el paso más importante para obtener un producto encapsulado porque, dependiendo de sus propiedades, se pueden cumplir los requerimientos de protección. El método de encapsulación se elige de acuerdo con la aplicación requerida, el tamaño de cápsula deseado, el material a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento.

Las microcápsulas formadas en el proceso de microencapsulación son pequeñas partículas que contienen un agente activo rodeado por una cubierta o material pared. La misma está constituida por una membrana fuerte, delgada, esférica y semipermeable que envuelve a un núcleo sólido o líquido con un diámetro desde unas pocas micras a varios milímetros. El tamaño y la forma de estas microcápsulas dependen de los materiales y métodos usados para prepararlas. Ellas son producidas también en forma de gel suave (cápsulas de gel) o en forma de polvo seco. Existen diferentes tipos de microcápsulas, las cuales según su estructura las podemos clasificar como:

- Sistema reservorio o capsular: El material activo se encuentra incluido en una especie de reservorio, que puede ser de naturaleza líquida o sólida, el cual se haya envuelto por una fina película del material de recubrimiento.
- Sistema matricial: El material activo se encuentra altamente disperso en la matriz polimérica.

La morfología de la superficie de las cápsulas puede ser lisa (regular y esférica) o irregular (desigual) con o sin presencia de poros, los cuales son los responsables de reducir la eficiencia de encapsulación (Mortazavian, 2007).

La elección del material de recubrimiento apropiado es el paso de partida en la encapsulación. Aunque se considera que el método de encapsulación puede afectar el mecanismo de liberación del material activo, también la formulación del recubrimiento constituye un factor definitorio (Dewettinck, 1999).

El material protector debe reunir ciertas propiedades que dependen de las características químicas del material encapsulado, la aplicación, las condiciones de almacenamiento y del proceso al cual será expuesto. Las características de un recubrimiento ideal para encapsular son: baja viscosidad a altas concentraciones, baja higroscopicidad para facilitar su manipulación y evitar la aglomeración, capacidad

de emulsificar y estabilizar el material central, insoluble y no reactivo con el material central, el recubrimiento es soluble en los solventes alimenticios comunes o en el producto alimenticio final, máxima protección al material central contra condiciones adversas (luz, pH, oxígeno, humedad y otros ingredientes reactivos), liberación completa de solventes y otros materiales usados durante el proceso de encapsulación, sabor insípido y bajo costo (Nag, 2011).

El alginato es un polisacárido aniónico, formado por residuos de los ácidos β -Dmanurónico y α -L-gulurónico. En la encapsulación de probióticos se usa en concentraciones en el rango de 0,5-4,0 %. Las cápsulas de alginato tienen la ventaja de formar fácilmente matrices de gel alrededor de las células de probiótico, son seguras y biocompatibles con el organismo, baratas y las condiciones del proceso son simples y de fácil manejo. Sin embargo, se han atribuido algunas desventajas a las cápsulas de alginato como dificultades en su aplicación a nivel industrial, susceptibilidad al ambiente ácido, con pérdida de su integridad y estabilidad mecánica, formación de poros en la superficie de la cápsulas y difusión relativamente rápida de la humedad (Krasaekoopt, 2004).

El proceso de formación del gel se inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna desde donde el ión calcio se difunde hasta alcanzar la cadena polimérica, como consecuencia de esta unión se produce un reordenamiento estructural en el espacio resultando en un material sólido con las características de un gel. El grado de gelificación depende de la hidratación del alginato, la concentración del ión calcio y el contenido de los G-bloques. La transición sol-gel se ha visto esencialmente controlada por la habilidad de introducir el ión vinculante al alginato (Funami et al., 2009).

El proceso de gelificación ocurre en presencia de cationes multivalentes (excepto el magnesio) donde el ión calcio es el más empleado por la industria alimentaria. La gelificación tiene lugar al producirse una zona de unión entre un G-bloque de una molécula de alginato que se enlaza físicamente a otro G-bloque contenido en otra molécula de alginato a través del ión calcio. Entre las sales de alginato más empleadas se han encontrado la sal de sodio debido a su alta solubilidad en agua fría y característica transición sol-gel de forma instantánea e irreversible ante el ión calcio (Funami et al., 2009).

5.2. Nuez

El desarrollo de nuevos productos es una actividad que necesita de inversión económica la cual suele ser arriesgada, por el riesgo de no ser del todo aceptados por los consumidores. Actualmente, existe una

tendencia por el consumo de una dieta saludable, la adquisición de alimentos con propiedades saludables a precios accesibles, propiedades sensoriales y nutricionales adecuadas, las cuales finalmente impactan en la decisión del consumidor. Las reconocidas bondades nutricionales y la facilidad de su consumo hacen de la nuez un alimento funcional que encaja en las tendencias actuales del consumo, caracterizadas por la búsqueda de la conveniencia, la rapidez y de alimentos beneficiosos para la salud (Gómez et al., 2005).

Un alimento funcional suele ir acompañado de una declaración de propiedades saludables que pueden influir en la elección de alimentos, en este sentido se han buscado distintas aplicaciones para la nuez pecanera y sus subproductos, pues contiene casi el 60 % de grasas monoinsaturadas y otro 30 % de poliinsaturadas, siendo grasas saludables para el corazón. De acuerdo con el estudio de Rajaram Et al. (2001) se demostró que una dieta enriquecida con nuez pecana, disminuyó el contenido de colesterol mejorando el perfil de lípidos (reducción de triacilglicéridos, total y Colesterol LDL y aumento del colesterol HDL). La nuez pecanera es clasificada como uno de los alimentos con mayor contenido fenólico y antioxidante, por su contenido en flavan-3-ols, antocianidinas (Harnly et al., 2006), proantocianidinas (Gu et al., 2004a), ácidos fenólicos (SENER, HORVAT, & FORBUS, 1980) y, más recientemente, ácido elálgico (Villarreal-Lozoya, Lombardini, & Cisneros-Zevallos, n.d.). La nuez pecanera también es una buena fuente de ácido oleico, vitamina B1, tiamina, magnesio y proteínas. Es por ello que, algunos de los productos en desarrollo incluyen: el aceite, la leche, o harina como sustitutos de carne.

El género *Carya*, miembro de la familia Juglandaceae, comprende más de 20 especies, de las cuales trece son nativas de Estados Unidos de América (USA por sus siglas en inglés), y siete son cultivadas por sus nueces, siendo el nogal pecanero *Carya illinoensis* el único con importancia económica a nivel mundial.

En los últimos años la producción y el mercado de la nuez pecanera (*Carya illinoensis*) en México, se ha ubicado en el principal productor a nivel mundial con 117,966 Ton en 2015. Desde el punto de vista comercial, el principal mercado consiste en nuez con cáscara el cual corresponde al 60 % y la nuez descascarada representa el 40 %. La forma en que se consume es en fresco, o como un ingrediente en la elaboración de dulces regionales, en helados, panadería y otros. Cabe destacar, que la cáscara de la nuez pecanera constituye un 40-50% de peso total del fruto, lo que representa una biomasa de aproximadamente 24,000 Ton, hasta ahora solamente utilizadas por ejemplo en la pavimentación de caminos, o como abrasivos en el pulimiento de metales (Lim, 2012). Adicionalmente, existe una demanda en el sector productivo de darle valor agregado a la nuez, incrementando las plantas de quebrado, promoviendo la obtención de aceites, y de compuestos que puedan ser aprovechados en diversas aplicaciones en la industria (Ojeda-Barrios et al., 2010). Sin embargo, hasta el momento, la nuez pecanera

y particularmente sus subproductos como cáscara, han sido escasamente evaluados en la búsqueda de nuevas aplicaciones, por lo que surge la necesidad de valorizarlos a la luz de su contenido de fitocompuestos y/o como ingredientes funcionales, con el fin de explorar nuevos usos. Por lo anterior, se presenta la composición nutrimental y fitoquímica, donde destacan las fracciones de elevada calidad nutritiva, y compuestos bioactivos tanto en la almendra como en la cáscara con propiedades bioactivas, antioxidantes, antimicrobianos, anti hipercolesterolémicos y anti-inflamatorios, que han demostrado tener potencial aplicación en productos nutraceuticos, cosmeceuticos y/o farmaceuticos. Asimismo, también se plantea una alternativa innovadora para su valorización y aprovechamiento integral de estas fracciones de la nuez (Vázquez, 2016)

Como se muestra en la tabla 3 de acuerdo con la base de datos de la composición de los alimentos del departamento para la agricultura de los Estados Unidos (US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016), en la composición proximal de las nueces pecaneras destaca el alto contenido de lípidos, seguido de carbohidratos, fibra alimentaria y proteínas.

Tabla 3. Composición proximal de la nuez pecanera

Nutriente	Unidad	Valor por 100g
Agua	g	3.52
Energía	kcal	691
Proteína	g	9.17
Lípidos totales	g	71.97
Cenizas	g	1.49
Carbohidratos	g	13.86
Fibra alimentaria	g	9.6
Azucares totales	g	3.97

(Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016)

El contenido de proteínas en la nuez pecanera está conformado por 18 diferentes aminoácidos, de los cuales diez son aminoácidos esenciales, entre ellos: arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptófano y valina. Los aminoácidos más abundantes en nuez pecanera son el Ácido glutámico y la Arginina con más de 1 g por cada 100 gramos de nuez como lo podemos ver en la tabla 4.

Tabla 4. Contenido de aminoácidos de la nuez pecanera

Nutriente	Unidad	Valor por 100g
Acido glutámico	g	1.82
Arginina	g	1.17
Acido aspártico	g	0.92
Leucina	g	0.59
Serina	g	0.47
Glicina	g	0.45
Fenilalanina	g	0.42
Valina	g	0.41
Alanina	g	0.39
Prolina	g	0.36
Isoleucina	g	0.33
Treonina	g	0.30
Lisina	g	0.28
Histidina	g	0.26
Tirosina	g	0.21
Metionina	g	0.18
Cistina	g	0.15
Triptófano	g	0.09

(Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016)

La nuez pecanera además de ser una rica fuente de lípidos también es una fuente natural de minerales y vitaminas, básicos en la alimentación humana, entre los minerales los más abundantes son el potasio, el fósforo y el magnesio, con 410, 277 y 121 mg por cada 100 g, respectivamente; entre los minerales también destaca el bajo contenido de sodio igual a 0 mg por cada 100 g. de las vitaminas presentes en la nuez pecanera las más abundantes son la colina y gama-tocoferol, como se puede apreciar en la tabla 5.

Tabla 4 Contenido de minerales y vitaminas de la nuez pecanera

Nutrientes	Unidad	Valor por cada 100g
Minerales		
Potasio	mg	410
Fosforo	mg	277
Magnesio	mg	121
Calcio	mg	70
Zinc	mg	4.53
Manganeso	mg	4.5
Fierro	mg	2.53
Cobre	mg	1.2
Fluoruro	µg	10
Selenio	µg	3.8
Sodio	mg	0
Vitaminas		
Colina	mg	40.5
Gama-Tocoferol	mg	24.44
Niacina	mg	1.167
Acido ascórbico total	mg	1.1
Acido pantoténico	mg	0.863
Betaina	mg	0.7
Tiamina	mg	0.66
Delta-Tocoferol	mg	0.47
Beta-Tocoferol	mg	0.39

B-6	mg	0.21
Riboflavina	mg	0.13
Beta-Caroteno	µg	29
Folatos totales	µg	22
Beta-Criptoxantina	µg	9
Vitamina K	µg	3.5
Vitamina A	µg	3
Vitamina A	UI	56

Nota. g = gramos, mg = miligramos, µg = microgramos, UI = unidad internacional Adaptado de “National Nutrient Database for Standard Reference” del US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>

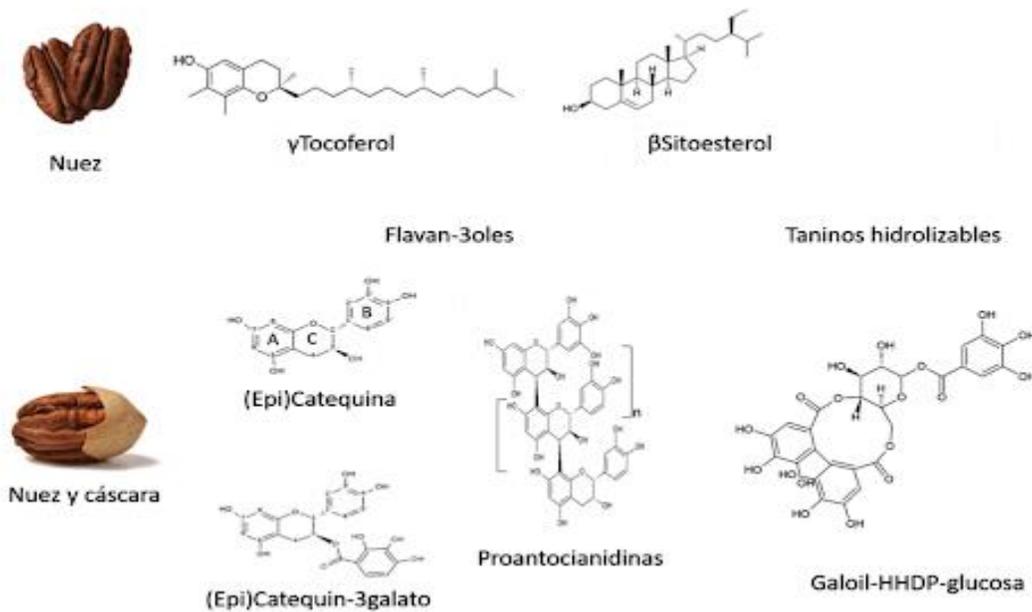
Acorde con su distribución geográfica natural los nogales pecaneros han sido cultivados en la zona norte de la república Mexicana, principalmente en el estado de Chihuahua donde de acuerdo con registros del Anuario estadístico de la producción agrícola del SIAP desde 1985 se ha cultivado más del 50% del total del área a nivel nacional (SIAP, 2016). El cultivo a nivel nacional del nogal pecanero, impulsado por el incremento de la demanda internacional, ha experimentado un crecimiento acelerado al casi triplicar su área sembrada en los últimos 30 años, los estados con mayor incremento en el área sembrada han sido Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Nuevo León

El segundo estado con mayor área sembrada en 2014 fue el de Coahuila con el 15 % de las 108,011 Ha sembradas a nivel nacional. Los municipios con mayor área sembrada fueron San Pedro, Parras, Zaragoza y Morelos que juntos sumaron el 50 % del total del área sembrada y el 49 % del total de la producción a nivel estatal (SIAP-SAGARPA, 2015)

5.2.1 Actividad antioxidante de extractos de cáscara de nuez

La cáscara de la nuez pecanera tiene un alto contenido de compuestos flavonoides, fenólicos totales y proantocianidinas o taninos condensados los cuales son de gran interés nutricional y medicinal debido a su gran capacidad antioxidante ya que pueden proporcionar beneficios deseables para la salud humana, es decir, poseen acción nutraceutica al otorgar protección ante enfermedades crónicas-no transmisibles como diabetes, arterioesclerosis, cáncer, entre otras. Como se puede ver en la ilustración 3 (Lim, 2012).

Ilustración 1 compuestos de la cascara de nuez



(J.E. Villarreal-Lozoya et al. Food Chemistry 102, 2007).

La nuez pecanera es rica en compuestos polifenólicos lo que confiere una elevada actividad antioxidante contra los radicales libres. Cabe destacar, que la concentración de compuestos polifenólicos y actividad antioxidante fue más elevada en cáscara que en almendra. Estos resultados indican que la nuez pecanera tanto en su almendra como cáscara representa una importante fuente dietética de antioxidantes (De La Rosa et al., 2011).

5.2.2. Aplicaciones de la cáscara de nuez

Existe un gran interés actual por los efectos benéficos a la salud del consumo habitual de nueces, así como por la caracterización y extracción de los componentes bioactivos del fruto y cáscara de *C. illinoensis* debido a su uso como ingredientes funcionales. Hoy en día, la Food and Drug Administration y la European Food Safety Authority han reconocido que el consumo aproximado de 30-40 g de nuez logra reducir el riesgo cardiovascular (Alasalvar y Bolling, 2015). Algunos estudios señalan que el beneficio cardiovascular está relacionado a la porción lipídica, así como de ácido α -linoleico, que favorecen la vasodilatación del endotelio cardiovascular. De igual manera los tocoles (tocoferoles y tocotrienoles) participan como vitaminas liposolubles con función antioxidante, a través de la inactivación de reacciones en cadena durante la peroxidación de lípidos insaturados, mientras que los fitoesteroles inhiben la absorción del colesterol dietario (Alasalvar y Bolling, 2015).

Los compuestos bioactivos lipídicos pueden actuar solos o lo pueden hacer sinérgicamente con los compuestos bioactivos no lipídicos, donde se incluyen los compuestos polifenólicos (Chang, 2016). A estos se les atribuyen múltiples actividades farmacobiológicas, entre las que destacan prevención de enfermedades crónicas no transmisibles como el cáncer y diabetes, así como beneficios antiinflamatorios.

La nuez pecanera es uno de los alimentos con más elevado contenido de compuestos polifenólicos; sin embargo, las cáscaras contienen altas concentraciones aún más elevadas (de la Rosa et al., 2014), ya que son sintetizadas en respuesta de factores bióticos y abióticos de la planta (Feng et al., 2016), logrando concentrar una mayor cantidad de compuestos en las partes expuestas del fruto. Al igual que a la nuez, a los polifenoles de cáscara también se les atribuyen actividades antioxidantes, citoprotectoras, analgésicas, hipolipidémicas y antidiabéticas (Trevisan et al., 2014; Porto et al., 2015).

La cáscara de la nuez pecanera representa un 40-50% de peso total, que se utiliza en pavimentación, enriquecimiento de suelos y abrasivos suaves (Lim, 2012); no obstante, es un residuo agroindustrial que puede ser utilizado como una fuente de compuestos bioactivos, con el fin de mejorar su gestión.

Por otra parte, el uso de la cáscara como alimento ha sido limitado, algunos estudios reportan el uso de infusiones de cáscara como remedios naturales-medicinales (Hilbig et al., 2018). Más que producto alimenticio, la cáscara muestra potencial como aditivo alimenticio, se ha usado para incrementar la vida de anaquel de lechugas mínimamente procesadas (Caxambú et al., 2016) ya que inhibe el crecimiento de bacterias responsables del deterioro común; de igual manera, en la carne de pollo logra inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *L. monocytogenes* (Babu et al., 2013).

5.3. *Moringa oleifera*

Los principales aportes hechos por la moringa en términos de macro y micronutrientes se encuentran en las hojas, que al igual que las vainas frescas y los frutos muestran un valor considerable de vitamina A en forma de β -carotenos, minerales (hierro, potasio y calcio) y vitamina C. Además, las hojas secas y molidas presentan hasta un 30% de proteínas en base seca, razón por la que se conoce que las hojas presentan mayores fuentes de nutrientes que las vainas. Las semillas pueden contener hasta un 30-42% de aceite, pero además la torta sobrante contiene un 60% de proteínas (Alfaro, 2008).

Todas las partes de la planta son consumidas por ser un alimento completo, generalmente no tienen mal sabor y se consumen frescas. Los frutos o vainas verdes o inmaduros se cosen y saben a habichuelas; las semillas son consumidas tostadas y son muy nutritivas y las hojas verdes son preparadas como potajes y ensaladas, Además tienen un alto valor comercial en la India, donde son exportadas enlatadas. También se comercializan otros derivados como el aceite, extractos de sus hojas como polvos e infusiones (Gopalan 1994).

Debido a que todas las partes de *M. oleifera* son un almacén de nutrientes importantes, de los cuales de los cuales las hojas secas son una rica fuente, *M. oleifera* es conocida por su gran cantidad de nutrientes, como como proteínas con una calidad igual a la de la carne, la leche y los huevos (Fuglie, 2005), grasa, fibra, carbohidratos, vitaminas y aminoácidos esenciales (Stadtlander & Becker, 2017). Debido a su menor contenido en lípidos, las hojas de *M. oleifera* pueden ser utilizadas en la rutina dietética de las personas con sobrepeso (Berkovich et al., 2013). Aproximadamente del 44,4% de carbohidratos, el 28,7% de proteína bruta, el 7,1% de grasa y el 10,9% de contenido de cenizas fueron de cenizas en el polvo de las hojas secas. El perfil proteico mostró un 70,1% de proteínas insolubles, 3,5% de glutelina, 3,1% de albúmina, 2,2% de prolamina y 0,3% de globulina (Teixeira et al., 2014).

Se han utilizado diferentes partes de *M. oleifera* como una buena fuente de glucosinolatos, flavonoides y ácidos fenólicos únicos (Amaglo et al., 2010; Coppin et al., 2013), ácidos grasos insaturados poliinsaturados (PUFAs), tocoferoles, extremadamente minerales y folato (Saini et al., 2016). El extracto acuoso de hojas contenía un 1.66% de isotiocianatos y 3.82% de polifenoles totales (Waterman et al., 2014). Glucosinolatos (glucomorina) e isotiocianatos son los predominantemente en el follaje, flores, frutos, semillas y corteza de *M. oleifera* (Amaglo et al., 2010).

A pesar de que el glucosinolato de bencilo (glucotropaeolina) es prominente en las raíces, la sustancia más notable, es decir, el glucosinolato se reporta en las hojas y las semillas. El catabolismo enzimático de la mirosinasa de los glucosinolatos produce isotiocianatos, nitrilos y tiocarbamatos (Anwar, Latif, Ashraf, & Gilani, 2007). Entre los flavonoles, la quercetina y la isorhamnetina se encuentran principalmente en varias partes de la planta, excepto en las semillas y las raíces. Los exudados de goma refinados contienen galactosa, ácido glucurónico, larabinosa, manosa, ramnosa y xilosa (Shah, Jhade, & Chouksey, 2016).

M. oleífera se ha utilizado como una notable fuente autóctona de proteínas, fibras crudas, minerales y nutrientes adecuados para su utilización en países en desarrollo donde la desnutrición es una preocupación importante (Verma y Nigam, 2014). Especialmente entre recién nacidos y madres lactantes. Diferentes organizaciones han promovido la moringa como "nutrición natural para los trópicos" (Fahey, 2005)

5.4. Extractos con alto contenido de proteína de *Moringa oleífera*

Las hojas de la *M. oleífera* son las partes más aprovechadas por su alto valor proteico. Además, son ricas en componentes antioxidantes, entre los que sobresalen los isotiocianatos que figuran como uno de los principales portadores de propiedades anticancerígenas y antibióticas. Los alimentos servidos en infusión son los más utilizados debido a la cultura que se tiene en América latina como las sopas, atoles o refrescos (Alfaro, 2008). Los contenidos de componentes anti nutricionales en sus hojas como taninos, lecitinas e inhibidores de proteasas son insignificantes, por esta razón son comestibles en su totalidad, al mismo tiempo contienen un perfil de aminoácidos esenciales balanceados y son una fuente importante de vitaminas A, C y antioxidantes (Olson y Fahey 2011).

5.5. Alimentos funcionales

Cualquier alimento en forma natural o procesada, que además de sus componentes nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona. El calificativo de funcional se relaciona con el concepto bromatológico de "propiedad funcional", o sea la característica de un alimento, en virtud de sus componentes químicos y de los sistemas fisicoquímicos de su entorno, sin referencia a su valor nutritivo. En cuanto a Europa se define alimento funcional a "aquel

que satisfactoriamente ha demostrado afectar benéficamente una o más funciones específicas en el cuerpo, más allá de los efectos nutricionales adecuados en una forma que resulta relevante para el estado de bienestar y salud o la reducción de riesgo de una enfermedad" (Roberfroid, 2000.)

Aunque el término alimentos funcionales no es una categoría de alimento legalmente reconocida por la Administración de Alimentos y Drogas (FDA) de los Estados Unidos, recientemente sucedieron algunos cambios legislativos acerca de la información que deben contener las etiquetas de los productos relacionados con beneficios funcionales de los alimentos. Las regulaciones de la NLEA (Ley de Etiquetado y Regulación Nutricional) y de la DSHEA (Ley de Suplementos Dietéticos Salud y Educación) se encaminan a preparar el camino legal en que se debe fundamentar el uso de estos productos. La posición oficial de la U.S. Food & Drugs Administration (FDA) es: "Las sustancias específicas de los alimentos pueden favorecer la salud como parte de una dieta variada" (Bello J. 1995). La asociación respalda la investigación de los beneficios y riesgos de estas sustancias, los profesionales de la dietética seguirán trabajando con la industria alimentaria, y el gobierno para asegurar que el público tenga suficiente información científica precisa en este campo en surgimiento. Por su parte, la Asociación Americana de Dietistas (ADA), reconoce el papel potencialmente benéfico de los alimentos funcionales al enfatizar que estos alimentos "...deben ser consumidos como parte de una dieta variada, en una forma regular y a niveles efectivos" (American Dietetic Association, 1999), definición que lo delimita definitivamente del término alimento nutracéutico como se verá posteriormente.

5.5.1. Alimentos adicionados con antioxidantes

Los nutrientes son los componentes de los alimentos aprovechables por el organismo que hacen posible la vida, que se encuentran repartidos de forma desigual y desempeñan funciones diferentes según su naturaleza. Uno de los componentes principales son los antioxidantes, sustancias existentes en determinados alimentos que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades. Los radicales libres son moléculas "desequilibradas", con átomos que tienen un electrón en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos. Estos radicales recorren el organismo intentando captar un electrón de las moléculas estables, con el fin de lograr su estabilidad electroquímica y con potenciales reacciones en cadenas destructoras de las células del cuerpo (Jacob RA, 1996).

Los antioxidantes retrasan el proceso de envejecimiento combatiendo la degeneración y muerte de las células que provocan los radicales libres. La incapacidad del cuerpo humano para neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, obliga al hombre a recurrir a alimentos con las propiedades antioxidantes con capacidad de neutralizarlos (Jacob, 1996).

Existen alimentos que contienen una gran variedad de fitonutrientes, muchos de los cuales tienen propiedades antioxidantes. Además de las bien conocidas vitaminas C y E y los carotenoides, existen otros compuestos como los flavonoides (incluyendo flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianinas y catequinas) que son fuertes antioxidantes que contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante total (Hughes, 1998).

El consumo de frutas y vegetales ha sido asociado con una menor incidencia y mortalidad por diferentes enfermedades crónicas. La protección que las frutas y los vegetales brindan contra las enfermedades degenerativas como el cáncer y enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares ha sido atribuida a su alto contenido de varios antioxidantes. La mayor parte de la capacidad antioxidante de frutas y vegetales se la proporciona su contenido en vitamina E, C y carotenos, así como de diferentes polifenoles (Wagner, 1985).

Existen diferentes métodos que se han desarrollado para determinar la capacidad antioxidante total, son todos métodos de inhibición, donde se usa una especie generadora de radicales libres y una sustancia que detecta a estas especies. La actividad antioxidante de la muestra añadida inhibe la generación de estos radicales. La medición de los antioxidantes individuales por separado no permite conocer con certeza la capacidad antioxidante total de una preparación, compuesto o de un fluido biológico, por los efectos sinérgicos que puedan establecerse entre los antioxidantes presentes en él (Chiselli, 1995).

5.5.2. Alimentos adicionados con proteínas

La palabra proteína, del griego “proteios” que significa “primordial” o “primer lugar”, fue sugerida por Berzelius para llamar así, al material que describiera el químico holandés Mulder en 1838 como “sustancia compleja” en cuya composición intervenía el nitrógeno (N), y la cual, era sin duda la más importante de todas las sustancias conocidas en el “reino orgánico”, sin la cual no parecía posible la vida sobre nuestro planeta. Aunque dentro del campo nutricional, no son las que aportan más energía, si son esenciales, pues las proteínas constituyen uno de los nutrimentos de mayor trascendencia en los seres vivos.

Las proteínas son macromoléculas las cuales desempeñan el mayor número de funciones en las células de los seres vivos. Forman parte de la estructura básica de tejidos (músculos, tendones, piel, uñas, etc.), durante todos los procesos de crecimiento y desarrollo, crean, reparan y mantienen los tejidos corporales; además desempeñan funciones metabólicas (actúan como enzimas, hormonas, anticuerpos) y reguladoras a saber: asimilación de nutrientes, transporte de oxígeno y de grasas en la sangre, eliminación de materiales tóxicos, regulación de vitaminas liposolubles y minerales, etc. Las proteínas alimentarias a menudo se clasifican como “completas” o “incompletas” según su contenido en aminoácidos. (McKee, 2003).

Las proteínas completas son aquellas proteínas alimentarias que contienen los nueve aminoácidos indispensables en concentraciones suficientes para cubrir los requerimientos de los seres humanos. Las proteínas incompletas son proteínas alimentarias deficientes en uno o más aminoácidos de los nueve aminoácidos esenciales que deben ser proporcionados por los alimentos (Williams, S.R. 1995)

El concepto de proteínas complementarias está basado en la obtención de los nueve aminoácidos indispensables por la combinación de alimentos que tomados aisladamente serían considerados como proteínas incompletas. Dos o más proteínas incompletas pueden ser combinadas de tal forma que la deficiencia de uno o más aminoácidos esenciales pueda ser compensada por otra proteína y a la inversa. Cuando se combinan, estas proteínas complementarias proporcionan todos los aminoácidos esenciales necesarios para el cuerpo humano consiguiendo un patrón equilibrado de aminoácidos que se usan eficientemente (González-Torres, 2007).

6. Metodología

6.1. Localización del estudio

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de los: Laboratorios de Bioquímica y Física del Departamento de Ciencias Básicas y Laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Tecnología y Ciencia de Alimentos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

6.2. Preparación de los extractos

La cáscara de la nuez fue desprendida del fruto y se conservó en un lugar fresco en almacenamiento. Posteriormente se pulverizó y se tamizó mediante tamices Tyler para poder obtener partículas de 250 μm . El extracto se preparó mediante la adición a un matraz de tres bocas de 10 g de cáscara de *carya illinoensis* y un 1 L de etanol en reflujo constante a 70 °C por 4 h agitando vigorosamente, posterior a esto se filtró al vacío para obtener el extracto. Este extracto fue rotaevaporado para concentrarlo y llevarlo a un volumen final de 100 mL, el cual finalmente fue almacenado en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

En cuanto al extracto de hoja de moringa, las hojas se lavaron y secaron. Posteriormente se pulverizaron y se tamizaron para obtener partículas de 250 μm . La preparación del extracto se llevó a cabo mediante la adición a un matraz de 3 bocas provisto de un refrigerante 10 g de hoja de *M. oleifera* y utilizando 1 L de cloruro de calcio a 20 Mm como solución de extracción a una temperatura 70 °C por 4 h con agitación constante, posteriormente se filtró al vacío y se llevó al rotaevaporador para concentrar el extracto, como resultado se obtuvieron 100 mL de extracto concentrado, el cual fue almacenado a 4 °C.

6.2.1. Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos

6.2.1.1 ABTS

La generación del radical ABTS^{•+} constituye la base de uno de los métodos espectrométricos que han sido aplicados para medir la actividad antioxidante total de soluciones o sustancias puras y mezclas acuosas. El ensayo original de ABTS^{•+} estaba basado en la activación de la metilmioglobina con peróxido de hidrógeno en presencia de ABTS para producir un radical catión, en presencia o ausencia de antioxidantes. Este fue criticado debido a que la reacción rápida de los antioxidantes contribuye a la reducción del radical ferrilmioglobina. Un formato más apropiado para el ensayo consiste en la técnica de decoloración, en la cual el radical es generado directamente en una forma estable antes de la reacción con los antioxidantes (Re et al., 1999).

El reactivo se preparó según lo reportado por López et al., (2015). La capacidad antioxidante de ABTS (2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se llevó a cabo utilizando una solución de trabajo obtenida mezclando 1 ml de ABTS al 7.4 mM y 1 ml de K₂S₂O₈ al 2.6 mM, permitiéndoles reaccionar durante 12 h en oscuridad. Después, la absorbancia de la solución de trabajo se ajustó a 0.7 a 734 nm diluyendo con metanol. El ensayo ABTS se realizó mezclando 50 µl del extracto fenólico con 1.5 ml de solución de trabajo ABTS. La reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad y se midió la absorbancia. (Kuskoski, 2005)

6.2.1.2 DPPH

Este método fue propuesto por Blois 1958 en el cual se demostró por primera vez la capacidad del radical libre DPPH para aceptar un átomo de hidrógeno (H) proveniente de una molécula de cisteína. La molécula 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) es conocida como un radical libre estable debido a la deslocalización de un electrón desapareado sobre la molécula completa, por lo cual la molécula no se dimeriza, como es el caso de la mayoría de los radicales libres. La deslocalización del electrón también intensifica el color violeta intenso típico del radical, el cual absorbe en metanol a 517 nm. Cuando la solución de DPPH reacciona con el sustrato antioxidante que puede donar un átomo de hidrógeno, el color violeta se desvanece. El cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente y es utilizado para la

determinación de los parámetros para las propiedades antioxidantes. Después de aproximadamente tres décadas este ensayo comenzó a utilizarse rutinariamente para la caracterización de las propiedades antioxidantes (Ojha et al., 2012).

6.2.1.1 FRAP

El método FRAP se fundamenta en la reducción del hierro férrico (Fe^{+3}) presente en el reactivo de FRAP hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}) por presencia de antioxidantes. Reactivo FRAP: buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) y FeCl_3 . Se genera una coloración azul, de intensa proporcionalidad a la capacidad reductora de la muestra (se genera un complejo ferroso-TPTZ) que puede cuantificarse por colorimetría (593nm) en base a un patrón de sulfato ferros (Peñarrieta, 2008)

La capacidad antioxidante de FRAP (poder antioxidante reductor férrico) se realizó de acuerdo con López et al., (2015). FRAP se determinó utilizando una solución de trabajo obtenida mezclando 300mM de $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (pH 3.6), 10mM TPTZ (2,4,6-tripiridyl-s-triazine, en HCl 40 mM) y 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en proporción 10: 1: 1. El ensayo de FRAP se realizó mezclando 50 μl de extracto fenólico con 1.5 ml de solución de trabajo FRAP, se dejó la reacción durante 30min en la oscuridad a 37 °C, y la absorbancia se midió a 593 nm.

6.2.2. Determinación del contenido de proteínas de los extractos obtenidos

En los análisis de rutina se suele determinar el contenido de nitrógeno total y expresar el conjunto de sustancias nitrogenadas como “% de nitrógeno total” o como “porcentaje de proteínas”. La estimación del contenido de proteínas de los alimentos a partir de la determinación del contenido de nitrógeno total no siempre es correcta, pero en general el contenido de compuestos nitrogenados no proteicos es pequeño comparado con el de las proteínas en la mayoría de los alimentos.

En 1883 el investigador danés Johann Kjeldahl desarrolló el método más usado en la actualidad para el análisis de proteínas (método Kjeldahl) mediante la determinación del nitrógeno orgánico. En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión

en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente. El amoniaco liberado es arrastrado por destilación y recogido en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato así formado se titulan con HCl estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra. Las etapas generales del método son:

A. DIGESTIÓN: se lleva a cabo con H_2SO_4 en presencia de un catalizador y calor



Ilustración 2. Digestión de las muestras

B. DESTILACIÓN: neutralización del $(NH_4)_2SO_4$ digerido con una base fuerte (disolución de NaOH, 35%) seguida de una destilación sobre un volumen conocido de un ácido fuerte (disolución de ácido bórico al 4%):



Ilustración 3. Destilación de las muestras

C. TITULACIÓN: El anión borato (proporcional a la cantidad de nitrógeno) es titulado con H₂SO₄ a 0.1 N



Ilustración 4. Titulación de las muestras

Para la determinación de proteínas presentes en el extracto se preparó previamente la muestra eliminar el CaCl₂, ya que esta sal interfiere con el análisis. E análisis se colocó en una membrana de diálisis (previamente lavada y acondicionada) y se sumergió en agua desionizada hasta que su conductividad eléctrica no varió, haciendo cambios de agua cada 12 h. posteriormente se tomó 1 mL de la muestra desalada y se colocó en un matraz Kjendahl

$$\% \text{ Proteína base seca } 100 \% = \frac{\% \text{ proteína base húmeda}}{\text{materia seca}} * 100$$

6.3. Preparación de microcápsulas de alginato cargadas con extractos de nuez y moringa

Se formuló una solución de biopolimérica empleado como agente encapsulante el alginato de sodio al 3% y 20 mL del extracto de cáscara nuez y/u de hoja de moringa, además de una solución de 20 mL de cloruro de calcio al 0.2 M, para conformar soluciones acuosas.

Para comenzar con la microencapsulación se colocó en una parrilla de agitación la solución CaCl₂ y el extracto de del extracto de cáscara nuez y/u de hoja de moringa previamente preparada en un vaso de precipitado provisto de un agitador magnético.

A esta mezcla se le agregó el alginato de sodio cual con ayuda de una jeringa de insulina de 0.5 mL se le suministró gota a gota el biopolímero, bajo estas condiciones se favoreció la formación de las microcápsulas.

Posteriormente las microcápsulas cargadas se filtraron y se secaron a temperatura ambiente durante 48 h. Para finalizar las microcápsulas obtenidas fueron recolectadas y colocadas en bolsas de plástico selladas y cubiertas con aluminio para evitar la luz.

6.3.1. Caracterización de microcápsulas cargadas con los extractos

6.3.1.1. Determinación de tamaño y morfología de las microcápsulas mediante microscopía óptica

El tamaño de partícula de las microcápsulas fue medido usando un microscopio óptico marca provisto de adaptador digital Dino-lite AM3111 0.3MP, para obtener las imágenes y mediciones correspondientes.

6.3.1.1. Caracterización química mediante espectroscopía infrarroja (FT-IR)

Las microcápsulas cargadas con los extractos fueron caracterizadas mediante FT-IR, para observar las bandas características de los grupos funcionales presentes en los extractos y el encapsulado. El análisis se llevó a cabo en un espectrómetro Nicolet Magna 5500. Los espectros infrarrojos de las micropartículas se obtuvieron mediante ATR.

6.3.1.2. Análisis termogravimétrico

Esta técnica se llevó a cabo en un equipo TGA labSys evo (Setaram Instrumentation). En el cual se colocaron alrededor de 10 mg de las microcápsulas en una celda de aluminio, a una velocidad de calentamiento de 10 °C /min, desde temperatura ambiente hasta 800 °C en una atmósfera de nitrógeno.

6.4. Elaboración de una galleta adicionada microcápsulas de extractos de moringa y cáscara de nuez

Para la elaboración de las galletas se realizaron 4 formulaciones las cuales se denominaron M1 blanco, es decir las galletas sin la adición de las microcápsulas, M2, las galletas adicionadas con las microcápsulas de

moringa, M3 las galletas adicionadas con las microcápsulas de cáscara nuez y M4 las galletas adicionadas con las microcápsulas moringa/cáscara de nuez en una proporción 1:1.

En base a la receta para la elaboración de galletas, nos indica que se requiere 125 g de mantequilla, 150 gr de chismas de chocolate, $\frac{3}{4}$ de tazas de leche, $\frac{1}{4}$ de tazas de azúcar, 2 tazas de harina, 2 huevos, 2 $\frac{1}{4}$ cucharadas de polvo para hornear, $\frac{1}{4}$ de tazas de cacao en polvo. Se realizaron 4 formulaciones, las cuales consta de pesar lo solido (harina, azúcar, polvo para hornear y cacao) y posteriormente agregar las microcápsulas en una concentración de cada 20g de solidos se agregan 5 g de microcápsulas. En el caso de la denominación M2 moringa agregamos 1 g, M3 cascara de nuez agregamos 1 g y en la M4 agregamos 0.5 g de moringa y 0.5 g de cascara de nuez.

Posteriormente a esto se realizó la preparación habitual de la receta la cual consta en agregarle los huevos, mantequilla, chismas de chocolate y leche. La cual nos proporciona como resultado una masa lista para hornear, la cual se colocó dentro de los moldes y realizamos el proceso de horneado el cual se realiza a una temperatura de 100°C durante 15 min, después de este tiempo se retiran del horno y se deja enfriar para poder desmoldarlo y así tener listas las galletas.

6.4.1. Análisis bromatológico

La importancia del Análisis bromatológico determina la calidad y seguridad de los alimentos y su composición nutricional, que forman parte de la dieta alimentaria. Cumpliendo con los rangos establecidos según las normas del Codex alimentarius, comprobando y garantizando una adecuada alimentación a la población. (GARCIA, 2019).

6.4.1.2. Determinación de grasas

Método de Soxhlet

Es una extracción semicontinua con disolvente donde una cantidad de disolvente rodea la muestra y se calienta a ebullición, una vez que, dentro del Soxhlet, el líquido condensado llega a cierto nivel es sifonado de regreso al matraz de ebullición, la grasa se mide por pérdida de peso de la muestra o por cantidad de muestra removida (Nielsen, 1998).

Las grasas o triglicéridos son compuestos orgánicos carentes de nitrógeno, que se forman en el metabolismo vegetal y animal y poseen un punto de vista fisiológico en el valor calórico, son nutrientes con mayor poder energético (1 g de grasa = 9.3 Cal (calorías) = 38.9 KJ Kilojoules). Las grasas por lo general se encuentran asociadas con numerosas sustancias denominadas lípidos. La fracción de lípidos de los alimentos obtenida por medio de la extracción, esta fracción contiene ceras, esteroides, pigmentos aceites volátiles y algunas hormonas. Los aceites o grasas en una muestra seca se extraen con un solvente no polar; hexano, benceno o éter de petróleo. Desafortunadamente también se extraen algunos compuestos no polares como las ceras pigmentos. Por ejemplo, en forrajes verdes que son ricos en clorofila y pigmentos se obtienen resultados más altos de lo normal.

$$\% \text{ de Grasa base húmeda} = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

6.4.1.3. Determinación de fibra

La determinación de fibra en los alimentos ha cobrado auge en las últimas décadas, por su relación con diferentes patologías crónico-degenerativas cada vez más presentes en los países desarrollados y en desarrollo, como cáncer de colon, diabetes, diverticulosis y enfermedades cardiovasculares, entre otras (Vázquez, 2013).

La determinación de fibra cruda se basa en el tratamiento secuencial con ácidos y álcalis, para subvalorar el contenido de FD, ya que gran parte de la hemicelulosa es disuelta, así como la lignina y ciertas cantidades de celulosa junto con toda la fibra soluble (Vázquez, 2013).

Determinación de fibra

Este análisis se basa en el método de digestión ácida y alcalina de la muestra, como se puede observar en la ilustración 5; para obtener un residuo de fibra cruda y sales. Los cuales, con una calcinación posterior, se someterán a la determinación de la fibra cruda presente en la muestra analizada (Vázquez, 2013).



Ilustración 5 Determinación de fibra

Determinación de la fibra por detergente ácido

Su determinación permite tener una aproximación del grado de no digestibilidad de las fibras en un alimento. La muestra es sometida a una digestión por Cetil-trimetilamonio en ácido sulfúrico y el residuo es considerado como la fibra no digerible, bajo los siguientes cálculos (FAO, 2015c):

$$\% \text{ fibra} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

W1= Peso de la muestra (g)

W2= Peso del residuo (g)

Determinación de fibra por detergente neutro

Este método permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente. Este análisis se basa en el método de digestión ácida y alcalina de la muestra, para obtener un residuo de fibra cruda y sales. Los cuales, con una calcinación posterior, se someterán a la determinación de la fibra cruda presente en la muestra analizada (Vázquez, 2013)

Cálculos

$$\text{Contenido de fibra cruda (\%)} = 100((A - B)/C)$$

A = Peso del crisol con el residuo seco (g)

B = Peso del crisol con la ceniza (g)

C = Peso de la muestra (g)

6.4.1.4. Determinación de cenizas

Las cenizas en los alimentos corresponden a un término analítico, que se refiere al residuo orgánico que queda posterior a la calcinación de la materia orgánica, como se puede observar en la ilustración 6; que estima el contenido de los minerales en un alimento. En ocasiones, no son las mismas sustancias que se encontraban antes de dicho proceso, debido a las pérdidas por volatilización o reacciones químicas entre los componentes. El valor de la determinación de cenizas va relacionado directamente con la calidad del alimento, ya que el contenido de cenizas en los alimentos comprende determinados valores para cada grupo de alimentos. La determinación de estos compuestos se realiza por un método gravimétrico que determina el residuo inorgánico posterior a la calcinación de la muestra (quemando en su totalidad). Se determina el % del contenido de ceniza contenida en cada muestra en el estudio a través del cálculo de porcentaje, como se indica a continuación (Vázquez, 2013).



Ilustración 6 Determinación de ceniza

Si el contenido de cenizas (minerales) en el grano de trigo es alto, sobre todo si el peso hectolitrito es bajo, puede contaminar significativamente la sémola y la harina durante la molienda. En el caso de los trigos cristalinos, si los valores de ceniza son altos, estas partículas oscurecerán la sémola o, incluso, hasta las pastas formadas. Por lo tanto, el contenido de cenizas en los granos de trigo se considera deseable por debajo del 2% (CIMMYT, 2005).

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P - p) \times 100}{M}$$

Donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa del crisol vacío en gramos.

m= Masa de la muestra en gramos.

6.4.1.5. Determinación de humedad

La materia seca, no es más que la muestra a la que se ha extraído el agua por acción de calor. Está constituida por una porción susceptible de quemarse ya que está constituida por sustancias que contienen carbono o materia orgánica y que constituye a dar energía al alimento, la otra porción incombustible se encuentra formada por sustancias que no pueden quemarse y que los residuos que forman son cenizas cuando se someten a calcinación. La materia seca total se obtiene mediante la evaporación total de la humedad a una temperatura que varía entre 100 a 105 °C, este método determina el agua contenida en el alimento. Para el propósito del análisis de alimentos, se considera a la humedad como la pérdida de masa que sufre un material cuando se calienta a una temperatura cerca al punto de ebullición del agua durante el tiempo suficiente. El secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua; para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga cantidades significativas de compuestos volátiles.

$$\text{Materia seca total} = \frac{\text{peso del crisol con muestra seca} - \text{peso del crisol}}{\text{peso de la muestra humeda}} * 100$$

6.4.1.6. Determinación de azúcares por diferencia

En la dieta humana los carbohidratos proporcionan un 50 a 65% de la energía total requerida por el organismo los mismos proceden de vegetales, harinas, cereales, también del azúcar y de las conservas. Estos elementos tienen en su composición carbono, hidrógeno y oxígeno de los cuales estos dos últimos se encuentran en cantidades similares a las que posee el agua. La evaluación bromatológica en cuanto a la determinación de carbohidratos totales se fundamenta en que estos elementos son particularmente sensibles a altas temperaturas y ácidos fuertes por tanto a partir de ello se cuantifica la cantidad de almidón, se analizan las pectinas y aquellos elementos indigeribles por la dieta humana denominadas fibra dietética (Quispe Ramos, 2014).

Los carbohidratos son moléculas orgánicas conformadas por carbono, hidrógeno y oxígeno en proporciones fijas, pudiendo presentar un grupo funcional aldehído o cetona. También son conocidos como hidratos de carbono, glúcidos o azúcares .

Se realiza a partir de los datos experimentales en base húmeda obtenidos de cenizas, grasa, proteína y humedad:

$$\% \text{ de Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ de Cenizas} + \% \text{ de Grasa} + \% \text{ de Proteínas} + \% \text{ de Humedad})$$

6.5. Análisis sensorial

En el análisis sensorial participaron 20 panelistas entrenados y 4 panelistas consumidores, a los cuales se les proporcionaron 4 muestras M1 blanco o control, M2 moringa, M3 cascara nuez y M4 moringa/cascara de nuez. Los atributos que se evaluaron fueron apariencia global, color, olor, sabor, textura y aceptación global.

6.6. Análisis estadístico

Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado y los datos se sometieron a un Análisis de Varianza ANOVA y en los casos pertinentes a pruebas de Tukey de comparación de medias. Se estableció una significancia (α) de 0.05.

También se realizó un análisis sensorial, aplicando la prueba de nivel de satisfacción o hedónica y los parámetros sensoriales que se evaluaron fueron color, apariencia global, aceptación global, textura, sabor, y olor. Los datos obtenidos fueron analizados con ayuda del programa estadístico Infostat versión 2014, para realizar un análisis de varianza sobre cada atributo evaluado en cada tratamiento con una $p > 0.05$. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y en caso de haber diferencias significativas se realizó una comparación de medias por Tukey

7. Resultados

En este apartado se analizarán y discutirán los resultados obtenidos en esta investigación abordando desde la caracterización de los extractos obtenidos y caracterización de las microcápsulas cargadas de los extractos, hasta la evaluación de la calidad del alimento obtenido.

7.1. Determinación de proteína y capacidad antioxidante de los extractos obtenidos

En la tabla 6 podemos observar la capacidad antioxidante del extracto de moringa determinada en dos métodos diferentes, podemos apreciar que encontramos un mayor contenido mediante el método de FRAP esto debido a que se encuentra una mayor presencia de hierro ferrico (Fe^{+3}) presente en el reactivo de FRAP hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}) lo cual nos indica la presencia de antioxidantes.

Tabla 5. Capacidad antioxidante de extracto de moringa

DPPH ($\mu\text{molTE}/100\text{ g}$)	ABTS ($\mu\text{molTE}/100\text{ g}$)	FRAP ($\mu\text{molTE}/100\text{ g}$)
2645 \pm 108.333333	59.98 \pm 2	23422.1762 \pm 1815.934763

En la tabla 7 se muestra la capacidad antioxidante del extracto de cascara determinada en dos métodos diferentes, podemos apreciar que mediante el método de ABTS no se logra obtener alguna lectura esto debido a que este método se fundamenta en la cuantificación de la decoloración del radical $ABTS^+$, debido a su reducción a ABTS.

Tabla 6. Capacidad antioxidante de extracto de cascara de nuez

DPPH ($\mu\text{molTE}/100\text{ g}$)	ABTS ($\mu\text{molTE}/100\text{ g}$)	FRAP ($\mu\text{molTE}/100\text{ g}$)
14028.3333 \pm 125	0 \pm 0	179372.786 \pm 3214.2857

De acuerdo con la Tabla 8 podemos ver que las microcápsulas con extractos de moringa contienen mayor cantidad de proteína a comparación de las microcápsulas de extracto de nuez, esto debido a que las hojas secas de moringa son ricas en proteínas que se pueden comparar con alimentos como la carne, huevo y leche (Fuglie,2005).

Tabla 7. Contenido de proteína de los extractos

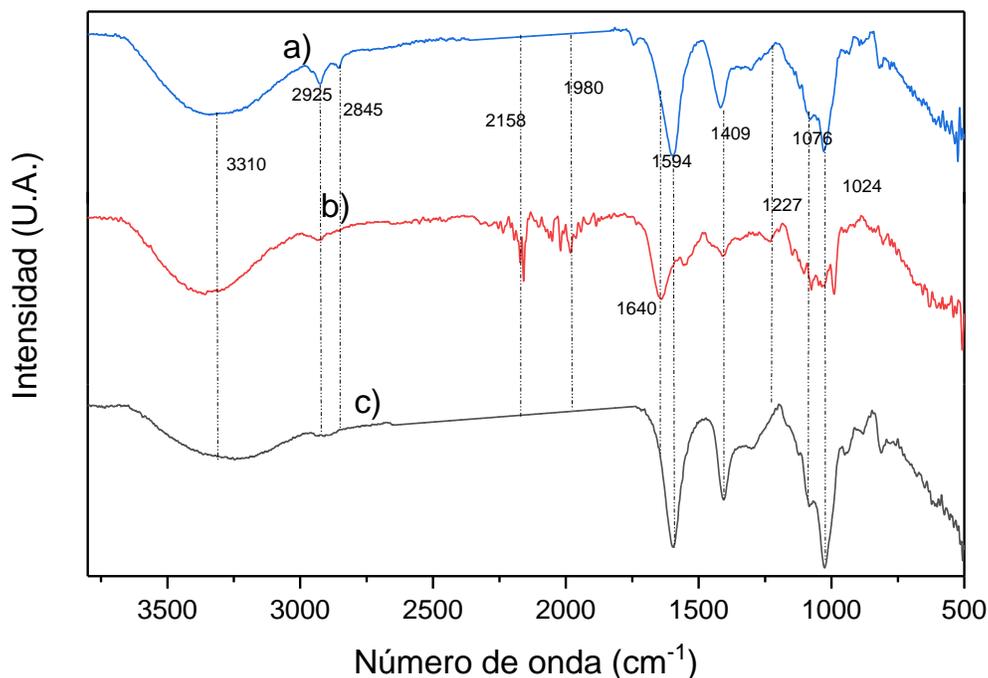
Extracto de moringa (% de proteína)	Extracto de cáscara de nuez (% de proteína)
3.730125±0.1776	0.1776±0

7.2 Caracterización de microcapsulas

7.2.1. Caracterización de microcápsulas mediante FT-IR

La grafica 1 muestra los espectros infrarrojos obtenidos del alginato (c) y los microencapsulados de alginato con los extractos de cáscara de nuez (a) y moringa (b). La banda ancha en 3310 cm^{-1} corresponde a los grupos hidroxilos presentes en la molécula de alginato, en el caso de las microcápsulas de moringa, esta banda es más intensa, debido a que en esta región también se encuentran las vibraciones entre las conexiones de las proteínas, las cuales se encuentran translapadas con los grupos aminos también presentes en estas moléculas. Alrededor de 2925 y 2845 cm^{-1} se presentan las bandas de tensión de grupos metilos y metilenos. La banda presente alrededor de 1594 cm^{-1} es atribuida a las vibraciones de tensión simétricas y asimétricas de los iones carboxilatos de la sal de alginato. La banda en el espectro b, se encuentra desplazada a la izquierda debido a la presencia del grupo carbonilo del grupo amida presente en las proteínas encapsuladas en la matriz de alginato (López et al., 2017).

Grafica 1. Caracterización de microcápsulas mediante FT-IR

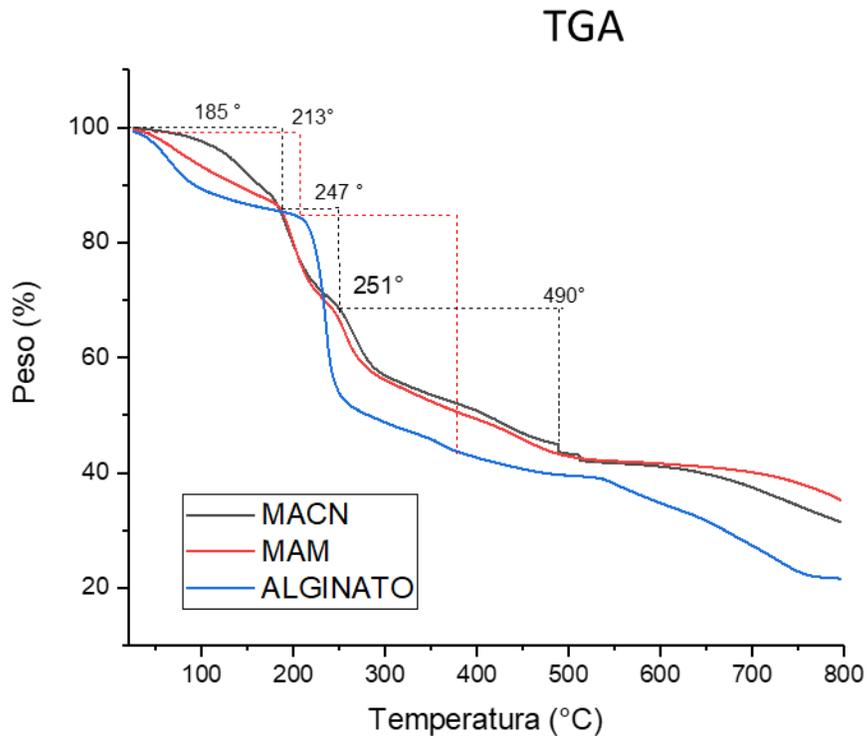


7.2.2. Caracterización de microcápsulas mediante TGA

Se llevó a cabo un análisis termogravimétrico para investigar el efecto de del entrecruzamiento sobre las propiedades térmicas de las micropartículas de alginato (MCA) en comparación con el alginato como materia prima, la gráfica 4. Para comparar la estabilidad térmica de las muestras, las curvas de TGA se dividieron en tres regiones. Primero, la temperatura de la región de degradación inicial se encuentra en el rango de 30 °C a 200 °C, la temperatura de la región media está en el rango de 201 °C a 300 °C y la temperatura de la última región está por encima de 300 °C. La pérdida de peso inicial de alginato a temperatura ambiente hasta 200 °C puede ser causada por deshidratación y seguida de degradación a CaCO_3 , en el caso de las MCA, esto explica la pérdida más pronunciada de la muestra (Kusuktham et al., 2014). En la región de 201–300 °C, el porcentaje de pérdida de peso se debe al rompimiento de la columna vertebral del alginato y la pérdida de los abundantes grupos hidroxilo del alginato en forma de agua. En el caso del alginato que no se encuentra entrecruzado con cloruro de calcio, se ve una pérdida más sustancial en este rango de temperatura, esto debido a que estos grupos OH se encuentran disponibles.

Por encima de 300 °C, el material se descarboxiló y formó CO_2 . A una temperatura de 700 °C, se formaron óxido de calcio e hidróxido de calcio (Kong et al., 2009). También se observa que las microcápsulas de moringa y nuez, contienen una mayor humedad, puesto que hay una caída en el rango de 30 a 200 °C, esto debido a que la humedad de las cápsulas queda atrapada en el interior de la misma. En comparación con el alginato, que tiene un caída abrupta entre los 200-300 °C, el entrecruzamiento en la microcápsula, genera estabilidad en la molécula, lo que permite evitar la pérdida de los grupos hidroxilos.

Ilustración 7. Análisis termogravimétrico del alginato y de las microcapsulas de alginato con extracto de moringa (MAM) y cáscara de nuez (MACN)



7.3. Preparación de microcápsulas de alginato cargadas con extractos de nuez y moringa

Para la preparación de las microcápsulas se preparó una solución de CaCl_2 y el extracto en un vaso de precipitado provisto de un agitador magnético. A esta mezcla se le agregó el alginato de sodio cual con ayuda de una jeringa de insulina se le suministró gota a gota el biopolímero, bajo estas condiciones se favoreció la formación de las microcápsulas.

Las cuales posteriormente se filtró y las dejamos secar a temperatura ambiente.

En la ilustración 5 microcápsulas de cascara de nuez podemos observar cómo se aprecian después de ser filtradas y dejarlas a secar a medio ambiente.



Ilustración 8. Microcápsulas de cáscara de nuez

En la ilustración 6 diferentes tamaños de microcápsulas de cascara de nuez podemos observar que en la parte superior se encuentran microcápsulas justo después de ser filtradas en la parte central se pueden observar las microcápsulas después de 24 horas expuestas a temperatura ambiente, mientras en la parte inferior el resultado después de 48 horas secas y listas para ser guardadas



Ilustración 6. Diferentes tamaños de microcápsulas de cáscara de nuez

En la ilustración 7 microcápsulas de moringa húmedas podemos observar cómo se aprecian las microcápsulas justo después de ser filtradas.



Ilustración 7. Microcápsulas de moringa húmedas

En la ilustración 8 microcápsulas secas de moringa se puede observar el resultado después de 48 horas a temperatura ambiente secas y listas para ser guardadas



Ilustración 8. Microcápsulas secas de moringa

7.3.1. Determinación del tamaño de partícula mediante microscopía óptica

De acuerdo con las imágenes obtenidas mediante microscopía óptica, se puede analizar que las microcápsulas obtenidas presentan una morfología semiesférica y una estructura núcleo-coraza, en la cual la coraza está constituida por el material de encapsulación y el núcleo por el material encapsulado. El tamaño promedio de las microcápsulas fue alrededor de 850 μm .

7.4. Elaboración de una galleta adicionada microcápsulas de extractos de moringa y cáscara de nuez

Para la elaboración de las galletas se realizaron 4 formulaciones las cuales se denominaron M1 blanco, M2 moringa, M3 cascara nuez y M4 moringa/cascara de nuez (50/50). Las cuales, durante la preparación de las mezclas, la muestra M2 moringa tomo una tonalidad más clara a comparación de las demás, después del proceso de horneado, las muestras se podían percibe iguales, en cuanto a su forma y color.

En la ilustración 9 galletas listas para hornear se colocó de manera uniforme dentro del molde para proceder a someterla al proceso de horneado.



Ilustración 9 Galletas listas para hornear

7.4.1. Análisis bromatológico

Los resultados obtenidos en el análisis bromatológico se muestran a continuación

7.4.1.1. Determinación de proteínas

De acuerdo con la tabla 9 determinación de proteína podemos notar que con la adición de las microcápsulas de *M. oleifera* aumenta el contenido proteico, con base en la literatura consultada se sabe que las hojas secas de *M. oleifera* contienen una gran cantidad de proteína con calidad igual a la de la carne, la leche y el huevo, por lo cual es una buena opción como alimento para la desnutrición y madres lactantes (Fuglie,2005).

Tabla 8. Determinación de proteína

Tipo de muestras	Muestra	Proteína (g/100g)
BLANCO	M1	15.12±1.49
CASCARA DE NUEZ	M2	14.51±0.142
MORINGA	M3	16.74±0.73
MORINGA Y CASCARA DE NUEZ	M4	16.26±0.08

7.4.1.2. Determinación de grasas

En base a la tabla 10 podemos observar que la galleta adicionada con microcápsulas de *M. oleifera* tienen menor grasa en comparación a las demás, esto debido a su menor contenido en lípidos, las hojas de *M. oleifera* pueden ser utilizadas en la rutina dietética de las personas con sobrepeso (Berkovich et al., 2013).

Tabla 9. Determinación de grasa

Tipo de muestras	Muestra	Grasa (g/100g)
BLANCO	M1	28.57±8.00
CASCARA DE NUEZ	M2	31.24±0.61
MORINGA	M3	27.47±1.16
MORINGA Y CASCARA DE NUEZ	M4	32.20±0.05

7.4.1.3. Determinación de fibra

De acuerdo con la NOM-F-376-S-1980 nos dice que el contenido máximo de fibra presente en una galleta es de 0.5, tomando en cuenta eso y a pesar de que es un producto de panificación a base de harina de trigo el contenido de fibra es bajo, como lo podemos observar en la tabla 11.

Tabla 10. Determinación de fibra

Tipo de muestras	Muestra	Fibra (g/100g)
BLANCO	M1	0.05±0.05
CASCARA DE NUEZ	M2	0.05±0.05
MORINGA	M3	0.11±0.16
MORINGA Y CASCARA DE NUEZ	M4	0.18±0.15

7.4.1.4. Determinación de cenizas

De acuerdo con la tabla 12 podemos observar que el contenido de ceniza se mantiene en un rango de 1.3 a 2.9, de acuerdo con la NOM-F-376-S-1980 nos dice que el contenido debe de ser del 2%, ya que en ese porcentaje podemos obtener diverso mineral, podemos ver que las galletas adicionadas con cascara de nuez y la galleta adicionada con moringa presentan el mismo comportamiento, en cuanto a la galleta adicionada con los dos extractos presenta el mayor porcentaje de ceniza.

Tabla 11. Determinación de cenizas

Tipo de muestras	Muestra	Cenizas (g/100g)
BLANCO	M1	1.3±0.26
CASCARA DE NUEZ	M2	1.86±0.15
MORINGA	M3	1.86±0.55
MORINGA Y CASCARA DE NUEZ	M4	2.83±0.47

7.4.1.5. Determinación de humedad

De acuerdo con la tabla 13 podemos ver que el mayor porcentaje de humedad está presente en la galleta adicionada con las microcápsulas de moringa y casara de nuez, en cuento a la galleta que presenta el menor porcentaje de humedad es la galleta adicionada con cascara de nuez esto debido a que la cascara de nuez a mostrado un potencial como aditivo alimenticio, se ha usado para incrementar la vida de anaquel de lechugas mínimamente procesadas (Caxambú et al., 2016) ya que inhibe el crecimiento de bacterias responsables del deterioro común; de igual manera, en la carne de pollo logra inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *L. monocytogenes* (Babu et al., 2013).

Tabla 12. Determinación de humedad

Tipo de muestras	Muestra	Humedad (g/100g)
BLANCO	M1	0.39±0.03
CASCARA DE NUEZ	M2	0.27±0.03
MORINGA	M3	0.38±0.03
MORINGA Y CASCARA DE NUEZ	M4	0.53±0.02

7.4.1.6. Determinación de azúcares por diferencia

De acuerdo con la tabla 15 podemos observar que la galleta adicionada con microcápsula de moringa presenta un menor porcentaje de carbohidratos, sin embargo, según el análisis estadístico, presenta diferencias significativas.

Tabla 13. Determinación de azúcares

Tipo de muestras	Muestra	Carbohidratos (g/100g)
BLANCO	M1	54.55±7.62
CASCARA DE NUEZ	M2	56.43±0.60
MORINGA	M3	54.40±0.03
MORINGA Y CASCARA DE NUEZ	M4	52.05±0.31

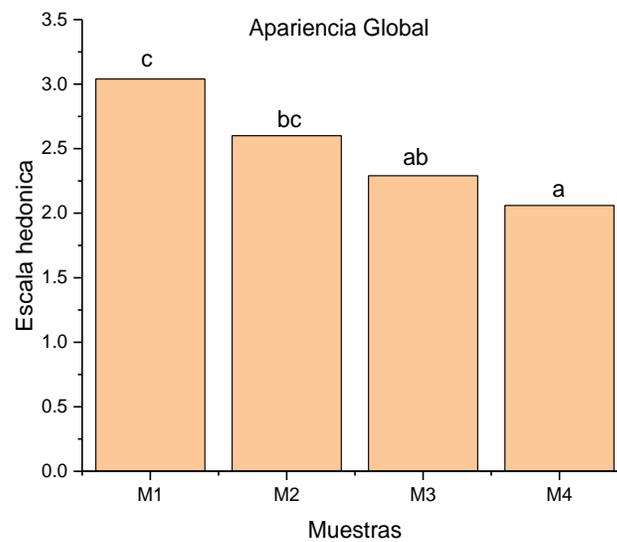
7.5. Análisis sensorial

En el análisis sensorial, el análisis estadístico muestra diferencias significativas en las cuatro muestras, obteniéndose mejores resultados en la muestra control (M1). La muestra con mayor aceptación entre los panelistas de las 3 muestras con micropartículas fue la muestra con microcápsulas de moringa (M2). La evaluación sensorial indica que la apariencia y el color son una cualidad esencial de las galletas que es evaluada por los ojos del consumidor. El análisis estadístico revela 3 diferentes poblaciones teniendo una aceptación mayor la galleta control y la galleta con microcápsulas de moringa. En análisis sensorial del color muestra que al añadir las microcápsulas el color se modifica y resulta menos apetecible para el consumidor. Respecto al olor y sabor y textura. La adición de las micropartículas modifica estas características organolépticas de la galleta. La frescura y el sabor son marcadores de calidad esenciales; sugieren la sensación en la boca, detectada por los receptores de la lengua (de Man, 1999). En cuanto a la aceptación global, también se mostraron diferencias significativas en las cuatro muestras analizadas, resultando con mayor aceptación la muestra control, sin embargo, la muestra con microcápsulas de moringa presenta una aprobación aceptable y en comparación con la muestra control posee mayores atributos nutricionales.

7.5.1 Apariencia global

En base a la gráfica 2 Apariencia global, podemos apreciar que la diferencia es notable y tuvo una mejor aceptación la muestra M1 blanco, de las tres muestras con tratamiento podemos observar que la más aceptable es la muestra M2 moringa, siendo la muestra M4 moringa/cascara de nuez es la menos aceptada.

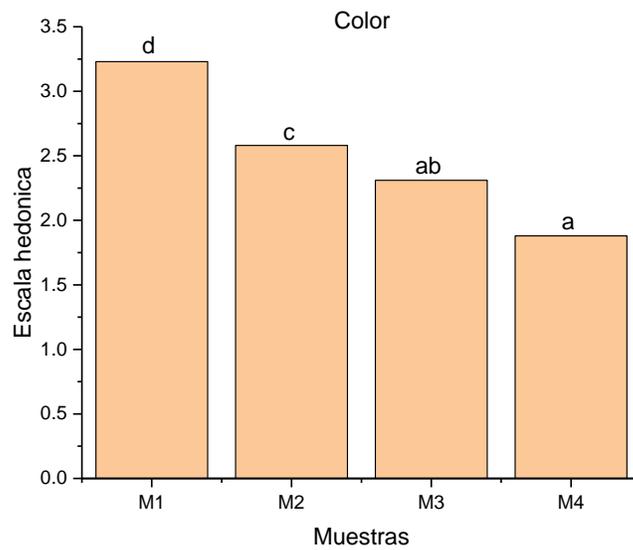
Gráfica 2. Apariencia Global



7.5.2 Color

En base a la gráfica 3 podemos observar que las muestras M3 cascara de nuez y M4 moringa/cascara de nuez son similares, mientras las muestras M1 blanco, M2 moringa, M3 cascara nuez son diferentes entre sí.

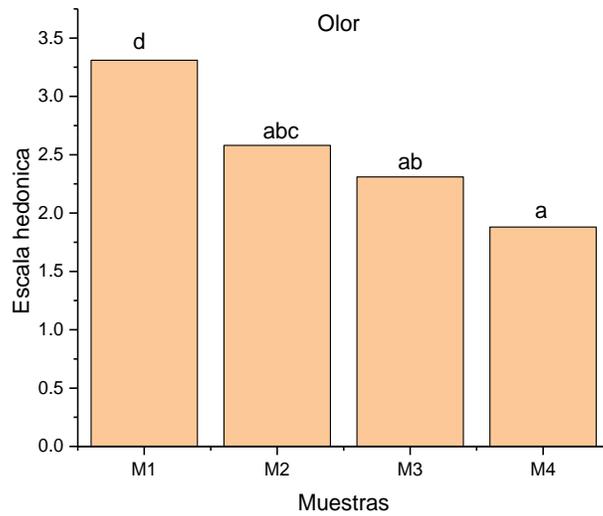
Grafica 3. Color



7.5.3 Olor

En base a la gráfica 4 Podemos apreciar que no existen diferencias significativas entre sí, pero podemos ver que las muestras M2 moringa, M3 cascara de nuez y M4 moringa/cascara de nuez son similares entre sí, como también lo son las muestras M2 moringa y M3 cascara de nuez son similares, mientras la muestra M1 blanco es diferente

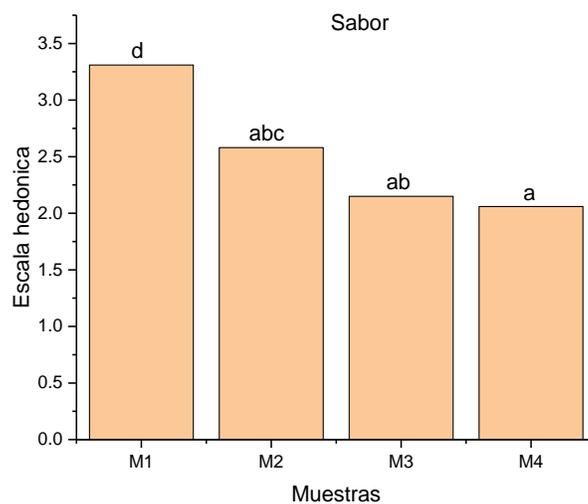
Gráfica 4. Olor



7.5.4 Sabor

En base a la gráfica 5 Podemos apreciar que no existen diferencias significativas entre sí, pero podemos ver que las muestras M2 moringa, M3 cascara de nuez y M4 moringa/cascara de nuez son similares entre sí, como también lo son las muestras M2 moringa y M3 cascara de nuez son similares, mientras la muestra M1 blanco es diferente

Gráfica 5. Sabor

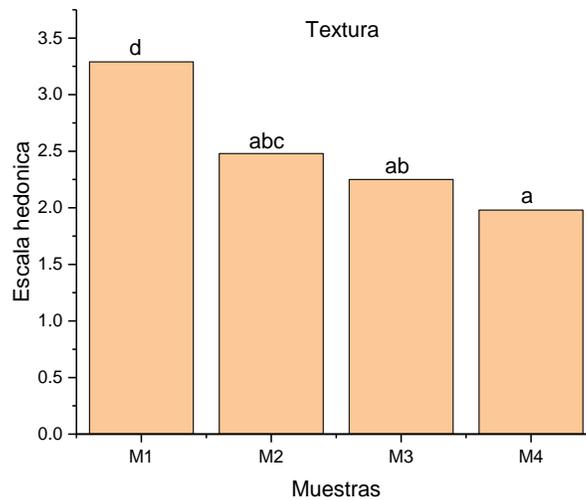


7.5.5 Textura

En base a la gráfica 6 Podemos apreciar que no existen diferencias significativas entre sí, pero podemos ver que las muestras M2 moringa, M3 cascara de nuez y M4 moringa/cascara de nuez son similares entre sí, como también lo son las muestras M2 moringa y M3 cascara de nuez son similares, mientras la muestra M1 blanco es diferente

Se observó que la galleta control (M1), tuvo una mayor aceptación puesto que según los comentarios obtenidos durante la prueba, se plantea que es necesario reducir el tamaño de las microcápsulas para mejorar la textura.

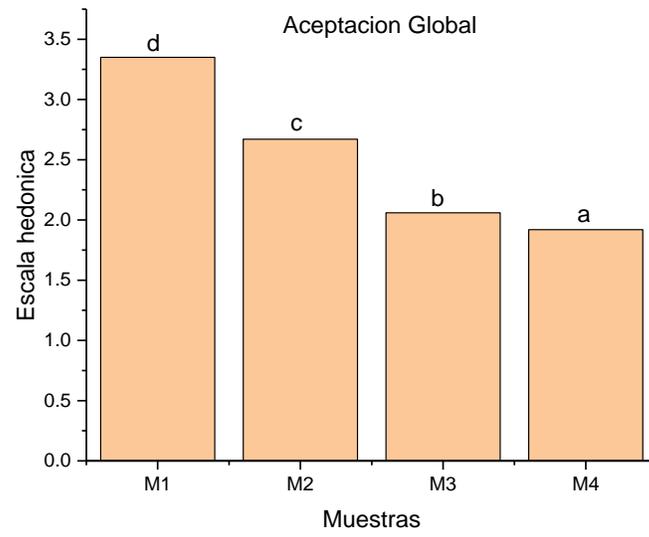
Gráfica 6. Textura



7.5.6 Aceptación global

En base a la gráfica 7 Podemos apreciar que las muestras M1 blanco, M2 moringa, M3 cascara nuez y M4 moringa/cascara de nuez son diferentes entre sí, podemos ver que la mejor aceptada es la galleta M1 blanco, en segundo lugar, podemos observar la galleta M2 moringa, en tercer lugar, la galleta M3 cascara de nuez y en último lugar M4 moringa/cascara de nuez

Gráfica 7. Aceptación global



7.6. Análisis estadístico

Tabla 14. Análisis proximal de galletas con microcápsulas de extracto de moringa y cáscara de nuez

Muestra	Proteína	Humedad	Cenizas	Grasa	Fibra	Carbohidratos
M1 Blanco	15.12 _a	0.39 _a	1.3 _a	28.57 _a	0.05 _a	54.55 _b
M2 Moringa	14.51 _a	0.27 _a	1.86 _b	31.24 _b	0.05 _a	56.43 _b
M3 Cascara de nuez	16.74 _b	0.38 _a	1.86 _b	27.47 _a	0.11 _c	54.40 _b
M4 Moringa/Cascara de nuez	16.26 _b	0.53 _b	2.83 _c	32.20 _b	0.18 _d	53.05 _a

Los valores representan la media y la desviación estándar de los tratamientos M1 blanco, M2 moringa, M3 cascara nuez y M4 moringa/cascara de nuez

Las medias con una letra común no son significativamente diferentes entre los tratamientos ($p < 0.5$)

Tabla 15. Análisis sensorial de galletas con microcápsulas de extracto de moringa y cáscara de nuez

Muestra	Apariencia Global	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptación Global
M1 Blanco	3.04±0.93 ^c	3.23 ±0.68 ^d	3.31±1.1 ^d	3.21±1.05 ^d	3.29±1.71 ^d	3.35±0.88 ^d
M2 Moringa	2.6±0.93 ^{bc}	2.58±0.8b ^c	2.52±1.15 ^{abc}	2.58±1.08 ^{abc}	2.48±1.79 ^{abc}	2.67±1.07 ^c
M3 Cascara de nuez	2.29±0.97 ^{ab}	2.31±1.54 ^{ab}	2.1±0.94 ^{ab}	2.15±1.18 ^{ab}	2.25±1.51 ^{ab}	2.06±0.99 ^b
M4 Moringa/Cascara de nuez	2.06±1.39 ^a	1.88d±1.26 ^a	2.06±1.13 ^a	2.06±1.19 ^a	1.98±1.79 ^a	1.92±1.26 ^a

Los valores representan la media y la desviación estándar de los M1 blanco, M2 moringa, M3 cascara nuez y M4 moringa/cascara de nuez

Las medias con una letra común no son significativamente diferentes entre los tratamientos ($p < 0.5$)

8. Conclusiones

Al realizar este trabajo se puede concluir que se logró encapsular extractos con alto contenido proteico a partir de *M. oleifera* y encapsular extractos con alta cantidad de antioxidantes a partir de cascara de *Carya illinoensis*, las cuales nos ayudaron al desarrollo una galleta funcional ya que, la galleta adicionada con microcápsulas de cáscara de nuez contiene el mayor porcentaje de proteína y fibra, además de un porcentaje menor de grasa. También se puede observar que la galleta con mayores beneficios es la galleta adicionada con microcápsulas de moringa/cascara de nuez (M4), puesto que posee un mayor contenido de proteínas y fibra, sin embargo, la galleta con mayor aceptación entre los panelistas fue la galleta adicionada con microcápsulas de moringa (M2).

9. Bibliografía

1. Alvidrez-Morales, A., González-Martínez, B. E., & Jiménez-Salas, Z. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista salud pública y Nutrición*, 3(3).
2. American Dietetic Association. 1999. Position of the American Dietetic Association: Functional Foods. *J. Am. Diet. Assoc.* 99: 1278-1285.
3. Araya LH, Lutz RM. Alimentos Funcionales y Saludables. *Revista Chilena de Nutrición*. Abril 2003, vol.30, no.1, p.8-14. Disponible en: <<http://www.scielo.cl>>. (consulta: abril de2007)
4. Ashwell M. Conceptos sobre Alimentos Funcionales. ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press 2005.
5. Bello J. 1995. Los alimentos funcionales o nutraceuticos. Nueva gama de productos en la industria alimentaria. *Alimentaria*. 265: 25-29.
6. Boonsri Kusuktham, JutaratPrasertgul, Pornchanok Srinu. Morfología y propiedad del silicato de calcio encapsulado con cuentas de alginato. *Silicio* (2014) 191–197
7. Campos de Jesús, S., Vázquez Palacios, L., Olivares Sáenz, E., Treviño Playán, L. M., Santos Moreno, O., Lemus Hernández, C., ... Leyva Retes, J. A. (2005). Diagnóstico del cultivo de nogal, Nuevo León.
8. Chinchilla, A., Rubio-Arreaez, S., Castelló, M. L., & Ortolá, M. D. (2020). Enrichment of Protein and Antioxidants of Cupcake with Moringa (*Moringa oleifera*) Leaf Powder and Sensorial
9. Chiselli A, Serafini M, Maiani G, Azzini E, Ferro-Luzzi A. A fluorescence-based method for measuring total plasma antioxidant capability. *Free Rad Biol Med*. 1995;18(1):29-36.
10. Corell, P.; García-Segovia, Purificación; Sapiña, F.; Farré, I.; Castells, P. y Martínez-Monzó, J. 2007. Efecto del ión calcio sobre las propiedades texturales de esferas de alginato aplicadas a cocina. *Alimentaria*. 388:79-83

11. De la Rosa, L. a., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Kernels and Shells of Mexican Pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 152–162. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>

12. Dewettinck, K., Messens, W., Deroo, L., Huyghebaert, A. Agglomeration tendency during top-spray fluidized bed coating with gelatin and starch hydrolysate *LWT - Food Sci Technol* 32 (2): pp. 102-106, 1999.

13. Funami, Takahiro; Fang, Yapeng; Noda, Sakie; Ishihara, Sayaca; Nakauma, Makoto; Draget Kurt I. Nishinari, Katsuyoshi and Phillips, Glyn O. 2009. Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca²⁺ binding. *Food Hydrocolloids*. 23(7):1746-1756

14. García Martínez, E. M., Fernández Segovia, I., & Fuentes López, A. (2013). Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte.

15. GARCIA ROCHA, N. E. Y. S. A. (2019). ANALISIS BROMATOLOGICO. <http://hdl.handle.net/123456789/13143>

16. Guesry, P. R. 2005. Impact of 'functional food'. *Forum Nutr* 73-83

17. Guevara, J. R., & Rovira, M. G. (2012). Caracterización de tres extractos de *Moringa oleífera* y evaluación de sus condiciones de infusión en sus características fisicoquímicas.

18. Gutiérrez Zavala, Á., Ledesma Rivero, L., García García, I., & Grajales Castillejos, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(1), 0-0.

19. Helgerud, Trond; Gåserød, Olav; Fjæreide, Therese; Andersen, Peder O. and Larsen, Christian K. 2010. Alginates. In *Food stabilizers, thickeners and gelling agents*. (pp. 50-72). United Kingdom: Wiley Blackwel

20. Hughes K, Ong CN. Vitamins, selenium, iron, and coronary heart disease risk in Indians, Malays, and Chinese in Singapore. *J Epidemiol Community Health*. 1998;52(3):181-5.
21. Jacob RA, Burri BJ. Oxidative damage and defense. *Am J Clin Nutr*. 1996;63(6):985S-90S.
22. Jose E. Villarreal-Lozoya, Leonardo Lombardini, Luis Cisneros-Zevallos. Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivars. Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University, College Station, USA Received 9 May 2006; received in revised form 22 June 2006; accepted 4 July 2006
23. Kailasapathy, K. Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. *Current Issues Intestinal Microbiol* 3 (2): pp. 39-48, 2002.
24. Krasaekoopt, W.; Bhandari, B.; Deeth, H. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *Int. Dairy J* 14: pp. 737-743, 2004
25. Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25, 726-732.
26. Kong QS, Ji Q, Xie YZ, Guo ZX, Yu J (2009). Thermal degradation and flame retardancy of calcium alginate fibers. *Chin J Polm Sci* 27:807
27. Lim, T. K. (2012a). *Carya Illinoensis*. In *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (Vol. 2, pp. 867–878). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1764>
28. Lim, T. K. (2012b). *Carya Illinoensis*. In *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (pp. 51–57). Springer Science+Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2534-8_3
29. Lopes S., Bueno L., Aguiar Júnior F., Finkler Christine. Preparation and characterization of alginate and gelatin microcapsules containing *Lactobacillus rhamnosus* *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2017)

30. M. R, Mortazavian, A.; Razavi, S. H.; Ehsani, M. R.; Sohrabvandi, S. Principles and methods of microencapsulation of probiotic microorganisms. *Iranian J Biotechnol* 5(1): pp. 1-18, 2007.

31. Mishra G, Singh P, Verma R, Kumar S, Srivastav S, Jha KK, et al. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Moringa oleifera* plant: an overview. *Der Pharm Lett* 2011.

32. Mofidi, N.; Aghai-Moghadam, M. and Sarbolouki, M.N. 2000. Mass preparation and characterization of alginate microspheres. *Process Biochemistry*. 35(9):885-888.

33. McKee T. y J. R. McKee 2003. *Bioquímica. La base molecular de la vida*. Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España. p 773.

34. Nag, A. Development of microencapsulation technique for probiotic bacteria *Lactobacillus casei* 431 using a proteinpolysaccharide complex. Thesis for the grade of Masters in Food Technology, Massey University, New Zealand, 2011.

35. Nohemí del Carmen Reyes Vázquez. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ) Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México. Primera edición, 2016.

36. Pedroza, R. Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. En: CruzSuárez, L. E.; Ricque, D.; Tapia, M., Gaxiola, M. G.; Simoes, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México

37. Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., Åkesson, B. Bergenståhl, B. 2008, Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal, *Molecular Nutrition and Food Research*, 52, 708-717.

38. Quispe Ramos, D., & Argani, O. (2014). Fundamentos de bromatología. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 41, 2128.

39. Roberfroid, M. B. 1999. What is beneficial for health? The concept of functional food. *Food Chem Toxicol* 37: 1039-1041
40. Sandoval, A.; Rodríguez, E.; Ayala, A. Encapsulación de Aditivos para la Industria de Alimentos. *Ingeniería y Competitividad* 5 (2): pp. 73-83, 2004.
41. Sanguansri, Luz and Augustin, Mary Ann. 2010. Microencapsulation in functional food product development. In *Functional food product development*. (pp. 1-23). United Kingdom: Wiley-Blackwell
42. SIAP-SAGARPA. (2015). Atlas Agroalimentario 2015. Retrieved from http://nube.siap.gob.mx/publicaciones_siap/pag/2015/Atlas-Agroalimentario-2015
43. Tan, Lai Hui; Chan, Lai Wah and Heng, Paul Wang Sia. 2009. Alginate/starch composites as wall material to achieve microencapsulation with high oil loading. *Journal of Microencapsulation*. 26(3):263-271
44. Viada Pupo, E., Gómez Robles, L., & Campaña Marrero, I. R. (2017). Estrés oxidativo. *Correo Científico Médico*, 21(1), 171-186.
45. Wagner D, Burton GW, Ingold KU, Locke S. Quantitative measurement of the total peroxy radical-trapping antioxidant capability of human blood plasma by controlled peroxidation. *FEBS Lett*. 1985;187:33-7
46. Wagner, Vendrame; Hazel, W. (2005). *Carya illinoensis* Pecan. In R. E. Litz (Ed.), *Biotechnology of fruit and nut crops*. CABI.
47. Williams, S.R. 1995. *Basic Nutrition and Diet Therapy*. Mosby Publishers, 10a edición. St. Louis, USA. p. 720