



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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO EN EL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN (*L. VANNAMEI*), COMO RECUBRIMIENTO ALIMENTICIO PARA LA FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA DUCH*)

Angel David Serrano Martínez

Asesorado por la Msc. Inga. Andrea Pereira Medrano

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO EN EL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN (*L. VANNAMEI*), COMO RECUBRIMIENTO ALIMENTICIO PARA LA FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA DUCH*)

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANGEL DAVID SERRANO MARTÍNEZ

ASESORADO POR LA MSC. INGA. ANDREA PEREIRA MEDRANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO EN EL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN (*L. VANNAMEI*), COMO RECUBRIMIENTO ALIMENTICIO PARA LA FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA DUCH*)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha de marzo de 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Angel David Serrano Martínez', written over a circular stamp or seal.

Angel David Serrano Martínez

Guatemala, 05 de marzo de 2019.

Director
Carlos Salvador Wong
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Director:


Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Angel David Serrano Martínez** carné número **201020701**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,


"Id y Enseñad a Todos"


Maestra. Inga. Andrea Pereira Medrano
Asesor(a)


Maestra. Inga. Hilda Piedad Palma Martínez
Coordinadora de Área
Ciencias Aplicadas



MSc. Inga. Andrea Pereira
Colegiado 2331


Maestro. Ing. Edgar Dario Alvarez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/LZLA.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **ANGEL DAVID SERRANO MARTÍNEZ**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS** titulado **“DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO EN EL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN (L. VANNAMEI), COMO RECUBRIMIENTO ALIMENTICIO PARA LA FRESA (FRAGARIA X ANANASSA DUCH)“**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Williams G. Álvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2019

Cc: Archivo
WGAM/ale





La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO EN EL EXOESQUELETO DEL CAMARÓN (L.VANNAMEI), COMO RECUBRIMIENTO ALIMENTICIO PARA LA FRESA (FRAGARIA X ANANASSA DUCH)**, presentado por el estudiante universitario: **Angel David Serrano Martínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.




Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, Octubre de 2019

AACE/asga
cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Violeta Martínez, por demostrarme que con pasión, perseverancia y trabajo duro cualquier meta se puede alcanzar.

Mis abuelos

Raúl Martínez y Teresa Gil, por siempre guiarme con su experiencia por el camino correcto.

Mi hermana

Pamela Serrano, por ser mi compañera de experimentos, de juegos y de vida.

Mis amigos

Pedro Alvizures, Christian López, María Fernanda Contreras, por compartir conmigo aventuras, conocimiento, alegrías y tristezas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la *alma mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

Mis amigos de la carrera

Por haberme acompañado durante todos estos años.

Mis asesora

Msc. Inga. Andrea Pereira Medrano, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

Mis catedráticas

Msc. Inga. Hilda Palma, Licda. Blanca Méndez, quienes me brindaron su apoyo y confianza para el desarrollo del trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.6. Pregunta principal.....	11
3.7. Preguntas secundarias.....	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCION.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Gestión integral de desechos industriales	19
7.2. Aprovechamiento de subproductos alimenticios.....	19

7.3.	Crustáceos	21
7.3.1.	Camarón <i>Litopenaeus vannamei</i>	21
7.3.2.	Exoesqueleto.....	24
7.4.	Biopolímeros	24
7.4.1.	Quitina	25
7.4.2.	Quitosano	26
7.4.3.	Obtención de quitina y quitosano.	26
7.4.4.	Caracterización del quitosano	27
7.4.5.	Usos y aplicaciones.....	29
7.5.	Fresa	29
7.5.1.	Enfermedades de la fresa	30
7.6.	Películas y recubrimientos comestibles.....	31
7.6.1.	Composición de los recubrimientos alimenticios. ...	32
7.7.	Preservación de alimentos	32
7.8.	Vida de anaquel	33
7.8.1.	Indicadores medibles en estudios de vida de anaquel	34
7.8.1.1.	Sensorial	34
7.8.1.2.	Físicos	34
7.8.1.3.	Microbiológicos.....	35
7.8.1.4.	Químicos	35
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.	37
9.	METODOLOGÍA	39
9.1.	Diseño de investigación.	39
9.2.	Tipo de estudio.....	39
9.3.	Alcance	39
9.4.	Fases	42

9.4.1.	Fase 1: obtención del exoesqueleto de camarón. ..	42
9.4.2.	Fase 2: lavado, secado y trituración del exoesqueleto.	42
9.4.3.	Fase 3: desproteinización.....	43
9.4.4.	Fase 4: desmineralización y blanqueamiento.	44
9.4.5.	Fase 5: desacetilación de quitina.....	44
9.4.6.	Fase 6: purificación,.....	45
9.4.7.	Fase 7: formulación del recubrimiento comestible..	46
9.4.8.	Fase 8: control microbiológico.	47
9.4.9.	Fase 9: aplicación del recubrimiento.	47
9.4.10.	Fase 10: determinación de vida de anaquel	49
9.5.	Resultados esperados.....	50
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	51
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	53
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO	55
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	APENDICES	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Anatomía de un camarón	22
2.	Ciclo de vida de un camarón en cautiverio	23
3.	Estructura de quitina, quitosano y celulosa	25
5.	Proceso de obtención de quitosano	28
6.	Cronograma general de actividades.....	53

TABLAS

I.	Caracterización de muestras de quitina y quitosano.	27
II.	Variables e indicadores	40
III.	Resultados esperado.....	50
IV.	Presupuesto.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m/m	Concentración masa/masa
m/v	Concentración masa/volumen
M	Concentración molar
p/p	Concentración peso/peso
DA	Desacetilación
d	Día
°C	Grado Celsius
g	Gramo
Kg	Kilogramo
L	Litro
m	Masa
>	Mayor que
<	Menor que
mg	Miligramo
mL	Mililitro
min	Minuto
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno, indicador de acidez
T	Temperatura
t	Tiempo
UFC	Unidades formadoras de colonias
μ	Viscosidad

GLOSARIO

Biopolímero	Polímeros que pueden ser sintetizados por seres vivos en su metabolismo con funciones específicas en su ciclo de vida.
Concentración	Cantidad de una sustancia en relación a un sistema, normalmente expresada como porcentaje, %, y con unidades de medida m/m (masa/masa).
Desacetilación	Proceso por el cual se eliminan unidades acetilo de una molécula de quitina. También hace referencia al porcentaje de moléculas de quitina sin el grupo acetilo.
Desecho	Calificación que se le da a un producto, el cual presenta problemas de calidad y no puede ser reutilizado o reparado según sea el caso y se deba disponer.
Exoesqueleto	Superficie externa que cubre en su totalidad a un artrópodo. Sirve para proteger, sostener la musculatura y órganos de estos seres vivos.
Formulación	Balancear las proporciones de los componentes dentro de una fórmula para obtener un resultado específico.

**Recubrimiento
alimenticio**

Barrera artificial que se coloca a un alimento con uno o varios objetivos específicos, como proteger del ataque de microorganismos o ralentizar el proceso de deterioro de un alimento. En algunos casos puede ser ingerido por el ser humano.

Quitosano

Biopolímero que se obtiene luego de lograr 66% o más de desacetilación de la quitina.

Vida útil

Tiempo en el cual un producto alimenticio es apto para el consumo y cumple con todas las condiciones de calidad específica.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación buscará resolver dos problemas de la sociedad guatemalteca. En el primero se tratará de evitar posibles focos de contaminación derivados de subproductos alimenticios provenientes de los crustáceos, dándole importancia al exoesqueleto del camarón como materia prima para la obtención de quitosano. En el segundo se buscará reducir el desperdicio de alimentos que tienen un corto tiempo de vida útil, enfocándose en el caso particular de la fresa.

Para lograr lo anterior se formulará un recubrimiento alimenticio tomando como base al quitosano, que pueda ralentizar el metabolismo de la fresa y prolongar su vida útil. La obtención de quitosano se realizará mediante la siguiente metodología: desmineralización, desproteización, desacetilación y purificación. Se tomará como parámetro el % de nitrógenos para medir el grado de desacetilación.

Se variará la cantidad de quitosano, 1, 3 y 5 %, dentro de la formulación del recubrimiento alimenticio. Se realizarán cultivos de microorganismos que atacan a la fresa en *agar sabouraud* y el recubrimiento para determinar el poder de inhibición de crecimiento de UFC.

Los recubrimientos formulados se aplicarán a 15 fresas por cada método: inmersión, aspersión y película, con el fin de encontrar la manera correcta de aplicarlos e iniciar los controles diarios para determinar cuál logrará prolongar por más tiempo la vida útil del alimento.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no hay ningún proceso perfecto, la industria de alimentos no escapa a esto, en algún punto todos generan desperdicios. En ciertos casos otras industrias los pueden utilizar directamente o luego de un tratamiento previo, lo que puede ocasionar ganancias adicionales para la empresa productora de ese material.

En las industrias productoras de camarón o crustáceos se tiende a desperdiciar el caparazón, este subproducto contiene quitina, la cual es un polisacárido que tiene aplicaciones en diversas industrias como la médica, farmacéutica, alimentos, entre otros. Solo en Guatemala durante el 2017 se produjeron 13 mil toneladas de camarón, que deja aproximadamente 200 toneladas anuales de desperdicios como caparazón, patas, cabeza (Agexport, 2018). Teniendo en cuenta que la quitina presente solo en la caparazón es entre 6 y 10% se desperdicia anualmente entre 12 y 20 toneladas de quitina y una cantidad muy similar de quitosano. (Abadia, 2014).

Debido a características propias de las fresas estas tienen una corta vida de anaquel tanto sometida a condiciones de medio ambiente normales o en refrigeración, para lo cual se hace necesario estar regulando su tasa de respiración, maduración y procesos enzimáticos. En este caso las películas comestibles cumplen esas funciones, permitiendo prolongar su vida útil.

Para la obtención de quitina y su transformación a quitosano se plantea en la sección de metodología el siguiente procedimiento: lavado, secado y trituración del exoesqueleto, desproteización, desmineralización, desacetilación y

purificación, para así obtener cristales de quitosano con un alto porcentaje de desacetilización (Escobar, Ossa, Quintana & Ospina, 2013). Este será utilizado para la elaboración de un recubrimiento comestible.

Por tal motivo se presentarán tres posibles formulaciones de un recubrimiento comestible utilizando como principal agente activo el quitosano, estas se diferenciarán por la cantidad de quitosano presente (1, 3 y 5 %), de esta manera se optimizará el consumo de este materia. También se evaluarán los métodos de aplicación de un recubrimiento, inmersión, aspersion y película, para determinar cuál brinda mejores resultados sobre la vida de anaquel de la fresa e inhibe el crecimiento de hongos y levaduras.

Como apoyo una empresa dedicada a la producción y distribución de camarón aportará el exoesqueleto. Los procesos de extracción, formulación, aplicación y prueba de vida de anaquel se realizarán en el Laboratorio de Extracciones Industriales y Laboratorio de Microbiología, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El informe final de este trabajo de investigación contará con los siguientes capítulos: 1) Marco teórico, en este se detallará toda la teoría encontrada sobre el tema investigado. 2) Resultados, contará con las tablas de los datos finales obtenidos. 3) Análisis de resultados, se discutirá el porqué de la información obtenida. 4) Conclusiones, acá se detallará a qué se llegó en la investigación.

2. ANTECEDENTES

A continuación se hace un resumen de artículos científicos e investigaciones realizadas que están relacionadas a formulaciones de recubrimientos alimenticios que dentro de sus materias primas incluyen al quitosano o sustancias similares, así como su aplicación con el fin de prolongar la vida de anaquel en algún alimento.

Huang, Chen y Li (2012) desarrollaron un recubrimiento comestible utilizado en el camarón de pierna blanca, buscando preservar la calidad durante su almacenaje. En este trabajo se comparan las funciones del quitosano y el carboximetil quitosano. Las condiciones fueron alta humedad, baja temperatura y sin hielo. Se observó que el compuesto carboximetil es soluble en agua y su aplicación en las condiciones descritas limitó su funcionamiento, las formulaciones con hasta 10 días de vida de anaquel fueron las que contienen 1 y 1.5 % de quitosano. De este material se puede obtener información para la formulación y métodos de comparación de vida útil.

López, et al. (2012) elaboraron un recubrimiento comestible para la fresa utilizando como componentes principales el quitosano y aceite esencial de canela. Nuevamente teniendo como resultado que con el 1 % de quitosano y 0.1 % de aceite de esencia de canela, ellos lograron una vida de anaquel de 15 días, reduciendo dos unidades logarítmicas las unidades formadoras de colonias por gramo. Este artículo se relaciona por presentar una metodología para la formulación de recubrimientos comestibles.

Andrade (2014) realizó una valoración de la composición química del caparazón de camarón, con el fin de obtener colorante. Dentro de sus resultados muestra que el contenido principal es quitina con rango de 17-32 %, proteínas 17-42 %, pigmentos 1-14 % y cenizas 41-46 %; también muestra que el producto obtenido presenta bajos niveles de contenido microbiológico como coliformes totales. Relacionándose por presentar una metodología para determinar el contenido de quitina y su medio de extracción de la caparazón de camarón.

Para una aplicación en tomates, García, Casariego, Díaz & Roblejo (2014) formularon su recubrimiento comestible utilizando quitosano acompañado de zeolita, lograron retrasar el deterioro del alimento, prologando su vida de anaquel, manteniendo el color y evitando la proliferación de mohos. No lograron contener la pérdida de peso por humedad debido a ser una membrana permeable al vapor de agua. El artículo se relaciona ya que muestra una metodología de formulación y evaluaciones físicas al alimento recubierto.

En Venezuela se evaluaron distintos procedimientos para la obtención de quitina y quitosano a partir del exoesqueleto de cangrejos, con el fin de reutilizar este desecho. Como resultado demostraron que el procedimiento consiste en: “lavado, trituración, desproteínización con hidróxido de sodio al 10%, desmineralización con ácido clorhídrico al dos molar durante dos horas, decoloración con butano en relación 20 g / 150 mL con agitación por una hora, desacetilación de quitina con tratamiento térmico en solución de NaOH. Obteniendo un rendimiento del once por ciento” (Colina, et al.2014).

De este trabajo se pueden obtener estimados de reactivos y materias primas a utilizar.

Barros, Guzmán y Tarón (2015) trabajaron en Colombia una comparación cuantitativa sobre la calidad y cantidad de la quitina presente en el caparazón de la jaiba y del camarón. Utilizaron técnicas de espectroscopia de infrarrojo para determinar el grado de acetilación, volumetría potenciométrica para la determinación de los grupos aminos libres, calcinación para medir sólidos y el método Kjeldhal para el contenido de nitrógeno. Lo anterior se encuentra relacionado al presente trabajo de graduación ya que califica y cuantifica la quitina que es posible extraer del caparazón de camarón.

Arce, Ortega, Ochoa & Vélez (2016) realizaron estudios de permeabilidad de vapor de agua en las películas de proteína de lacto suero / quitosano y el efecto sobre la respiración del banano recubierto. Como resultado propusieron el uso de 1.5 % de quitosano y 3 % de lacto suero, ambos se utilizaron por sus propiedades antifúngicas, de esta manera se logró retrasar el punto climatérico de maduración a condiciones ambientales hasta 9 días, para la muestra control sin recubrimiento se llegó al día siete. Con esto, se determina la metodología para la formulación de un recubrimiento alimenticio y pruebas de vida de anaquel aplicables.

En una aplicación a mango (*Mangifera indica L.*) se utilizaron aceites esenciales de naranja y limón en presencia de quitosano para la formulación de un recubrimiento comestible. Con esto lograron alargar la vida de anaquel de esta fruta hasta once días. “La aplicación con limón fue bien aceptada por el panel sensorial mientras que la formulación con naranja fue rechazada debido al sabor proporcionado” (Rico, Gutiérrez & Días, 2016). Este trabajo brinda criterios para la selección de un acompañante funcional al quitosano para el recubrimiento.

Villegas & Albarracín (2016) formularon y aplicaron un recubrimiento a base de hidroxipropil metil celulosa, HPMC, con cera de abeja, glicerol, ácido esteárico y Tween 80 a la mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*) cosechada con madurez comercial. Ellos trabajaron con 5 formulaciones en las cuales se varía la cantidad de cera de abeja en relación al HPMC, la fruta fue sumergida en el recubrimiento. Se evaluó pérdida de peso, índice de respiración, acidez titulable, sólidos totales, pH. Las diferencias entre los grupos de prueba fueron mínimas llevando a la fruta a una vida útil de 15 días en refrigeración a 4 °C. Este artículo muestra cómo realizar el tratamiento para cinco variaciones en la fórmula, así como los análisis fisicoquímicos realizados a una fruta parecida a la fresa en cuanto a cuidados requeridos para su conservación y vida de anaquel.

Para determinar la adherencia del recubrimiento alimenticio hacia el alimento, Amha, Yusof, Jai & Hamzah (2017) añadieron aceite esencial de cúrcuma a un recubrimiento a base de quitosano aplicado a tomate *cherry*. Mediante el método de Zisman, lograron determinar la tensión superficial creada por el recubrimiento. Este artículo presenta metodología para la realización de estudios físicos para determinar la efectividad del recubrimiento.

Domínguez (2017) realizó un recubrimiento con alcohol polivinílico, quitosano y mucilago de nopal. Dentro de sus resultados demostró que la relación entre la cantidad de mucilago y quitosano tiene un efecto en la actividad antimicrobiana. También evaluó la vida de anaquel midiendo el crecimiento de hongos, pérdida de peso, color, textura y pH. Este artículo se relaciona ya que presenta una metodología sobre los criterios a evaluar para determinar la vida de anaquel.

Fernández, Echeverría, Mosquera & Paz (2017) realizaron una revisión bibliográfica para determinar qué son los recubrimientos comestibles, de dónde

se obtienen las materias primas, cuáles son sus beneficios, sus principales componentes, formulaciones, método de aplicación, pruebas a realizar y hacia donde se están dirigiendo los nuevos esfuerzos de la investigación. También indican que no se utiliza solo una sustancia en la formulación, siempre se mezcla con otra para fortalecer el efecto deseado o para hacer una formulación más robusta que ataque varios tipos de microorganismos. El artículo establece relación al brindar información para las secciones de metodología, formulación y marco teórico.

Rahmawati, Chandra, Santoso & Puteri (2017) desarrollaron un recubrimiento comestible utilizando aceite esencial de limón y naranja dulce como agentes antimicrobianos, para prolongar la vida útil del tofu y la fresa. Además utilizaron Tween 80 como emulsificante, almidón de yuca y alginato de sodio como agentes de recubrimiento, el primero por su bajo costo y el segundo por su aporte de cationes y glicerol de 85 % como plastificante. Luego de realizar estudios microbiológicos se determinó que para el tofu se requiere un 0.6 % de dilución de aceites en Tween 80 y un 1 % para la fresa. De este artículo se obtienen las funciones detalladas de los componentes requeridos en la formulación.

En los artículos anteriormente descritos se desarrollan formulaciones para recubrimientos comestibles a base de quitosano, los cuales se mezclan con otras sustancias, principalmente aceites esenciales para mejorar condiciones específicas como la adherencia, permeabilidad y funciones en control microbiológico. Dentro de sus resultados muestran prolongación de vida de anaquel, disminución en la respiración, control en la pérdida de peso debido al vapor de agua, control de la calidad en las propiedades organolépticas como color, textura, sabor y olor. A su vez brindan criterios de evaluación y formulación para los recubrimientos comestibles.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se detalla cada una de las secciones necesarias para lograr plantear de manera explícita el problema que se busca resolver: ¿cómo aprovechar el exoesqueleto del camarón que actualmente es considerado desecho?

3.1. Contexto general

El constante requerimiento de generar mayores ganancias en las industrias se ha volcado no solamente a la optimización de procesos y disminución de costos, sino también a revalorizar lo que se descarta como un subproducto. La tendencia ecológica de las 3 R's: reciclar, reutilizar y reducir, presenta como fin evitar los focos de contaminación, con ello se busca utilizar en el mismo proceso generador el desperdicio o en caso contrario que otro proceso o industria lo aproveche.

3.2. Descripción del problema

El exoesqueleto del camarón, o caparazón, normalmente es desechado como desperdicio en la industria guatemalteca. Ya que su consumo no es muy frecuente, en la mayoría de preparaciones el caparazón se remueve antes de cocinar o antes de su ingesta. Dada esa cultura de consumo se puede observar en los supermercados o en ventas al mayoreo que se vende la carne de camarón, sin cabeza, patas o exoesqueleto, como un producto de fácil preparación.

3.3. Formulación del problema

De lo anterior descrito surge la pregunta: ¿será posible encontrar una aplicación directa o una reutilización para el exoesqueleto del camarón *L. vannamei*?, y con el presente trabajo de graduación se busca dar una respuesta que tenga como alcance aplicar la metodología de extracción de quitosano basada en fases de desproteización, desmineralización, desacetilación y purificación del exoesqueleto (Escobar, Ossa, Quintana & Ospina, 2013), así como su aplicación en una formulación de recubrimiento alimenticio acompañado de emulsificante y su capacidad de prolongar la vida útil de una fruta como la fresa, *Fragaria x ananassa duch*, dado que esta presenta particular fragilidad en su manejo y almacenamiento.

3.4. Viabilidad

Para la viabilidad del proyecto se consideran los recursos humanos: el investigador y su asesor, quienes darán su tiempo *ad honorem*, los materiales del exoesqueleto de camarón serán donados por una industria camaronera, los reactivos que se utilizarán no exceden entre todos de Q 3000.00, así como el equipo e instalaciones de laboratorio que será prestado por el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, y por el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por lo que es posible indicar que el proyecto es económicamente factible.

3.5. Delimitación temporal y geográfica

El estudio se realizará entre los meses de diciembre de 2019, enero y febrero de 2020. Físicamente se llevará a cabo la fase experimental en las

instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, y Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. También se busca dar respuesta a las siguientes preguntas concretas:

3.6. Pregunta principal

¿De qué manera se puede aprovechar el exoesqueleto del camarón que actualmente es desechado para el tratamiento de fresas?

3.7. Preguntas secundarias

- ¿Cuál será el rendimiento de obtención de quitosano mediante la metodología: desproteínización, desmineralización, desacetilación y purificación del exoesqueleto?
- ¿Cuál es la formulación adecuada para un recubrimiento alimenticio a base de quitosano?
- ¿Cuál es la metodología óptima para la aplicación de un recubrimiento alimenticio para la fresa?
- ¿Cuánto tiempo más prologará la vida de anaquel de la fresa un recubrimiento alimenticio a base de quitosano en relación a una muestra sin tratamiento?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación se presenta en las líneas de investigación de: aprovechamiento de desechos y desarrollo e innovación de productos nuevos de la Maestría en Artes en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, de la Universidad de San Carlos.

Por ello se busca aprovechar el exoesqueleto de camarón que es desechado por una industria en Guatemala y obtener quitosano, que es uno de los componentes más utilizados en la formulación de recubrimientos alimenticios que buscan prolongar la vida útil y conservar la calidad de productos alimenticios mínimamente procesados tales como: frutas, verduras y carnes. De esta manera se cumple con la primer línea de investigación y se le brinda un valor agregado a este desecho, con lo cual se podría buscar una industria que se encargue de extraer y comercializar el quitosano.

En cuanto al desarrollo e innovación de productos nuevos, se trabajará directamente con el quitosano para la formulación de un recubrimiento alimenticio, evaluando su rendimiento y eficacia para prolongar la vida útil de la fresa, manteniendo los parámetros de control de calidad deseados por el mercado, siendo estos: consistencia, color, olor, presentación característica y llevando un indicador visual de ausencia o presencia de mohos. Se eligió la fresa como objeto de estudio, ya que es una fruta con un tiempo corto de vida de anaquel luego de ser cosechada; y se debe tener mucho cuidado al manipularla para evitar que sufra algún golpe capaz de acelerar su descomposición. (López, Ruiz, Navarro, De Jesús, Estrada, Gassos & García, 2012).

5. OBJETIVOS

General

Evaluar el quitosano obtenido en el exoesqueleto del camarón (*L. vannamei*) para la elaboración de un recubrimiento alimenticio para la fresa (*Fragaria x ananassa duch*).

Específicos

1. Obtener quitosano a escala laboratorio, mediante la metodología: desproteínización, desmineralización, desacetilación y purificación del exoesqueleto del camarón en el Laboratorio de Investigación de Extracciones Industriales, LIEXVE, y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Diseñar formulaciones (m/m) de un recubrimiento alimenticio a base de distintas cantidades de quitosano.
3. Evaluar los métodos de aplicación, inmersión, aspersion o película, para el recubrimiento alimenticio en la fresa, en relación a su practicidad.
4. Comparar la vida de anaquel de la fresa con el recubrimiento alimenticio a base de quitosano en relación a una muestra control.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se busca disminuir la cantidad de desechos generados por la industria camaronera en Guatemala, aprovechando la quitina presente en el exoesqueleto del camarón para la obtención de quitosano, para con esto formular un recubrimiento comestible aplicado a la fresa, prolongando la vida de anaquel y manteniendo los parámetros de calidad de esta fruta en particular.

Para lograr lo anterior se realizarán los siguientes pasos para la obtención de quitosano, esta metodología está basada en el trabajo de Fong (2012) y Escobar, Ossa, Quintana & Ospina (2013):

- Fase 1: lavado, secado y trituración del exoesqueleto.
- Fase 2: desproteinización con solución de NaOH, dos tratamientos, primero maceración a 50 °C y 0.5 % m/v durante 2 horas y segundo maceración al 3 % m/v con agitación constante por 2 horas a 50 °C.
- Fase 3: desmineralización con HCl 0.5 M con agitación por 90 minutos, temperatura ambiente.
- Fase 5: blanqueamiento con hipoclorito de sodio al 3 % m/v, 30 minutos, a temperatura ambiente.
- Fase 6: desacetilación con NaOH al 45 % m/v por doce horas a 100 °C y así obtener cristales de quitosano al 80% de desacetilización, en un reactor a presión constante.
- Fase 7: purificación, tratamiento ácido, se agrega ácido acético al 2 % m/v por 1 hora; tratamiento alcalino, se agrega NaOH al 25 % m/v durante 1 hora; estabilización en reposo con etanol al 95 % por tres horas. Secado.

- Fase 8: formulación del recubrimiento, dilución de quitosano en ácido acético en proporciones 1,2 y 3 % (m/m). Mezcla con agente antimicrobiano y emulsificante.
- Fase 9: aplicación del recubrimiento.
 - Inmersión: sumergir la fresa en el recubrimiento, sacar y dejar secar al ambiente.
 - Aspersión: rociar la fruta y dejar secar.
 - Aplicación de película: con una brocha distribuir el material en la fresa y dejar secar.
- Fase 10: pruebas de vida de anaquel a la fresa.
 - Microbiológicas para determinar crecimiento de hongos.
 - Fisicoquímicas y sensoriales: pH, color, olor, sabor, peso, apariencia, textura.

Con lo anterior también se podrá determinar si es funcional, operacional y factible utilizar el exoesqueleto de camarón con este fin, o sigue siendo considerado como desecho.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Gestión integral de desechos industriales

La gestión integral de desechos industriales se refiere al manejo adecuado y responsable de elementos procedentes de un ciclo productivo que son considerados como no requeridos o faltos de valor dentro de la industria y pasan a una disposición final, luego de un tratamiento correspondiente y responsable. En estos se incluyen: sólidos, semisólidos o lodos, líquidos y gaseosos.

En la actualidad diversas organizaciones a nivel internacional y nacional promueven políticas y acuerdos con las industrias y comunidades con el fin de concientizar sobre la disposición final de la llamado basura. En Guatemala el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, mediante la política nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos, Acuerdo Gubernativo Número 281-2015, busca promover un marco legal que ayude a las comunidades, municipalidades y sector empresarial a tener apoyo tecnológico en el manejo adecuado, así como responsabilizar y concientizar de que quien contamine paga, siendo este directamente responsable de sus desechos y las consecuencias que estos ocasionen al medio ambiente y del impacto en general que ocasione a las vidas de los pobladores cercanos. (MARN, 2015)

7.2. Aprovechamiento de subproductos alimenticios

La expansión demográfica y el crecimiento descontrolado de las poblaciones han obligado a incrementar la producción de insumos diarios, incluyendo alimentos. Esto a su vez promueve la generación de desechos y

contaminación ambiental. De acuerdo a estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, se concluye que se desperdicia aproximadamente un tercio de la producción mundial de alimentos, lo que entra en conflicto moral, dado que hay una gran parte de la población que sufre de escasez de alimentos y hambrunas (FAO, 2015). Los desperdicios se deben a manejos inadecuados, condiciones de transporte, almacenaje y control de tiempos de vida de anaquel respecto a su producción y/o puesta en venta. En algunos casos puntuales los alimentos vencidos o con riesgo en su inocuidad podrían de alguna manera ser reutilizados en otros tipos de industrias, compostaje, alimento para animales, concentrados, entre otros.

La reutilización o reciclaje de los subproductos alimenticios promueve no solo una ayuda general al medio ambiente sino también tiene un impacto económico dentro de la industria que lo genera. Estos vienen acompañados de nuevas tecnologías y apoyo práctico a la sociedad, por ejemplo: en el caso del apoyo a las comunidades de bajos recursos se ha implementado el uso de la cáscara de coco como lecho filtrante en el proceso de potabilización del agua (Candel, Bravo & Garson, 2016).

En la actualidad se ha estado manteniendo una tendencia a proteger el medio ambiente con promesas de procesos de producción más limpios y eficientes energéticamente, un claro ejemplo son las industrias azucareras, que utilizan el bagazo de caña como biomasa en la cogeneración de energía eléctrica, también recirculan el vapor utilizado en un proceso como una etapa previa de precalentamiento (Vida, Torres & Gonzáles, 2014).

7.3. Crustáceos

Estos pertenecen al grupo de artrópodos, animales invertebrados con exoesqueleto y apéndices articulados. “Particularmente los crustáceos se desarrollan en ambientes acuáticos, semiacuáticos y terrestres. Se puede encontrar una gran diversidad de especies como cangrejos, camarones, langostas y otros. Se caracterizan por tener cabeza, tórax y abdomen”. (Brusca, 2001, p.55).

7.3.1. Camarón *Litopenaeus vannamei*

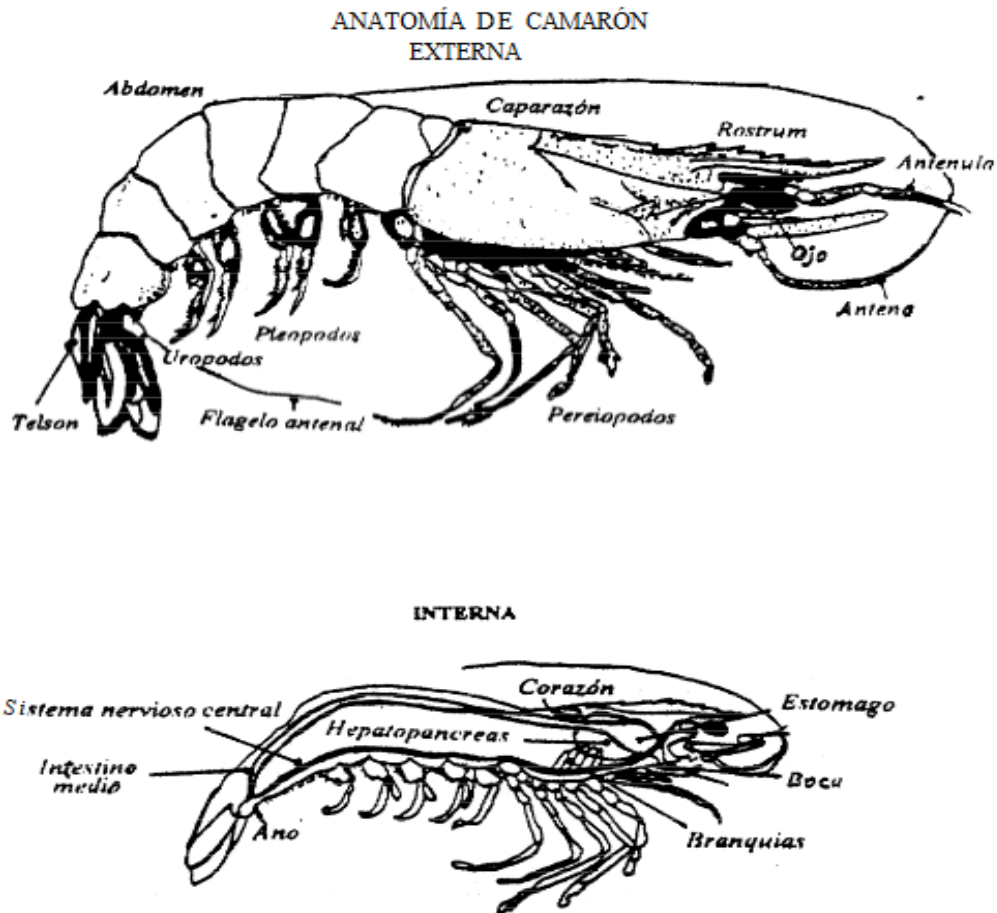
Los camarones *Litopenaeus vannamei*, también conocidos como camarones patiblancos, se originan en la costa del pacífico desde México hasta Perú, son la especie más utilizada en la producción para el consumo, debido a su adaptabilidad a las lagunas artificiales en las que se crían.

Su cuerpo consta de cefalotórax y abdomen, generalmente está adaptado para nadar y tiende a estar lateralmente comprimido con un abdomen desarrollado. Son crustáceos con patas articuladas y un exoesqueleto duro, compuesto de quitina, nadan intermitentemente mediante los pleópodos, que son grandes y están a menudo guarnecidos de flecos. (Álvarez, 1998, p.532)

Su ciclo de vida inicia en la fecundación y desove, este proceso entre febrero y junio. Los huevos liberados en el agua son de un tamaño que oscila entre 200 y 500 micras. El desarrollo larval comprende generalmente 10 fases, cinco están incluidas bajo el nombre de nauplio, tres con el nombre de protozoa y dos con el de Mysis. Después de estas existen las postmysis, luego las juveniles

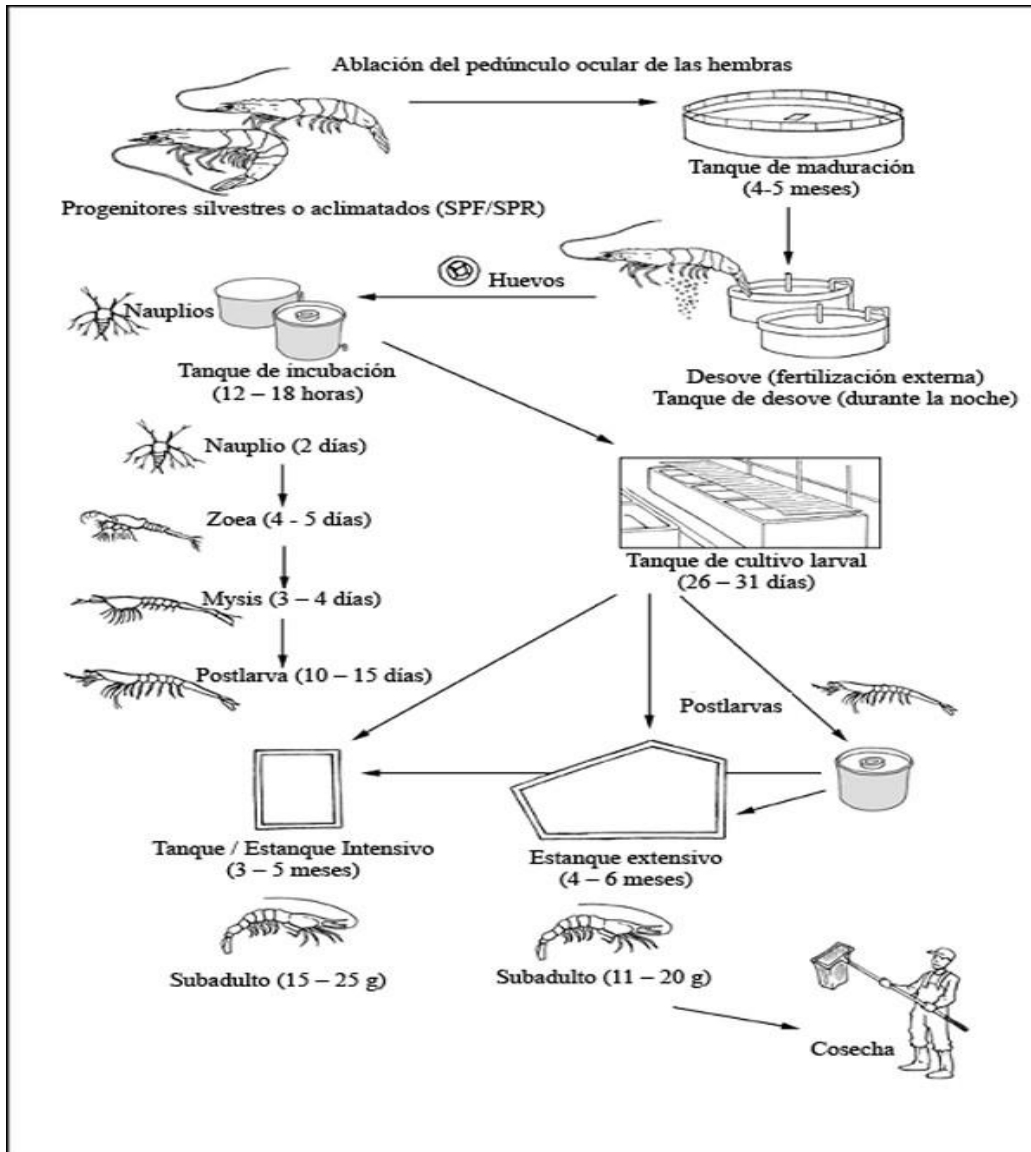
y finalmente adultos. Esta especie presenta patrones de migración bien definidos. (SERMARNAT, 2007).

Figura 1. Anatomía de un camarón



Fuente: Rivera, M. (1998) *Efecto de la salinidad sobre el crecimiento y sobrevivencia en postlarvas y juveniles de camarón blanco Peneaus vannamei (Bone. 1931), bajo condiciones laboratorio.*

Figura 2. Ciclo de vida de un camarón en cautiverio



Fuente: Rivera, M (1998). *Efecto de la salinidad sobre el crecimiento y sobrevivencia en postlarvas y juveniles de camarón blanco Peneaus vannamei (Bone. 1931), bajo condiciones laboratorio.*

7.3.2. Exoesqueleto

Es una superficie externa que recubre en su totalidad al artrópodo, tiene la función de proteger y sostener la musculatura y órganos de estos, en la mayoría de los casos se encuentran segmentados de manera que promueva o agilice los movimientos del animal. (Brusca, 2001, p.67).

Se forma por la secreción de algunas células, en algunos casos como en los caracoles por la baba de estos, y si en algún momento se llegara a agrietar por golpes esta puede ser regenerada. Está constituida por calcio, proteínas y quitina, dependiendo de cada especie se van cambiando o agregando componentes y cantidades. Para el caso puntual de los camarones tienen aproximadamente 10 % de quitina, 30 % de proteínas, 10 % de pigmentos y 40 % de carbonato de calcio. (Andrade, 2014).

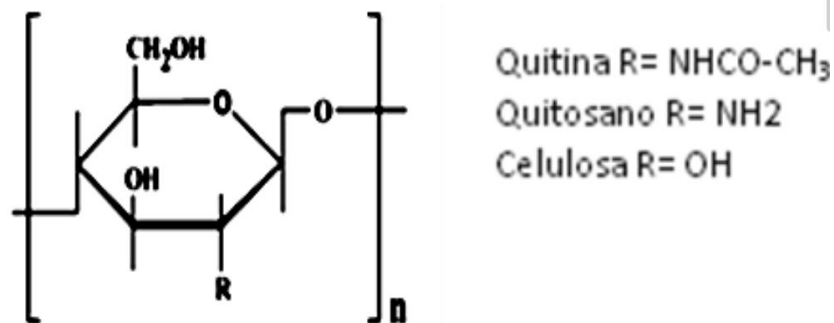
7.4. Biopolímeros

Los polímeros son macromoléculas formadas por cadenas de monómeros, unidad funcional que contiene solo una molécula generalmente de origen orgánico. Muchos de ellos se encuentran en la naturaleza mientras que otros pueden ser sintetizados. Los biopolímeros son polímeros que los seres vivos logran sintetizar en su metabolismo y tienen funciones específicas dentro de su ciclo de vida. Se pueden sintetizar natural o artificialmente subproductos que mantendrán ciertas características de sus predecesores, por lo cual siguen siendo considerados como biopolímeros. Los más abundantes son: la celulosa y la quitina. (Nassar & Calefi, 2015).

La principal características de estos es su disposición a ser degradados por enzimas que se encuentran en los organismos vivos, dando la certeza de que

luego de un tiempo prudencial el biopolímero o su producto será metabolizado por mecanismos fisiológicos, con lo cual no representará un riesgo de contaminación o de toxicidad. Una de las principales ventajas de los biopolímeros es su alta abundancia en medios naturales, lo que indica su compatibilidad con el medio ambiente y bajo costo.

Figura 3. Estructura de quitina, quitosano y celulosa



Fuente: Chávez, A. (2012). *Obtención y caracterización de papel de quitosano*.

7.4.1. Quitina

“Se encuentra en la naturaleza en los caparzones de los crustáceos, en el exoesqueleto de los insectos, pared celular de hongos, levaduras y algas... Fue aislada correctamente en 1811 mientras se estudiaban hongos”. (Velásquez, 2006, p.18).

Es insoluble en agua y ácidos orgánicos. Se diferencia de la celulosa por su grupo hidroxilo del carbono 2, que es sustituido por el grupo acetamida... Esta es de color blanco, duro e inelástico. Normalmente posee un grado de acetilación de 0.66, con lo que se indica que una de cada tres de sus unidades se encuentra desacetilada. (Escobar, 2013, s/p)

7.4.2. Quitosano

Es un producto de la quitina que se obtiene al tratar la misma en soluciones de hidróxido de potasio o sodio concentrado a altas temperaturas, proceso de desacetilación. El fin de este es retirar la mayor cantidad de unidades acetilo de la estructura del polímero. Debido a lo anterior es un poliaminosacárido y catalogado como una amina primaria. Al eliminar el 50 % o más de los grupos acetilo es quitosano, cuando se logra el 100 % se llama quitano. (Velásquez, 2006).

La diferencia principal entre el quitosano y la celulosa es en el grupo amino primario en el carbono 2 del anillo de la hexosa. Tanto la quitina como el quitosano son biodegradables, toxicidad nula, abundantes en la naturaleza y renovables. El grado de desacetilación para el quitosano está entre 60 a 100 %, pero para diversas aplicaciones basta con tener un 33 %, como en papel. Es insoluble en agua, pero soluble en ácidos orgánicos como ácido acético, ácido succínico y ácido fórmico, el valor de pka es de 6.3, su peso molecular es de $161n$, es decir que cada monómero pesa 161 gramos y dependiendo de la cantidad de moléculas variará el peso. (Tapia, 2012).

7.4.3. Obtención de quitina y quitosano

Se pueden aplicar diversos procesos dependiendo de la fuente que se use para extraer la quitina. Puede ser desde hongos, algas, insectos y crustáceos, siendo esta última la más utilizada, ya que aprovecha desechos de la industria alimenticia que son catalogados como desperdicios. Aún entre los crustáceos la concentración de quitina puede variar dependiendo de la especie y la parte que se utilice para el proceso de extracción, así como la metodología y el tiempo que

se tome para realizarla. En la mayoría de los métodos se maneja la hidrólisis de proteína y eliminación de materia inorgánica.

7.4.4. Caracterización del quitosano

Las caracterizaciones consisten en la determinación de indicadores de propiedades muy específicas de las sustancias, soluciones o entidades a analizar. Particularmente para el quitosano se debe medir el porcentaje o grado de desacetilación, peso molecular, solubilidad, % de nitrógeno total, viscosidad, etc. (Castro & Vidal, 2015). El porcentaje o grado de desacetilación se refiere a la comparación entre los biopolímeros sin el grupo acetilo y la masa total del compuesto. El % de nitrógeno total hace referencia a la cantidad total de nitrógeno presente en la muestra a evaluar. De lo anterior se puede relacionar directamente el grado de desacetilación con el % de nitrógeno total y la viscosidad.

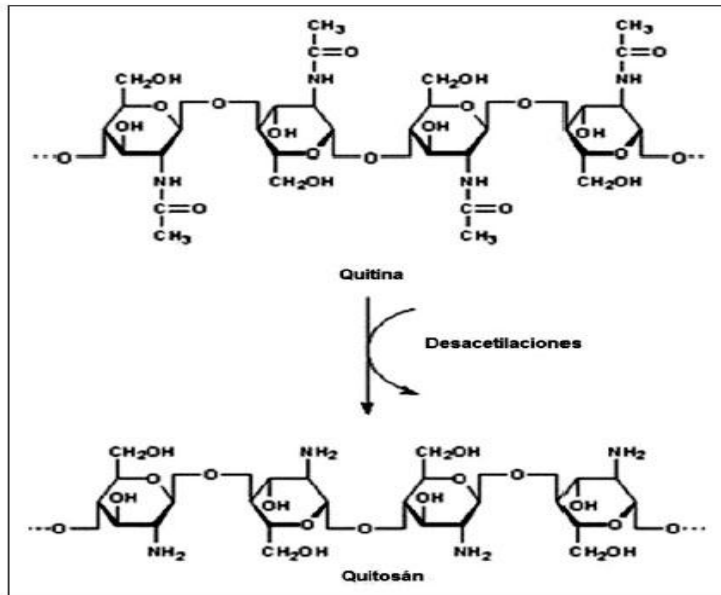
Tabla I. **Caracterización de muestras de quitina y quitosano.**

Muestra	% humedad	% Cenizas	% nitrógeno	% DA	Viscosidad	Peso molecular
Quitina	9,63%	25,38%	2,28%	52,8%	No se aplica	No se aplica
Quitosano	6,75%	16,29%	0,83%	83,7%	420 cP	294KDa

Fuente: Castro, N. & Vidal, C. (2015). *Obtención y caracterización de quitina y quitosano del emérita análoga a escala piloto.*

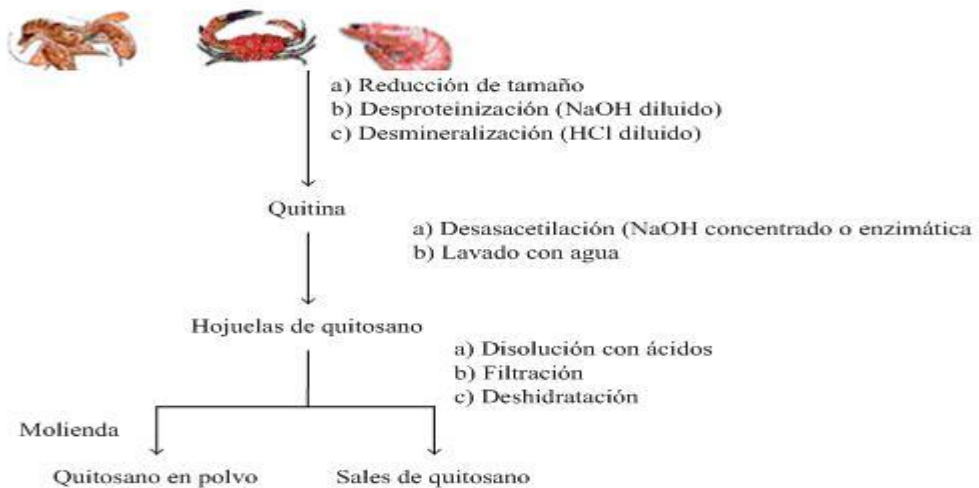
La solución evaluada en la tabla anterior tiene las siguientes condiciones: temperatura de 25 °C, 1 mg/mL de quitosano en solución de 0.1 M de ácido acético y 0,2 M de cloruro de sodio. (Castro & Vidal, 2015).

Figura 4. Transformación a quitosano



Fuente: Tapia, C. (2007). *Efecto antifúngico del quitosano de alto peso molecular en cepas de Candida sp aisladas de muestras químicas.*

Figura 5. Proceso de obtención de quitosano



Fuente: Abadía, J. (2014). *Preparación y caracterización mecánica de hidrogeles de quitosano para soporte de células de cartílago.*

7.4.5. Usos y aplicaciones

Tanto la quitina como el quitosano tienen una amplia gama de aplicaciones, entre ellas en la industria de alimentos como recubrimientos comestibles, debido a su capacidad de formar películas sobre superficies de frutas, las que son duraderas, semipermeables, flexibles y con propiedades antifúngicas (Quintero, 2010). También participa en los procesos de tratamientos de aguas, quelando a los iones metálicos. Se utiliza como aditivo alimentario, por sus propiedades espesantes, gelificantes y emulsificantes. Tiene aplicaciones en la industria de cosméticos, como agente humectante, en la salud como anticoagulante, antimicrobiano, antiácido y reduce la placa bacteriana en los dientes. En los vinos se utiliza como medio de clarificación y continuamente se siguen investigando nuevas aplicaciones.

7.5. Fresa

La fresa es una fruta climatérica de alta aceptación entre los consumidores debido a su sabor característico, dulce, color y presentación. Adicional a eso aporta muchas sustancias a la salud de los consumidores.

Las plantas del género *Fragaria* son perennes de tallos rastreros, largos y nudosos, llamados rizomas. Tienen hojas compuestas trifoliadas, es decir, con 3 folíolos (hojas en una misma estructura). Sus flores poseen 5 pétalos y tienden a ser color blanco con el centro amarillo, pero en algunas variedades cultivadas los pétalos son ligeramente rojos o rosados. (Pineda & Ramírez, 2016, p.10)

La parte comestible de la planta es en realidad un receptáculo, es decir, la parte más gruesa del tallo en donde se desarrollan los órganos, por lo que no se trata de bayas como pudiera pensarse. El fruto, o más bien frutos, son los

aquenos que comúnmente se confunden con semillas, pero que sí tienen una en su interior. En síntesis, lo que se llama fruto es la pared del ovario, que a su vez contiene muchos frutos verdaderos en su superficie. (Trejo, Ramos & Pérez, 2007).

Las especies silvestres suelen reproducirse por semillas, pero las variedades cultivadas pueden propagarse también por esquejes. La polinización es favorecida por el viento y los insectos, particularmente las abejas. La reproducción, incluidas las épocas de florecimiento y producción de frutos, varían de acuerdo con la especie. (Pineda & Ramírez, 2016).

Evidentemente, la planta se cultiva por su fruto comestible, con un sabor que varía en función de la especie y la variedad. Las fresas de huerto o jardín tienen un sabor ligeramente ácido y dulce; son ingredientes de helados, tartas y otros postres y con ellas se elabora una mermelada muy consumida. También se agregan a varias ensaladas y platillos, y pueden prepararse en zumos o consumirse simplemente frescas. Fermentadas se convierten en un licor o un vino y con las hojas se preparan tés herbales. (Pineda & Ramírez, 2016).

7.5.1. Enfermedades de la fresa

- Podredumbre gris (*Botrytis cinerea/Sclerotinia fuckeliana*). “Se desarrolla favorablemente en condiciones de alta humedad relativa y temperaturas entre los 15 y 20 °C. La diseminación se realiza por medio de esporas, ayudándose de la lluvia o el viento”. (Fraire, Yáñez & Nieto, 2002, p.286).
- Oidio (*Oidium fragariae*). “Se manifiesta como una pelusa blanquecina sobre ambas caras de la hoja. Prefiere las temperaturas elevadas, de 20 a 25 °C, y el tiempo soleado, deteniendo su ataque en condiciones de

lluvia prolongada. Persiste durante el invierno en estructuras resistentes como peritecas”. (Fraire, Yáñez & Nieto, 2002, p.287).

- Hongos del suelo. Son varios los hongos que afectan a la planta desde su sistema radical o zona cortical del cuello, entre estos se tiene *Fusarium sp.*, *Pytophthora sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Rhizopus sp.*, *Pythium sp.*, *Cladosporium sp.*, *Alternaria sp.* y *Penicillium sp.* En caso de no practicarse una fumigación previa al suelo, el cultivo se expone en gran medida al ataque de estos hongos parásitos, pudiendo llegar a ser dramáticas las consecuencias. (Fraire, Yáñez & Ángel, 2002).

7.6. Películas y recubrimientos comestibles

Son ayudas que reciben los alimentos de manera externa, para poder ralentizar el proceso natural de oxidación y descomposición. Los recubrimientos son matrices continuas y delgadas que se adaptan a la forma de la fruta. Generalmente el proceso de obtención de recubrimiento se logra mediante inmersión del alimento dentro de una solución madre. Mientras que las películas comestibles son matrices preformados que después se utilizaron como recubrimiento. Ambos tienen la peculiaridad que se pueden ingerir al mismo tiempo que los alimentos sin causar daño alguno, es decir no tienen ningún comportamiento patógeno. “Estos recubrimientos o películas pueden estar formados por un polisacárido, un compuesto de naturaleza protéica, lipídica o por mezcla de los mismos” (Fernández, Echeverría & Mosquera, 2017, p. 137).

Tanto las películas como los recubrimientos pueden tener funciones especiales o específicas dependiendo del tipo de material que se encuentre encapsulado y de las sustancias en la matriz formadora. Una de las funciones es servir de barrera y evitar el transporte de gases. En ciertas circunstancias estas

barreras pueden servir directamente como una unidad de embalaje, ya que protegen al alimento de daños físicos, químicos y microbiológicos. (Zaritzky, 2007).

7.6.1. Composición de los recubrimientos alimenticios.

En general los recubrimientos alimenticios se componen de resinas, lípidos, polisacáridos y proteínas, adicionalmente se incluyen los emulsificantes o plastificantes. Los polímeros como polisacáridos y proteínas forman redes cohesionadas, debido a la interacción entre sus moléculas. Por lo anterior obtienen propiedades mecánicas que pueden ser utilizadas como barreras para gases. Algunos de estos compuestos logran formar hidrocoloides o hidrogeles. Algunos de los polímeros más utilizados son: la celulosa, almidón y sus derivados, quitosano, gomas, entre otros.

Los emulsificantes se agregan a las formulaciones para lograr disminuir la tensión interfacial, sólido-líquido, generada por las fuerzas de cohesión de las moléculas y de esta manera brindar flexibilidad al recubrimiento. Para la selección del emulsificante correcto se debe evaluar el balance hidrófilo/lipófilo de recubrimiento. Esto indica cuál es la afinidad en general de los componentes dentro de la solución, si aceite en agua, o agua en aceite, haciendo referencia a partículas de lípidos en soluciones acuosas o partículas de agua en soluciones lipídicas.

7.7. Preservación de alimentos

La preservación de los alimentos tiene como fin objetivo detener la degradación y mantener características propias del alimento como el aspecto, textura, aroma, así mismo como sus nutrientes por más tiempo. Esto tiene un impacto en el factor económico ya que estos productos catalogados como

perecederos logran permanecer por más tiempo en los anaqueles disponibles a la venta.

Existen diversos tipos de descomposición en los alimentos, como la producida por microorganismos, acción enzimática y niveles de humedad. Al mismo tiempo existen diversos métodos de preservación, siendo los más conocidos la deshidratación, cocción, congelación, fermentación y preservación química. Actualmente a nivel industrial no basta utilizar solo uno de estos métodos. Por ello se realizan mezclas, que permiten una mayor duración del producto. La desventaja que presentan estos métodos es que en su mayoría modifican algunas propiedades o características propias del alimento, en relación con el recién cosechado.

7.8. Vida de anaquel

El Instituto de Tecnólogos en Alimentos determina la vida de anaquel como el tiempo en que un alimento debe permanecer inocuo, cumplir con los estándares de calidad en propiedades químicas, físicas y sensoriales, además de cumplir con las declaraciones en el etiquetado (IFT, 1993). Es decir su definición se entrelaza en tres puntos. El primero indica que el producto debe permanecer sano, inocuo, libre de cualquier contaminación y asegurar que mientras se consuma no genera ningún riesgo para la salud humana. El segundo establece criterios de calidad predeterminados por el consumidor sensorialmente, en los cuales un producto a pesar de mantenerse inocuo puede encontrarse en un punto de maduración o de su ciclo normal de vida en el cual para el consumidor final ya no sea agradable. Más claramente, si se busca una fruta dulce, no se quiere una fruta fermentada. Y por último obliga al productor a cumplir con lo reportado en la etiqueta. Si se tiene un producto que por reacciones químicas pierde el contenido de grasas o agua, este ya terminó su vida útil.

Es normal que las industrias determinen la vida de anaquel de sus productos, cuando se realizan reformulaciones o se lanzan nuevos productos o cuando se modifica un proceso en la línea de producción, cuando hay una variación en el proceso de envasado o simplemente no se tiene información suficiente del producto en cuestión.

7.8.1. Indicadores medibles en estudios de vida de anaquel

Es normal encontrar los siguientes grupos de indicadores en los estudios de vida de anaquel. Aunque los parámetros varían de acuerdo al tipo de alimento, procesamiento, método de envasado, sistema de almacenaje y transporte.

7.8.1.1. Sensorial

“La evaluación sensorial consiste en el uso de los sentidos para determinar el estado, características y aceptabilidad de un alimento en comparación con una muestra control” (Watts, 1995, p.102). Para ello se integra un panel de personas entrenadas en la especialidad del alimento a evaluar. Entre los criterios a evaluar están: color, forma, tamaño, uniformidad, olor, sabor y textura.

7.8.1.2. Físicos

Se evalúa aspectos físicos del alimento que generalmente son apegados a los criterios de calidad. Estas características se basan, pero no se limitan a: consistencia, si logra mantener su forma, si mantiene su rigidez, si mantiene la elasticidad de su piel o cáscara, actividad de agua, cantidad de agua ligada y cantidad de agua suelta, variación de peso, nivel de acidez, pH, color y aroma.

7.8.1.3. Microbiológicos

Los estudios microbiológicos para determinar la vida de anaquel de un producto se basan en el tiempo en el cual crece la población de microorganismos, tanto del desarrollo como de los patógenos propios del alimento. En el caso particular de la fresa se determina el crecimiento de hongos y levaduras que se pueden observar a simple vista. Los estudios microbiológicos para los recubrimientos alimenticios conllevan un análisis del poder inhibitorio para microorganismos específicos como en el caso del quitosano, que es un agente antifúngico.

7.8.1.4. Químicos

En esta evaluación se determina la diferencia en la cantidad y tipo de vitaminas o compuestos propios del alimento, mantenimiento de grasas, enzimas, proteínas, estado de madurez, estado de descomposición, respiración celular, entre otros.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Gestión integral de desechos industriales

2.2 Aprovechamiento de subproductos alimenticios

2.3 Crustáceos

2.3.1 Camarón *Litopenaeus vannamei*

2.3.2 Exoesqueleto

2.4 Biopolímeros

2.4.1 Quitina

2.4.2 Quitosano

2.4.3 Obtención de quitina y quitosano

2.4.4 Usos y aplicaciones

2.5 Fresa

2.5.1. Enfermedades de la fresa

2.6. Películas y recubrimientos comestibles

2.7. Preservación de alimentos

2.8. Vida de anaquel

2.8.1. Indicadores medibles en estudios de vida de anaquel

2.8.1.1. Sensorial

2.8.1.2. Físicos

2.8.1.3. Microbiológicos

2.8.1.4. Químicos

3. CAPÍTULO 3: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Rendimiento de quitosano

3.2 Formulación de recubrimiento

3.3 Métodos de aplicación

3.4 Vida de anaquel

3.5 Discusión de resultados

4. CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de investigación

El presente trabajo se realizará mediante la comparación de un grupo de control y un grupo experimental por formulación y por tipo de aplicación del recubrimiento, un total de 9 grupos de prueba, para observar el efecto que tiene la variación en el tratamiento para cada una de las muestras en una secuencia de tiempo establecidas en simultáneo. Se cataloga como una investigación descriptiva y cualitativa.

9.2. Tipo de estudio

Es un estudio prospectivo ya que se realizará un experimento y se registrará la información de acuerdo a lo que se va observando del comportamiento del recubrimiento alimenticio sobre la fresa. De acuerdo a su secuencia y período de tiempo se cataloga como transversal de seguimiento, ya que se tomarán datos de un período de tiempo definido de acuerdo a la vida de anaquel que este alimento presenta.

9.3. Alcance

El trabajo de investigación tratará la recolección de exoesqueleto de camarón, obtención de quitosano, la formulación de tres recubrimientos comestibles variando el porcentaje de quitosano presente, identificará cuál de los métodos de aplicación, aspersion, inmersión y película es el más práctico y fácil

de utilizar, así como su efecto en la prolongación de la vida de anaquel de la fresa, observando si hay crecimiento de mohos, levaduras y pérdida de peso.

Tabla II. **Variables e indicadores**

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Obtención de quitosano	Cantidad de quitosano extraído de la muestra del exoesqueleto de camarón, grado de desacetilación y grado de despolimerización.	Se medirá el rendimiento de obtención, de acuerdo a la cantidad de exoesqueleto de camarón inicial y la cantidad final de quitosano obtenida, así como el grado de desacetilación obtenido y el grado de despolimerización.	<p>Porcentaje de rendimiento, este se medirá como peso obtenido / peso inicial.</p> <p>Grado de desacetilación que medirá el % de nitrógeno total.</p> <p>Comparación de viscosidad entre solución de quitosano obtenido y solución de quitosano estándar a la misma concentración.</p>
Recubrimiento alimenticio con quitosano	Película de polímeros, naturales o artificiales que tienen un efecto en la vida de anaquel y calidad de los alimentos.	<p>Se mide la cantidad de quitosano presente en la fórmula en relación al peso total.</p> <p>Presencia o ausencia de hongos y levaduras en ufc.</p>	<p>Concentración de quitosano presente en cada formulación: 1 %, 3 % y 5 %.</p> <p>Inhibición de crecimiento de hongos y levaduras: UFC.</p>

Continuación de la tabla II

<p>Método de aplicación del recubrimiento comestible.</p>	<p>Secuencia de pasos a realizar para aplicar el recubrimiento alimenticio.</p>	<p>Se mide el tiempo necesario en minutos que se requiere para realizar cada una de las aplicaciones, el tiempo necesario para que seque el recubrimiento, cuál de los métodos requiere menos pasos.</p>	<p>Eficiencia de método por inmersión, aspersion y película: Tiempo de aplicación, tiempo de secado y cantidad de pasos a realizar por método de aplicación.</p>
<p>Vida de anaquel de la fresa con recubrimiento .</p>	<p>Tiempo en el cual la fresa conserva sus características y calidad propia.</p>	<p>La vida de anaquel se refiere al tiempo en días en el cual la fruta se encuentra en condiciones óptimas, sin crecimiento de microorganismos, con la consistencia inicial y mantiene los aspectos sensoriales. La microbiología se medirá en los cultivos de agar saburo catalogados como presencia o ausencia, una sola medición a los siete días.</p>	<p>Comparación de tiempo de vida entre muestra control y muestras con recubrimiento. Deterioro por: crecimiento de hongos y levaduras sobre la fresa, diario. Tiempo, días de inicio de descomposición: peso inicial y peso final, aspectos sensoriales: color, olor, sabor, consistencia cada 5 días. Prueba de análisis estadístico Anova, en cada método de aplicación.</p>

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases

A continuación se detalla paso a paso las actividades que se realizarán desde la obtención del exoesqueleto de camarón hasta el análisis de datos. Una industria con sede en zona 12 de la Ciudad de Guatemala, dedicada a la crianza y distribución de distintas presentaciones de camarón, donará el exoesqueleto. El proceso de extracción de quitina y obtención de quitosano estará basado en el trabajo de Escobar, Ossa, Quintana & Ospina (2013), para toda la fase experimental se utilizará el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

9.4.1. Fase 1: obtención del exoesqueleto de camarón

- Se recogerá el exoesqueleto de camarón, 5 kg, al finalizar el turno de trabajo a las 17:30 directamente de la industria camaronera en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala.
- Se transportará en hieleras con el material cubierto con hielo en dirección a la Universidad de San Carlos de Guatemala, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).
- Se almacenará en refrigeración a 4 °C hasta el día en el que se iniciará el procedimiento de extracción con un máximo de 3 días.

9.4.2. Fase 2: lavado, secado y trituración del exoesqueleto

Esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), iniciando el proceso a las 7 am. Se utilizará inicialmente 1.5 kg del exoesqueleto de camarón. Esta fase tiene una duración total de 3 días.

- El día en que se inicia el proceso se realiza la remoción física de residuos de carne de camarón.
- Inmediatamente después se procede a lavar con abundante agua a presión.
- Posteriormente se remueve el exceso de agua y se deja en secadores industriales a 60 °C, humedad < 1 % y 72 horas.
- Al cumplirse el tiempo los residuos del exoesqueleto de camarón, son triturados en un procesador de alimentos con el objetivo de reducir su tamaño, hasta obtener 1 kg de triturado.

9.4.3. Fase 3: desproteínización

Con base en Escobar, Ossa, Quintana & Ospina (2013), esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), se utilizará 1 kg de material triturado obtenido en el paso anterior. Esta fase tiene una duración total de 5 horas, al finalizar esta fase se llevan acumulados 3 días y medio desde el inicio de la extracción.

- Se prepara una solución de NaOH a 0.5 % m/v a 50 °C.
- Se agrega el exoesqueleto de camarón recién triturado y se agrega en proporción 1:10 con la solución.
- Se agita durante 2 horas.
- Se filtra al vacío.
- Inmediatamente después se procede a preparar una segunda solución de NaOH a 3 % m/v.
- Se agrega la parte sólida obtenida en la filtración en relación 1:10.
- Se agita por 2 horas.
- Se filtra al vacío.
- Se lava con agua desmineralizada para eliminar el exceso de solución.

9.4.4. Fase 4: desmineralización y blanqueamiento

Con base en Fong (2012), esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), se utilizará el material obtenido en el paso anterior. Esta fase tiene una duración total de 3 horas, iniciando inmediatamente después de la fase anterior; al finalizar se llevarán acumulados 4 días de trabajo desde el inicio de la extracción

- Se prepara una solución de HCl al 0.5 M.
- Se agrega el sólido obtenido en relación 1/15.
- Se agita durante 2 horas.
- Se filtra al vacío.
- Se lava con agua desmineralizada.
- Se prepara una solución con hipoclorito de sodio al 3 % m/v.
- Se agrega el sólido obtenido en relación 1:10.
- Se agita por tres minutos.
- Se lava con agua desmineralizada y se filtra al vacío (se obtiene la quitina).
- Los sólidos obtenidos son almacenados en la desecadora hasta el día siguiente.

9.4.5. Fase 5: desacetilación de quitina

Con base en Fong (2012), esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE). Se utilizará el material obtenido en el paso anterior. Esta fase dará inicio a las 7 am, con una duración de 36 horas, al finalizar se llevarán acumulados 6 días y medio desde el inicio de la extracción.

- Se prepara una solución con NaOH al 45 % m/v.

- Se agrega el sólido obtenido en relación 1:10 en un reactor presurizado.
- Reposo por 12 horas a 90 °C.
- Se lava y filtra con agua desmineralizada hasta obtener pH neutro.
- Se filtra al vacío hasta obtener los cristales de quitosano.
- Se coloca los cristales obtenidos en un secador industrial a 60 °C, humedad < 1 %, por 24 horas.

9.4.6. Fase 6: purificación

Con base en Fong (2012), esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE). Se utilizará el material obtenido en el paso anterior. Esta fase dará inicio a las 11 de la mañana del día siete, con una duración total de 30 horas, al finalizar se habrán completado ocho días de trabajo en la extracción.

- Se prepara una solución de ácido acético al 2 % m/v.
- Se agrega el sólido obtenido en relación 1:20.
- Se agita durante una hora.
- Se lava con agua desmineralizada y filtra hasta obtener pH neutro.
- Se prepara una solución con NaOH al 25 % m/v.
- Se agrega el sólido obtenido en relación 1:15.
- Se agita durante una hora.
- Se lava con agua desmineralizada y filtra hasta obtener pH neutro.
- El sólido obtenido se agrega en etanol al 95 % de pureza en relación 1:10.
- Se deja reposar durante tres horas.
- Se agita durante 1 hora.
- Se filtra al vacío.

- Los sólidos obtenidos se colocan en un secador industrial a 60 °C, humedad < 1 %, por 24 horas. (Se obtiene quitosano).
- Los sólidos se sacan del secador y se almacenan en una desecadora para impedir que se hidraten por el ambiente.
- Se realiza la medición de nitrógeno total, por medio del método de Kjeldahl al cristal de quitosano y al cristal de quitina para determinar el grado de desacetilación.

9.4.7. Fase 7: formulación del recubrimiento comestible

Esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE). Se utilizará el material obtenido en la fase anterior. Para esta sección se utilizarán 100 gramos de cristales de quitosano con el fin de obtener un litro de recubrimiento. Se iniciará a las 7 am del día nueve, con una duración total de 30 horas, por lo que se terminará al finalizar el día diez desde el inicio de la extracción.

- Agregar el quitosano en agua destilada hasta obtener una concentración de 1 % p/p.
- Agregar ácido acético hasta obtener una concentración de 1 % p/p.
- Agitar durante 24 horas a 390 revoluciones por minuto.
- Agregar emulsificante, Tween 80, hasta obtener una concentración de 0.05 % p/p.
- Agitar durante 2 horas a 390 revoluciones por minuto.
- Repetir el procedimiento, únicamente variando la cantidad inicial de quitosano para obtener concentraciones de 3 y 5 %.
- Almacenar en condiciones ambientales en recipientes esterilizados.

9.4.8. Fase 8: control microbiológico

Esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Microbiología, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este control se realizará por quintuplicado para cada concentración de quitosano. Se dará inicio en el día 11 de trabajo a las 7 am. Con una duración total de 5 días, al finalizar esta fase se llevarán acumulados 16 días desde el inicio de la extracción.

- Se prepara el *agar sabouraud*.
- Aún en caliente se agrega la solución de quitosano hasta lograr una concentración del 1 % p/p de quitosano y agar sabouraud.
- Se agita por 30 minutos.
- Se agrega el *agar* en la caja de Petri y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- Se realiza la inoculación con una muestra de hongos y levaduras.
- Se deja en la incubadora por cinco días.
- Se repite el procedimiento hasta completar cinco cajas Petri.
- Se repite el procedimiento para concentraciones de 3 y 5 % p/p de quitosano y *agar sabouraud*.

9.4.9. Fase 9: aplicación del recubrimiento

Esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Microbiología, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para ello se utilizará 1 litro por cada formulación obtenida en el paso 7. También se requieren 250 fresas previamente desinfectadas, en solución de cloro a 250 ppm, listas para el consumo, que presenten condiciones similares de color, peso y forma, para poder tener un parámetro estable de comparación. Para esta parte

se utilizarán los instrumentos del anexo 2 y anexo 3. Esta fase dará inicio el día 12, con una duración total de un día.

- Inmersión:
 - Depositar cada una de las formulaciones en un recipiente abierto de manera que se cuente con suficiente profundidad para que cubra la fresa totalmente.
 - Sumergir completamente una a una las 15 fresas para cada formulación, durante 5 minutos.
 - Dejar secar sobre una superficie no absorbente, lisa y sin inclinación y a condiciones ambientales.
 - Tomar el tiempo, en minutos, en el cual el recubrimiento se seca al tacto.

- Aspersión:
 - Depositar cada una de las formulaciones en un recipiente con mecanismo de aspersión
 - Colocar las 15 fresas por aplicación en una superficie no absorbente, lisa y sin inclinación.
 - Aplicar aspersión a cada una.
 - Cambiar la posición de las fresas y volver a aplicar aspersión las veces necesarias para homogenizar el recubrimiento aplicado.
 - Dejar secar a condiciones ambientales.
 - Medir el tiempo de secado, en minutos, en el cual el recubrimiento se seca al tacto.

- Aplicación de película:
 - Depositar cada uno de los recubrimientos sobre una superficie no absorbente, plana y sin inclinación a un espeso máximo de 1 mm.
 - Dejar secar a condiciones ambientales.
 - Medir tiempo de secado, en minutos.
 - Levantar la película de recubrimiento ya seco.
 - Recortar el tamaño necesario para cubrir cada una de las fresas.
 - Aplicar la película con una presión leve sobre la fresa.

9.4.10. Fase 10: determinación de vida de anaquel

Esta se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. Tendrá una duración máxima de 15 días, con una actividad diaria de tres horas. Dará inicio el día 13.

- Colocar todas las muestras en condiciones ambientales y medir el tiempo en días hasta que se muestren cambios físicos.
- Medir los aspectos sensoriales, sabor, olor, de 3 muestras cada 3 días.
- Medir el pH en la superficie de las 3 muestras que se utilizarán para la prueba sensorial.
- Inspeccionar diariamente el crecimiento de hongos y levaduras.
- Pesar diariamente cada una de las muestras.
- Inspeccionar diariamente el color de cada una de las muestras.

9.5. Resultados esperados

A continuación se detallan los resultados que se espera obtener de acuerdo a los objetivos planteados.

Tabla III. **Resultados esperados**

Objetivos	Resultado
Obtención de quitosano	10% de rendimiento en relación de la cantidad de exoesqueleto de camarón seco y triturado y la cantidad de quitosano obtenido. 80 % de desacetilación y 5% de despolimerización.
Formulación de recubrimientos	Solución espesa y gelatinosa.
Métodos de aplicación	El método más práctico y con menor tiempo de aplicación es el de inmersión.
Comparación de vida de anaquel	Todas las formulaciones sobrepasan los 10 días de vida de anaquel sin presentar cambios en los aspectos sensoriales, siendo la formulación de 5% de quitosano el que más tiempo de vida de anaquel logre. No se presenta crecimiento de hongos y levaduras.

Fuente: elaboración propia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

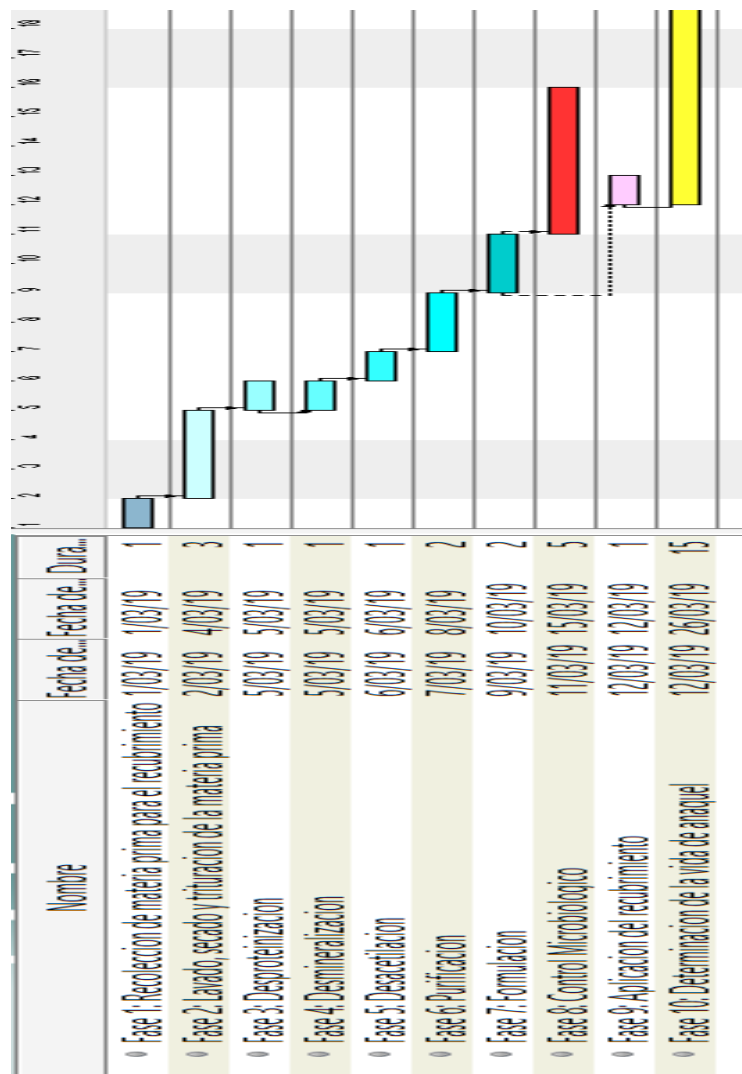
Se utilizará la técnica Anova para determinar si hay una diferencia significativa entre cada una de las formulaciones y métodos de aplicación en relación a la vida de anaquel de la muestra control. El análisis consiste en la comparación de las medias obtenidas durante el experimento de una condición modificable, vida de anaquel lograda para cada método de aplicación: inmersión, aspersion y película; y para cada fórmula 1, 3 y 5 % por método.

También se realizará un análisis binomial de ausencia o presencia para determinar si tiene o no actividad antifúngica, en el crecimiento de muestras de *agar sabouraud* en presencia de quitosano.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se detallan las actividades a realizar mediante un diagrama de Gantt:

Figura 6. Cronograma general de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

A continuación se detalla el presupuesto de este trabajo:

Tabla IV. **Presupuesto**

Ítem	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Recurso humano			
Asesor	1	Q0.00	Q0.00
Investigador	1	Q0.00	Q0.00
Materiales			
Exoesqueleto de camarón	10 lb	Q0.00	Q0.00
Agua destilada	1 garrafón	Q30.00	Q30.00
Hipoclorito de sodio grado comercial	1 L	Q25.00	Q25.00
Hidróxido de sodio	25 lb	Q7.00	Q175.00
Ácido clorhídrico	5 gal	Q45.00	Q225.00
Tween 80	1 gal	Q200.00	Q200.00
Ácido acético	5 gal	Q70.00	Q350.00
Etanol 95%	3 gal	Q60.00	Q180.00
Fresas	20 lb	Q10.00	Q200.00
Análisis microbiológicos	15 u	Q300.00	Q4,500.00
Informe			
Impresiones	5 juegos	Q100.00	Q500.00
Total			Q6385.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abadía, J. (2010). *Preparación y caracterización mecánica de hidrogeles de quitosano para soporte de células de cartílago*. (Tesis de Química Industrial). Escuela Universitaria, Ingeniería Técnica Industrial. España.
2. Ahmad, M.; Yusof, N.; Jai, J. & Hamzah, F. (2017). *Effect of coating adhesion on turmeric essential oil incorporated into Chitosan-Based Edible Coating*. In Materials Science Forum (Vol. 890, pp. 204-208). Trans Tech Publications.
3. Alzamora, S. (2014). *Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Manual de capacitación*. Recuperado de: <http://www.fao.org>
4. Andrade, D. (2014). *Obtención de colorante rojo a partir del exoesqueleto de camarón (Penaeus vannamei)*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
5. Arce, K.; Ortega, K.; Ochoa, C. & Vélez, C. (2016). *Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua de películas de proteína de lacto suero/quitosano y su efecto sobre la respiración en banano recubierto*. Innotec.
6. Bardales, W. (2009). *Fenología y evaluación del rendimiento de variedades de fresa (Fragaria x ananassa duch) y servicio de*

desarrollo rural realizados en Santa Apolonia, Chimaltenango. (Tesis de Licenciatura en Agronomía). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala

7. Barros, I.; Guzmán, L.; Taron, A. (2015). *Extracción y comparación de la quitina obtenida a partir del caparazón de Callinectes sapidus y Penaeus vannamei.* *Actualidad y Divulgación Científica*, 18(1) págs. 227-234
8. Bioagro, S. A. (2014). *Referencias bibliográficas científicas. Efectos del quitosano.* Chile.
9. Chávez, A, (2012). *Obtención y caracterización de papel de quitosano.* *Revista Iberoamericana de Polímeros.* Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela.
10. Colina, M.; Ayala, A.; Rincón, D.; Molina, J.; Medina, J.; Ynciarte, R. & Montilla, B. (2014). *Evaluación de los procesos para la obtención química de quitina y quitosano a partir de desechos de cangrejos. Escala piloto e industrial.* *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15(1), págs. 21-43.
11. Contreras, N.; Vidal, C. (2015). *Obtención y caracterización de quitina y quitosano del emérito análogo a escala piloto.* Perú. *Revista Tzhoecoen*, 7(2), págs. 182-197
12. Domínguez, B. (2016). *Desarrollo y caracterización de películas biodegradables a base de quitosano, alcohol polivinílico y mucílago*

de nopal para la conservación de la fresa. (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, Querétaro, México.

13. Escobar, D. M.; Ossa, C. P.; Quintana, M. A. & Ospina, W. A. (2013). *Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos.* *Scientia et Technica*, 18(1). Universidad Tecnológica de Pereira, págs. 260-266. Colombia.
14. Fernández, N.; Echeverría, D.; Mosquera, S. A. & Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), págs. 134-141. Colombia.
15. Fong, A. (2012) *Evaluación del grado de conversión de quitina a quitosano procedente del exoesqueleto del abdomen del camarón (Litopenaeus vannamei) en función del contenido de nitrógeno total medido durante la hidrólisis alcalina a nivel laboratorio.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
16. Fraire, M.; Yáñez, M.; Nieto, D. & Vásquez, G. (2003) *Hongos patógenos en fruto de fresa (Fragaria x ananassa Duch.) en Postcosecha.* *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21 (3), págs. 285-291
17. García, M.; Casariego, A.; Díaz, R. & Roblejo, L. (2014). *Effect of edible chitosan/zeolite coating on tomatoes quality during refrigerated storage.* *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(3), págs. 238.

18. Huang, J.; Chen, Q.; Qiu, M. & Li, S. (2012). *Chitosan-based edible coatings for quality preservation of postharvest whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei)*. *Journal of Food Science*, 77(4).
19. López-Mata, M.; et al (2012). *Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas*. *BIOtecnia*, 14(1), págs. 33-43.
20. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2011). *Producción de fresa bajo condiciones de estructura tipo túnel*. Recuperado de: <http://www.icta.gob.gt>
21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos*. Recuperado de: <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/>
22. Martínez, P. (2014). *Plaguicida biológico a base de quitosano y nemátodos entomopatógenos. Patente*. Recuperado de: <http://www.google.com/patents/>
23. Pineda, D.; Ramírez, N. (2016) *Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un período temporal definido*. *Ingenierías USBMED*, 8(1) págs. 7-11
24. Quintero, C. (2010). *Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola*. Grupo CEDAGRITOL, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Tolima, Ibagué, Colombia. *Revista Tumbaga*. Págs. 93-118

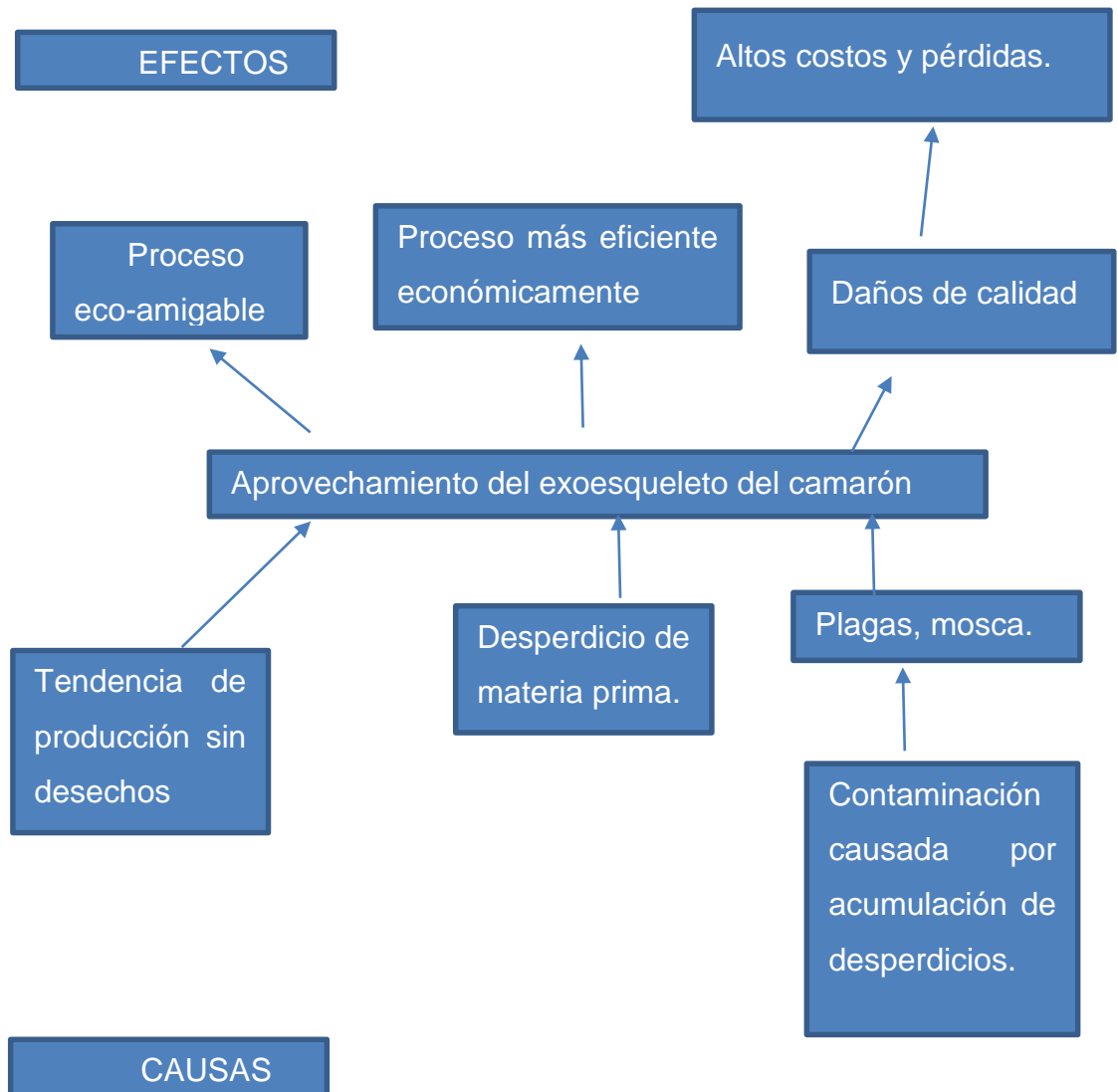
25. Rahmawati, D.; Chandra, M.; Santoso, S. & Puteri, M. G. (2017). *Application of lemon peel essential oil with edible coating agent to prolong shelf life of tofu and strawberry*. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1803, No. 1, p. 020037). AIP Publishing.
26. Restrepo, A. & Guarín, S. (2004) *Valorización de los desechos generados en la industria de procesamiento del camarón*. (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquía, Colombia.
27. Rico, F.; Gutiérrez, C. & Díaz, C. (2015). *Influence of chitosan coatings with citric essential oil on the shelf-life of minimally processed mango (Mangifera indica L.)*. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 68(2), págs. 7679-7688.
28. Rivera, M. (1998). *Efecto de la salinidad sobre el crecimiento y sobrevivencia en postlarvas y juveniles de camarón blanco Penaeus Vannamei (Bone 1931), bajo condiciones de laboratorio*. (Tesis de maestría). Universidad de Colima, México.
29. SEMARNAT. (2007). *Manifestación de impacto ambiental modalidad particular sector pesquero, subsector acuícola, proyecto: Producción de camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*
Recuperado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/>
30. Tapia, C. (2007). *Efecto antifúngico de quitosano de alto peso molecular en cepas de Candida sp aisladas de muestras químicas*. *Revista Chilena de Infectología*. Instituto de Ciencias Biomédicas, Programa

de Microbiología y Micología, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Chile.

31. Trejo, A.; Ramos, K. & Pérez, C. (2007). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria vesca* L.) almacenada en refrigeración*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena, España: Grupo Postrecolección y Refrigeración UPCT, págs. 978-984.
32. Van, I. (2013) *Recubrimientos comestibles de biopolímeros y aceites esenciales. Aplicación a salmón*. (Tesis de licenciatura). Universitat Politècnica de Valencia. España.
33. Velásquez, C. (2006). *Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y futuro*. *Avances en química*, 1(2), págs. 15-21. Recuperado de: <http://www.saber.ula.ve/avancesenquimica>
34. Villegas, C. & Albarracín, W. (2016). *Aplicación y efecto de un recubrimiento comestible sobre la vida útil de la mora de castilla (*Rubus glaucus* benth)*. *Vitae*, 23(3).
35. Zaritzky, N. (2007). *Películas biodegradables y recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides: caracterización y aplicaciones*. Argentina, Carrollo en Criotecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Argentina

APÉNDICE

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Instrumento de recolección de datos para la determinación de la vida de anaquel de la fresa



Método de aplicación: Inmersión											
Muestra testigo						Muestra con recubrimiento al __%					
Observaciones						Observaciones					
Día	Peso	color	sabor	olor	Consistencia	Día	Peso	color	sabor	olor	consistencia
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
5						5					
6						6					
7						7					
8						8					
9						9					
10						10					
11						11					
12						12					
13						13					
14						14					
15						15					

Para utilización del instrumento:

- 1) Peso medido en gramos.
- 2) Color, sabor y olor se compara contra la muestra testigo.
- 3) Consistencia rígida, suave, aguada.

Fuente: elaboración propia

Apéndice 3. Instrumento de recolección de datos para aplicación del recubrimiento



Formulación al 1% de quitosano									
Muestra	Método de inmersión			Método de aspersión			Método de película		
	Tiempo de aplicación (segundos)	Tiempo de secado (segundos)	Cantidad de movimientos	Tiempo de aplicación (segundos)	Tiempo de secado (segundos)	Cantidad de movimientos	Tiempo de aplicación (segundos)	Tiempo de secado (segundos)	Cantidad de movimientos
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Matriz de coherencia

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería/ Escuela de Postgrado

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Problema: **Vida de anaquel**

Objetivos	VARIABLES	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
Obtener quitosano mediante la metodología de desproteinización, desmineralización, desacetilación y purificación del exoesqueleto del camarón, en el LIEXVE, Facultad de Ingeniería.	Obtención de quitosano	% de rendimiento Cantidad (g) Grado de desacetilación Grado de despolimerización	Comparación de pesos. Comparación de % de nitrógeno total. Viscosidad	Se compara el peso obtenido contra el peso inicial del exoesqueleto de camarón. Se realiza análisis bromatológico para obtener el % de nitrógeno total del quitosano. Se mide la viscosidad de una solución de quitosano.
Formular un recubrimiento alimenticio a base de distintas cantidades de quitosano.	Recubrimiento alimenticio	Concentración de quitosano presente en cada formulación: 1%, 3% y 5%	Variación en concentraciones	Secuencia de formulaciones
Identificar el mejor método de aplicación, inmersión, aspersion o <i>film</i> para el recubrimiento alimenticio en la fresa.	Método de aplicación	Eficiencia de método Tiempo de aplicación Tiempo de secado Cantidad de pasos a realizar por método de aplicación.	Inmersión Aspersion <i>Film</i> Hoja de registros para el tiempo.	Preparar 3 soluciones. Realizar la aplicación. Tomar tiempo.
Comparar la vida de anaquel de la fresa con el recubrimiento alimenticio a base de quitosano en relación a una muestra control.	Vida de anaquel	Comparación de tiempo de vida entre muestra control y muestra con recubrimiento. Deterioro por: crecimiento de hongos y levaduras sobre la fresa. Medios de cultivo con quitosano inoculado con hongos y levaduras por triplicado, ausencia o presencia de hongos y levaduras. Tiempo, días de inicio de descomposición, aspectos sensoriales y microbiológicos. Aspectos Sensoriales, olor, color apariencia, consistencia. Prueba de análisis estadístico Anova, en cada método de aplicación.	Hoja de registros. Pruebas microbiológicas para bacterias y hongos.	Preparación de medios de cultivo. Realizar frotos. Evaluar crecimiento.

Fuente: elaboración propia.