



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**ESTUDIOS DE LOS RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS A PARTIR DE FUENTES
NATURALES (CERA DE CARNAUBA, CERA DE CANDELILLA Y
BIOPOLÍMEROS DE QUITINA-QUITOSANA) EN MANZANAS AMARILLAS
(*Malus domestica*) DE LA VARIEDAD GOLDEN DELICIOUS**

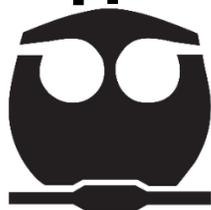
T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

PRESENTA

EDGAR PÉREZ PORTILLO

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2024





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

VOCAL: Q.F.B. Juan Manuel Díaz Álvarez

SECRETARIO: M. en C. Rolando Salvador García Gómez

1er. SUPLENTE: Dra. Patricia Severiano Pérez

2° SUPLENTE: Dra. Marisela Bernal González

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorios 301-303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, (LIQA y QA) del Conjunto E de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México

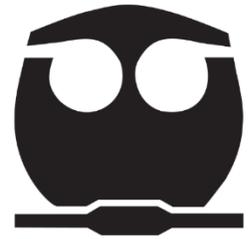
ASESOR DEL TEMA: Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa _____

SUPERVISOR TÉCNICO: Dr. Samuel Mendoza Pérez _____

SUSTENTANTE: Edgar Pérez Portillo _____



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado Estudios de los recubrimientos obtenidos a partir de fuentes naturales (cera de carnauba, cera de candelilla y biopolímeros de quitina-quitosana) en manzanas amarillas (*Malus domestica*) de la variedad Golden Delicious que presenté para obtener el título/grado de Químico de Alimentos, es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por la Facultad de Química, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación/graduación.

Atentamente

Edgar Pérez Portillo

DECLARATORIA

"Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o en referencia a, las obras de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante recursos editoriales convencionales"

Edgar Pérez Portillo

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al personal académico y administrativo de los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQA y QA) del Conjunto E de la Facultad de Química por el apoyo para la adquisición de materiales y reactivos así como del uso de equipos para realizar la presente investigación.

Se reconoce al Programa de Apoyo a la Investigación y el Posgrado de la Facultad de Química (PAIP), claves 50009065 y 50009067 por el financiamiento parcial de reactivos, equipos y material de laboratorio empleados en esta investigación.

A la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa por su valioso tiempo y asesoría durante el desarrollo de este proyecto, sus observaciones y aportaciones muy acertadas que derivan de su trayectoria y experiencia profesional.

Al M en C. Rolando Salvador García Gómez por su asesoría durante el desarrollo y revisión de este proyecto, por su seguimiento y paciencia para culminar este proyecto de tesis y por su valiosa amistad.

Al Q.F.B. Juan Manuel Díaz Álvarez por su tiempo en la revisión de esta tesis y su apoyo para culminar mis estudios en la facultad y por ser guía en el desarrollo de los profesionales de la química de alimentos.

Al Dr. Samuel Mendoza Pérez por aceptar ser el supervisor técnico de este trabajo y por su valioso tiempo para realizar las revisiones necesarias para obtener una tesis más completa y reconociendo su admirable trayectoria profesional y académica.

ÍNDICE

		Pág.
I. ÍNDICE DE TABLAS		11
II. ÍNDICE DE GRÁFICAS		15
III. ÍNDICE DE FIGURAS		17
IV. GLOSARIO DE TÉRMINOS		19
V. ABREVIATURAS		22
VI. UNIDADES		23
VII. RESUMEN		24
1.	INTRODUCCIÓN	26
1.1.	Planteamiento del problema	26
1.2.	Objetivos	28
1.2.1.	Objetivo general	28
1.2.2.	Objetivos específicos	28
1.3.	Hipótesis	29
2.	MARCO TEÓRICO	30
2.1.	Importancia del consumo de frutas	30
2.2.	La maduración	30
2.2.1.	Frutos climatéricos y no climatéricos	32
2.3.	El almacenamiento de los productos hortofrutícolas	33
2.4.	Recubrimientos comestibles	34
2.4.1.	Propiedades de los recubrimientos	35
2.4.2.	Funciones de los recubrimientos	35
2.4.3.	Biopolímeros empleados en la elaboración de recubrimientos comestibles	36
2.4.3.1.	Poliglúcidos	37
2.4.3.2.	Proteínas	37
2.4.3.3.	Lípidos	37
2.4.4.	Aditivos incorporados en los recubrimientos comestibles	37
2.5.	Aceites esenciales	38

		Pág.
2.5.1.	Aceite esencial de naranja	39
2.6.	Mezcla de quitina-quitosana	39
2.6.1.	Fuentes	40
2.6.2.	Usos de la quitosana	41
2.6.2.1.	Aprovechamiento de residuos acuícolas para la obtención de recubrimientos de Q-Qn mediante una metodología de química verde	42
2.7.	Ceras	43
2.7.1.	Cera de candelilla	43
2.7.2.	Cera de carnauba	43
2.8.	Manzana 'Golden Delicious' como centro de estudio de esta investigación	44
2.8.1.	Aspectos generales de las manzanas (<i>Malus domestica</i>)	44
2.8.2.	Composición química de la manzana	46
2.8.3.	Industrialización de la manzana	46
2.8.4.	Importancia de la manzana a nivel internacional	46
2.8.5.	Importancia de la manzana a nivel nacional	46
3.	METODOLOGÍA	48
3.1.	<i>Primera etapa</i>	50
3.1.1.	Obtención y limpieza de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón	50
3.1.2.	Proceso de obtención del CPD	51
3.1.3.	Obtención de las frutas empleadas en la investigación	52
3.1.4.	Elaboración del disolvente MAC-141©	52
3.1.5.	Extracción del biopolímero de quitina-quitosana	53
3.1.6.	Elaboración del recubrimiento de quitosana Sigma-Aldrich® al 2%	54
3.1.7.	Formulación de las ceras de carnauba y de candelilla	54
3.1.8.	Recubrimiento de quitina-quitosana y aceite esencial de naranja	55
3.1.9.	Aplicación de los recubrimientos	56

		Pág.
3.2.	<i>Segunda etapa</i>	57
3.2.1.	Estudio de vida de anaquel	57
3.2.1.1.	Cambio de la coloración	58
3.2.1.2.	Cambio de textura	59
3.2.1.3.	Presencia de manchas y hongos	59
3.2.1.4.	Determinación de °Brix	59
3.2.1.5.	Determinación de pH	59
3.2.1.6.	Determinación del % de acidez	59
3.2.1.7.	Contenido de vitamina C	60
3.2.1.8.	Determinación del % de humedad	60
3.3.	<i>Tercera etapa</i>	60
3.3.1.	Elaboración de mermeladas sin conservadores	60
3.3.2.	Evaluación sensorial	61
3.3.3.	Análisis estadísticos	62
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1.	Estudio de vida de anaquel	63
4.1.1.	Evaluación del color	63
4.1.2.	Evaluación de la textura	64
4.1.3.	Presencia o ausencia física de hongos y pardeamiento enzimático	64
4.1.4.	Evaluación de grados Brix (°Bx)	67
4.1.5.	Evaluación de pH	69
4.1.6.	Determinación del % de acidez (% de ácido málico)	72
4.1.7.	Determinación del % de humedad	74
4.1.8.	Determinación del contenido de vitamina C	76
4.2.	Cálculo de vida de anaquel	79
4.3.	Evaluación sensorial	81
4.3.1.	Prueba de nivel de agrado	82
4.3.2.	Prueba de ordenamiento	83

		Pág.
5.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	85
5.1.	Conclusiones	85
5.2.	Perspectivas del presente trabajo de investigación	87
ANEXOS		88
ANEXO A	Tablas de resultados obtenidos durante el estudio de vida de anaquel y análisis sensorial	88
ANEXO B	Gráficas de resultados de la evaluación del aceite esencial de naranja incorporado en recubrimiento de Q-Qn	97
ANEXO C	Descripción de las metodologías aplicadas en el estudio de vida de anaquel y evaluación sensorial	101
C.1.	Estudio de vida de anaquel	102
C.1.1.	Determinación de los grados Brix (°Bx)	101
C.1.2.	Determinación del pH	102
C.1.2.1.	Calibración del potenciómetro marca Thermo, modelo Orión 720-A+	102
C.1.2.2.	Medición de la muestra	103
C.1.3.	Determinación del % de acidez (g ácido málico/100 g muestra)	103
C.1.3.1.	Preparación de la solución de NaOH	104
C.1.3.2.	Preparación de la solución indicadora de fenolftaleína	104
C.1.3.3.	Valoración de la solución de NaOH con biftalato de potasio	104
C.1.3.4.	Preparación y valoración de la muestra	105
C.1.4.	Determinación del contenido de humedad (%H)	105
C.1.5.	Determinación del contenido de vitamina C	106
C.1.5.1.	Preparación de la disolución de ácido acético al 5%	106
C.1.5.2.	Preparación de la disolución patrón de ácido ascórbico	107
C.1.5.3.	Preparación de la disolución de 2,6-diclorofenol-indofenol	107
C.1.5.4.	Valoración del 2,6-diclorofenol-indofenol	107
C.1.5.5.	Valoración de la muestra	107
C.2.	Evaluación sensorial	108

		Pág.
C.2.1.	Proceso de elaboración de las mermeladas de manzana 'Golden Delicious' con los diferentes grupos de fruta recubierta y sin recubrir	108
C.2.2.	Aplicación de la evaluación sensorial	108
ANEXO D	Análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio de vida de anaquel y evaluación sensorial	111
ANEXO E	Resultados del método DMS al 95% de confianza para los datos obtenidos en el estudio de vida de anaquel y análisis sensorial	118
ANEXO F	Disposición de los residuos generados durante la presente investigación	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		127

I. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Concentraciones mínimas de O ₂ y CO ₂ durante el almacenamiento de frutas a temperatura entre 0 y 5°C	34
Tabla 2.2.	Clasificación comercial de manzanas por tamaño	45
Tabla 3.1.	Cantidades empleadas para la elaboración del disolvente MAC-141©	52
Tabla 3.2.	Formulaciones evaluadas para la elaboración de recubrimientos a base de ceras	54
Tabla 3.3.	Formulación del recubrimiento de Q-Qn-AEN	56
Tabla 3.4.	Especificaciones del producto terminado	61
Tabla 4.1.	Resumen de la evaluación de °Bx	67
Tabla 4.2.	Resumen de la evaluación de pH	70
Tabla 4.3.	Resumen de la evaluación del % de acidez	72
Tabla 4.4.	Resumen de la evaluación del % de humedad	74
Tabla 4.5.	Resumen de la evaluación de la pérdida de vitamina C	77
Tabla 4.6.	Tiempo teórico en días de la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas y sin recubrir	80
Tabla A.1.	Evaluación de la coloración de las manzanas almacenadas a 4°C	88
Tabla A.2.	Evaluación de la coloración de las manzanas almacenadas a 25°C	89
Tabla A.3.	Evaluación de la coloración de las manzanas almacenadas a 35°C	89
Tabla A.4.	Medición de la textura de las manzanas almacenadas a 4°C	90
Tabla A.5.	Medición de la textura de las manzanas almacenadas a 25°C	90
Tabla A.6.	Medición de la textura de las manzanas almacenadas a 35°C	90
Tabla A.7.	Determinación de °Brix de las manzanas almacenadas a 4°C	91
Tabla A.8.	Determinación de °Brix de las manzanas almacenadas a 25°C	91
Tabla A.9.	Determinación de °Brix de las manzanas almacenadas a 35°C	91
Tabla A.10.	Determinación del pH de las manzanas almacenadas a 4°C	92
Tabla A.11.	Determinación del pH de las manzanas almacenadas a 25°C	92
Tabla A.12.	Determinación del pH de las manzanas almacenadas a 35°C	92
Tabla A.13.	Determinación del % de acidez de las manzanas almacenadas a 4°C	93
Tabla A.14.	Determinación del % de acidez de las manzanas almacenadas a 25°C	93

Tabla A.15.	Determinación del % de acidez de las manzanas almacenadas a 35°C	93
Tabla A.16.	Determinación del % humedad de las manzanas almacenadas a 4°C	94
Tabla A.17.	Determinación del % de humedad de las manzanas almacenadas a 25°C	94
Tabla A.18.	Determinación del % de humedad de las manzanas almacenadas a 35°C	94
Tabla A.19.	Determinación de vitamina C de las manzanas almacenadas a 4°C	95
Tabla A.20.	Determinación de vitamina C de las manzanas almacenadas a 25°C	95
Tabla A.21.	Determinación de vitamina C de las manzanas almacenadas a 35°C	95
Tabla A.22.	Resultados obtenidos de las pruebas afectivas	96
Tabla A.23.	Resultados obtenidos de la prueba de preferencia y ordenamiento	96
Tabla D.1.	ANDEVA de °Brix de los diferentes tratamientos a 4°C	111
Tabla D.2.	ANDEVA de °Brix de Q-Qn-AEN a 4°C	111
Tabla D.3.	ANDEVA de °Brix de los diferentes tratamientos a 25°C	111
Tabla D.4.	ANDEVA de °Brix de Q-Qn-AEN a 25°C	111
Tabla D.5.	ANDEVA de °Brix de los diferentes tratamientos a 35°C	112
Tabla D.6.	ANDEVA de °Brix de Q-Qn-AEN a 35°C	112
Tabla D.7.	ANDEVA de pH de los diferentes tratamientos a 4°C	112
Tabla D.8.	ANDEVA de pH de Q-Qn-AEN a 4°C	112
Tabla D.9.	ANDEVA de pH de los diferentes tratamientos a 25°C	112
Tabla D.10.	ANDEVA de pH de Q-Qn-AEN a 25°C	113
Tabla D.11.	ANDEVA de pH de los diferentes tratamientos a 35°C	113
Tabla D.12.	ANDEVA de pH de Q-Qn-AEN a 35°C	113
Tabla D.13.	ANDEVA del % de acidez de los diferentes tratamientos a 4°C	113
Tabla D.14.	ANDEVA del % de acidez de Q-Qn-AEN a 4°C	113
Tabla D.15.	ANDEVA del % de acidez de los diferentes tratamientos a 25°C	114
Tabla D.16.	ANDEVA del % de acidez de Q-Qn-AEN a 25°C	114
Tabla D.17.	ANDEVA del % de acidez de los diferentes tratamientos a 35°C	114
Tabla D.18.	ANDEVA del % de acidez de Q-Qn-AEN a 35°C	114

Tabla D.19.	ANDEVA del % de humedad de los diferentes tratamientos a 4°C	114
Tabla D.20.	ANDEVA del % de humedad de Q-Qn-AEN a 4°C	115
Tabla D.21.	ANDEVA del % de humedad de los diferentes tratamientos a 25°C	115
Tabla D.22.	ANDEVA del % de humedad de Q-Qn-AEN a 25°C	115
Tabla D.23.	ANDEVA del % de humedad de los diferentes tratamientos a 35°C	115
Tabla D.24.	ANDEVA del % de humedad de Q-Qn-AEN a 35°C	115
Tabla D.25.	ANDEVA del contenido de vitamina C de los diferentes tratamientos a 4°C	116
Tabla D.26.	ANDEVA del contenido de vitamina C de Q-Qn-AEN a 4°C	116
Tabla D.27.	ANDEVA del contenido de vitamina C de los diferentes tratamientos a 25°C	116
Tabla D.28.	ANDEVA del contenido de vitamina C de Q-Qn-AEN a 25°C	116
Tabla D.29.	ANDEVA del contenido de vitamina C de los diferentes tratamientos a 35°C	116
Tabla D.30.	ANDEVA del contenido de vitamina C de Q-Qn-AEN a 35°C	117
Tabla D.31.	ANDEVA del atributo color de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial	117
Tabla D.32.	ANDEVA del atributo aroma de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial	117
Tabla D.33.	ANDEVA del atributo textura de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial	117
Tabla D.34.	ANDEVA del atributo sabor de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial	117
Tabla E.1.	Prueba DMS de °Bx de las manzanas almacenadas a 4°C	118
Tabla E.2.	Prueba DMS de °Bx de las manzanas almacenadas a 25°C	118
Tabla E.3.	Prueba DMS de pH de las manzanas almacenadas a 4°C	118
Tabla E.4.	Prueba DMS de pH de las manzanas almacenadas a 35°C	119
Tabla E.5.	Prueba DMS del %H de las manzanas almacenadas a 25°C	119
Tabla E.6.	Prueba DMS del %H de las manzanas almacenadas a 35°C	119
Tabla E.7.	Prueba DMS del contenido de vitamina C de las manzanas almacenadas a 25°C	119
Tabla E.8.	Prueba DMS de °Bx de las manzanas Q-Qn-AEN a 25°C	120
Tabla E.9.	Prueba DMS de °Bx de las manzanas Q-Qn-AEN a 35°C	120
Tabla E.10.	Prueba DMS de pH de las manzanas Q-Qn-AEN a 35°C	120

Tabla E.11.	Prueba DMS del % acidez de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 4°C	120
Tabla E.12.	Prueba DMS del % acidez de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C	120
Tabla E.13.	Prueba DMS del %H de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 4°C	121
Tabla E.14.	Prueba DMS del %H de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C	121
Tabla E.15.	Prueba DMS del contenido de vitamina C de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 4°C	121
Tabla E.16.	Prueba DMS del contenido de vitamina C de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 25°C	121
Tabla E.17.	Prueba DMS del atributo de color evaluado en las mermeladas durante la evaluación sensorial	121
Tabla E.18.	Prueba DMS del atributo de textura evaluado en las mermeladas durante la evaluación sensorial	122

II. ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1.	Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 4°C	68
Gráfica 4.2.	Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 25°C	68
Gráfica 4.3.	Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 35°C	69
Gráfica 4.4.	Valores promedio del cambio en el pH a 4°C	71
Gráfica 4.5.	Valores promedio del cambio en el pH a 25°C	71
Gráfica 4.6.	Valores promedio del cambio en el pH a 35°C	71
Gráfica 4.7.	Valores promedio del % de acidez a 4°C	73
Gráfica 4.8.	Valores promedio del % de acidez a 25°C	73
Gráfica 4.9.	Valores promedio del % de acidez a 35°C	73
Gráfica 4.10.	Valores promedio de la pérdida de humedad a 4°C	75
Gráfica 4.11.	Valores promedio de la pérdida de humedad a 25°C	76
Gráfica 4.12.	Valores promedio de la pérdida de humedad a 35°C	76
Gráfica 4.13.	Valores promedio de la degradación de vitamina C a 4°C	78
Gráfica 4.14.	Valores promedio de la degradación de vitamina C a 25°C	78
Gráfica 4.15.	Valores promedio de la degradación de vitamina C a 35°C	79
Gráfica 4.16.	Escala de ordenamiento de las mermeladas	83
Gráfica B.1.	Valores promedio del cambio en los °Bx a 4°C	97
Gráfica B.2.	Valores promedio del cambio en los °Bx a 25°C	97
Gráfica B.3.	Valores promedio del cambio en los °Bx a 35°C	97
Gráfica B.4.	Valores promedio del cambio en el pH a 4°C	97
Gráfica B.5.	Valores promedio del cambio en el pH a 25°C	98
Gráfica B.6.	Valores promedio del cambio en el pH a 35°C	98
Gráfica B.7.	Valores promedio del cambio en el % de acidez a 4°C	98
Gráfica B.8.	Valores promedio del cambio en el % de acidez a 25°C	98
Gráfica B.9.	Valores promedio del cambio en el % de acidez a 35°C	99
Gráfica B.10.	Valores promedio del cambio en el % de humedad a 4°C	99
Gráfica B.11.	Valores promedio del cambio en el % de humedad a 25°C	99
Gráfica B.12.	Valores promedio del cambio en el % de humedad a 35°C	99
Gráfica B.13.	Valores promedio del cambio en el contenido de vitamina C a 4°C	100

Gráfica B.14.	Valores promedio del cambio en el contenido de vitamina C a 25°C	100
Gráfica B.15.	Valores promedio del cambio en el contenido de vitamina C a 35°C	100

III. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Etapas entre la formación del fruto y la senescencia	31
Figura 2.2.	Calidad organoléptica de un fruto en función de su madurez	31
Figura 2.3.	Curvas de respiración de productos climatéricos	33
Figura 2.4.	Curvas de respiración de productos no climatéricos	33
Figura 2.5.	Propiedades funcionales de un recubrimiento comestible	36
Figura 2.6.	Estructura química de la quitina	40
Figura 2.7.	Estructura química de la quitosana	40
Figura 2.8.	Aplicaciones de la quitosana	41
Figura 2.9.	Manzana (<i>Malus domestica</i>)	44
Figura 2.10.	Proporción de producción de Manzanas por región	47
Figura 2.11.	Producción de manzana (toneladas) en 2020	47
Figura 3a.	Desarrollo experimental de la primera etapa de la investigación	49
Figura 3b.	Desarrollo experimental de la segunda etapa de la investigación	50
Figura 3c.	Desarrollo experimental de la tercera etapa de la investigación	50
Figura 3.1.	Equipo de reflujo para la elaboración del disolvente MAC-141©	53
Figura 3.2.	Almacenamiento de la mezcla de Q-Qn en una cámara de humidificación	53
Figura 3.3.	Licadora marca Hamilton Beach de 10 velocidades	55
Figura 3.4.	Formulaciones de cera de candelilla	55
Figura 3.5.	Aplicación de los recubrimientos por el método de cepillado	56
Figura 3.6.	Manzanas de la variedad 'Golden Delicious' recubiertas	56
Figura 3.7.	Refrigerador doméstico para almacenar los frutos a 4°C	57
Figura 3.8.	Charolas con fruto recubierto almacenados a temperatura ambiente	57
Figura 3.9.	Incubadora FELISA modelo FE142 para almacenar los frutos a 35°C	58
Figura 3.10.	Escala Pantone® para evaluar el color de las manzanas	58
Figura 3.11.	Mermeladas elaboradas con grupos de fruta recubierta y un grupo sin recubrir	61
Figura 4.1.	Manzana 'Golden Delicious' sin recubrimiento almacenada a 4°C al día 15	65
Figura 4.2.	Manzana 'Golden Delicious' recubierta con cera de carnauba almacenada a 4°C al día 15	65

Figura 4.3.	Manzanas 'Golden Delicious' sin recubrir almacenadas a 25°C al día 15 y 18	66
Figura 4.4.	Manzanas 'Golden Delicious' recubiertas Q-Qn-AEN y Q-Qn almacenadas a 25°C al día 18	66
Figura 4.5.	Manzanas 'Golden Delicious' sin recubrimiento y recubierta con Q-Qn almacenadas a 35°C al día 12	66
Figura 4.6.	Manzanas 'Golden Delicious' almacenadas a 35°C al día 18	66
Figura 4.7.	Manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C al día 6, 12 y 15	67
Figura C.1.	Refractómetro ATAGO-ATC-1 empleado durante la investigación para determinar °Bx	102
Figura C.2.	Potenciómetro Orión 720-A+ empleado durante la investigación para determinar el pH	103
Figura C.3.	Balanza analítica marca OHAUS empleada durante la investigación para pesar reactivos	105
Figura C.4.	Termobalanza marca OHAUS modelo MB200 empleada durante la investigación para determinar el % de humedad	106
Figura C.5.	Diagrama del proceso de elaboración de mermelada de manzana sin conservadores	109
Figura C.6.	Cuestionario aplicado a cien jueces no entrenados durante la evaluación sensorial	110
Figura F.1.	Tratamiento de los residuos generados durante la primera etapa de la presente investigación	123
Figura F.2.	Tratamiento de los residuos generados durante la segunda etapa de la presente investigación	124
Figura F.3.	Tratamiento de los residuos generados durante la tercera etapa de la presente investigación	125

IV. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Término	Significado
Ablandamiento	Es un proceso que ocurre como resultado de la hidrólisis enzimática de los diversos componentes de la pared celular y que contribuye a la pérdida de firmeza del fruto
Aceite esencial	Líquidos oleosos y volátiles obtenidos de las plantas (semillas, flores, raíces, hojas y frutos) por algún método físico de extracción
Acidez	Cantidad de ácido libre en diferentes matrices alimentarias
Ácido málico	Es un ácido carboxílico abundante, principalmente en uvas y manzanas. Su fórmula molecular es $C_4H_6O_5$ y de masa molecular de 134.08 g/mol
Acuicultura	Es el conjunto de actividades, técnicas y conocimientos de cultivo de especies acuáticas vegetales y animales
Alimento	Cualquier sustancia o producto, sólido, semisólido, natural o transformado que proporciona al organismo elementos para su nutrición. Puede ser elaborada, semielaborada o bruta que se destina al consumo humano
Alimento perecedero	Alimento que requiere de condiciones especiales de proceso, conservación, almacenamiento y transporte debido a sus características fisicoquímicas y cuya vida de anaquel es corta
Antioxidante	Sustancia o mezcla de sustancias destinada a retardar o impedir la oxidación de compuestos instaurados de los alimentos
Bioactividad	Compuestos que ejercen un efecto benéfico para alguna función corporal de los individuos; generan una mejora en su salud y reducen algún riesgo de enfermedad
Biocompatible	Materiales naturales que pueden implementarse y complementarse para tener una función específica y eficiente
Biopolímero	Compuestos con alta masa molecular que pueden extraerse de una materia prima natural, por lo que pueden degradarse en el ambiente
Blanco	Para fines de esta investigación, el término <i>blanco</i> se refiere a los grupos de manzanas sin recubrimiento
Cefalotórax	Parte del cuerpo de los crustáceos que está formada por la unión de la cabeza con el tórax
Climaterio	Período de mayor actividad metabólica durante la transición entre la etapa de crecimiento y la de senescencia
Control	Para fines de esta investigación, el término <i>control</i> se refiere a los grupos de manzanas recubiertas de quitosana comercial de la marca Sigma Aldrich® al 2%
Crustáceo	Grupo de los artrópodos con un número variable de apéndices, dos pares de antenas, cuerpo cubierto por un caparazón y de respiración branquial
Desverdizado	Cambios en la coloración del fruto de verde a amarillo o anaranjado
Etileno	Hormona que inicia y controla el proceso de maduración del fruto

Evaluación sensorial	Es una disciplina científica usada para medir, analizar e interpretar las reacciones humanas ante las características de los alimentos, así como el modo en que estas son percibidas por los sentidos
Exoesqueleto	Esqueleto externo continuo que recubre toda la superficie de los animales. Se conoce coloquialmente como caparazón
Extracción	Obtención de componentes específicos encontrados dentro de una matriz mediante disolventes u otros métodos
Flavedo	Envoltura externa del fruto que se caracteriza por formar una cáscara coloreada compuesta por vesículas oleosas donde se encuentran los pigmentos y aceites esenciales
GRAS	Siglas en inglés de <i>General Recognized as Safe</i> : “Aquella sustancia reconocida entre los expertos calificados que ha demostrado ser seguro en las condiciones de su uso previsto”
Hortofrutícola	Pertenece a las hortalizas y árboles frutales o relativo al cultivo de ambos
Juez no entrenado	Personas que consumen habitualmente un producto y que a través de una evaluación expresan sus gustos y preferencias
Maduración	Eventos genéticamente programados y caracterizados por procesos bioquímicos y fisiológicos que alteran la textura, color, sabor y composición de nutrientes de las frutas y hortalizas
Manzana	Fruto perteneciente a la familia <i>Rosaceae</i> , subfamilia <i>Pomaideae</i> , género y especie <i>Malus domestica</i> de forma, tamaño, color y sabor característicos de acuerdo con la variedad
Mermelada	Producto alimenticio obtenido por la cocción y concentración del jugo y pulpa de un fruto, adicionado de edulcorantes y agua, agregándole o no ingredientes opcionales y aditivos permitidos, envasado herméticamente y procesado térmicamente
Pardeamiento enzimático	Es una reacción principalmente relacionada con la actividad de polifenoloxidasas, las cuales catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas con la consecuente transformación a pigmentos oscuros
Película Comestibles	Es una matriz preformada obtenida por moldeo y que se aplican sobre la superficie de los alimentos
Permeabilidad	Es una medida de la facilidad con la que el vapor de agua puede penetrar un material
Pomáceo	Fruto carnoso en pomo y semillas sin albumen; por ejemplo: el peral o el manzano
Pruebas afectivas	Herramienta en evaluación sensorial que permite ubicar un producto en términos de aceptación en comparación a otros y sus características que explican la preferencia de un consumidor
Prueba de nivel de agrado	Tienen como objetivo conocer qué tanto gusta un producto con respecto de otros. Se realiza mediante un cuestionario cuantitativo con preguntas que son respondidas con una escala hedónica
Prueba de preferencia y ordenamiento	Son pruebas en las que se le pide al consumidor que escoja el producto que prefiere de acuerdo con una escala de ordenamiento

Química verde	Principios que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicaciones de productos químicos, lo que en muchos casos implica el rediseño de los productos y procesos utilizados
Quitina	Es un polímero que forma parte de la estructura de los invertebrados, principalmente en los caparazones de los crustáceos. Su composición se basa en amino-glúcidos como la N-acetil-D-glucosamina que se unen linealmente mediante enlaces β -1,4 y es insoluble en agua
Quitosa	Es un polímero lineal (unidades de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina unidos por enlaces β -1,4) derivado de la desacetilación de la quitina
Ralentización	Acción y efecto de otorgar lentitud o disminuir la rapidez con la que se ejecuta un proceso u operación
Recubrimiento comestible	Matriz transparente, continua, delgada y comestible que se estructura alrededor de un alimento mediante la inmersión en una solución con el fin de preservar su calidad y servir de empaque
Respiración	Es la descomposición por oxidación de sustratos complejos presentes en las células de plantas, como almidón, glúcidos y ácidos orgánicos a moléculas más simples como el CO ₂ y H ₂ O y la producción de energía
Respuesta hedónica	Respuesta que hace referencia a la mayoría de las ocasiones cuando se realiza un estudio con consumidor derivado de la apariencia, el sabor, olor y la textura
Subproducto	Producto que se obtiene en cualquier operación además del principal, el cual, posee un menor valor y su reutilización es segura
Tasa de respiración	Es la cantidad de CO ₂ producida (mg) en el proceso respiratorio por unidad de masa de producto fresco y por unidad de tiempo (mg CO ₂ / kg h). Constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial
Terpenos	Son hidrocarburos que pertenecen a las familias de los alquenos, alcoholes, ésteres, éteres, aldehídos y cetonas
Transpiración	Pérdida de agua por evaporación de los tejidos vegetales que da como resultado pérdidas de apariencia, textura y calidad nutricional
Turgencia	Es la rigidez de las células vegetales debido a su contenido de agua. Es dependiente de fuerzas osmóticas y es el principal factor sobre la textura de frutas
Vida de anaquel	Periodo después de la producción, durante el cual el producto almacenado bajo determinadas condiciones ambientales como temperatura, luz y humedad continúa presentando características aceptables para el productor, el consumidor y la legislación vigente

V. ABREVIATURAS

Abreviatura/Sigla	Significado
ANDEVA	Siglas del análisis de varianza (<i>Analysis of variance: ANOVA</i> , por sus siglas en inglés)
AOAC	Siglas en inglés de la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (<i>Association of Official Analytical Chemists</i>)
CPD	Cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados
DMS	Diferencia mínima significativa. Método estadístico para la comparación de medias
FAO	Siglas en inglés de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (<i>Food and Agriculture Organization</i>)
GRAS	Siglas en inglés de aquella sustancia generalmente reconocida como segura (<i>General Recognized as Safe</i>)
LIQAYQA	Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental
MAC-141©	Disolvente compuesto por metanol, agua y cloruro de calcio en una proporción molar 1:4:1, respectivamente
NMX	Norma Mexicana que no es de índole obligatorio
OMS	Siglas de la organización mundial de la salud
Q-Qn	Mezcla experimental de quitina-quitosana obtenida a partir de los residuos de cefalotórax y exoesqueletos de camarón
Q-Qn-AEN	Mezcla experimental de quitina-quitosana adicionado con un aceite esencial de naranja
Qn-SA 2%	Quitosana comercial Sigma Aldrich® a una concentración de 2% en agua destilada acidulada con 2% de ácido ascórbico
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SE	Secretaría de Economía
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
UGA	Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México

VI. UNIDADES

Unidad	Significado
°Bx	Grados Brix
°C	Grados Celsius
cm	Símbolo de centímetro. Unidad de longitud equivalente a la centésima parte de 1 metro
g	Símbolo de gramo. Unidad de masa del Sistema Internacional, equivalente a una milésima parte de 1 kilogramo
h	Símbolo de hora. Tiempo que equivale a 60 minutos
ha	Símbolo de hectárea. Medida de superficie equivalente a 100 áreas
k	Prefijo del Sistema Internacional que equivale a mil unidades
kg	Símbolo de kilogramo. Unidad de masa del Sistema Internacional aproximadamente igual a la masa de 1000 centímetros cúbicos de agua a la temperatura de su máxima densidad (cuatro grados Celsius)
L	Símbolo de litro. Unidad de volumen equiparable al decímetro cúbico
M	Prefijo del Sistema Internacional que equivale a un millón de unidades
mg	Símbolo de miligramo. Unidad de masa equivalente a la milésima parte de 1 gramo
mm	Símbolo de milímetro. Unidad de longitud equivalente a la milésima parte de 1 metro
min	Símbolo de minuto. Tiempo equivalente a 60 segundos
mL	Símbolo de mililitro. Unidad de volumen equivalente a la milésima parte de 1 litro, es decir, 1 centímetro cúbico
mol	Cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0.012 kilogramos de carbono 12
N	Símbolo de normalidad. Unidad de concentración que corresponde al número de equivalentes de soluto por litro de solución
ppm	Unidad de concentración en partes por millón
rpm	Revoluciones por minuto
s	Símbolo de segundo. Unidad de tiempo del Sistema Internacional
pH	Potencial de Hidrógeno
t	Símbolo de tonelada. Unidad de masa equivalente a 1000 kg

Nota: Esta tesis utiliza el punto decimal de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida (SE, 2009b).

VII. RESUMEN

El empleo de recubrimientos comestibles como parte de los tratamientos post cosecha para aumentar la vida de anaquel de frutos, se ha incrementado. Los recubrimientos con base en polímeros como lo es la quitina y su derivado desacetilado, la quitosana, presentan beneficios cuando son aplicados en productos hortofrutícolas. Lo interesante de ello es cuando es obtenida a partir de residuos de cefalotórax y exoesqueletos de crustáceos. Por otro lado, también para el recubrimiento y la conservación de los frutos, son aplicadas ceras naturales, lo cual permite reducir su respiración disminuyendo su estrés oxidativo. Entre las ceras utilizadas comúnmente se encuentran la cera de carnauba y la cera de candelilla. Dado lo anterior, en el presente estudio, se realizó la extracción de la quitosana a partir del cefalotórax y exoesqueletos de camarón, para obtener una película con propiedades plastificantes que pudieran emplearse como recubrimiento. Esta biopelícula, se comparó con los recubrimientos de cera de carnauba, candelilla y un control de quitosana comercial de la marca Sigma® teniéndose un blanco al que no se le aplicó recubrimiento alguno. Para probar su efectividad, los grupos obtenidos fueron evaluados en un fruto climatérico: Manzanas (*Malus domestica*) de la variedad 'Golden Delicious'. Los grupos obtenidos fueron almacenados durante 18 días bajo diferentes condiciones de temperatura. Para ello, se incluyeron condiciones óptimas, típicas y adversas, mediante temperaturas de 4, 25 y 35°C, respectivamente. Durante el almacenamiento, se evaluaron diferentes parámetros fisicoquímicos: Valor de pH, porcentaje de acidez, porcentaje de humedad, degradación de ácido ascórbico, concentración de sólidos solubles y parámetros sensoriales como: Color, firmeza y crecimiento de hongos y/o manchas negras de manera visual. Los resultados sobresalientes indicaron que a temperatura de refrigeración, los recubrimientos no fueron determinantes para prolongar la vida de anaquel; sin embargo, sí se comportaron como un complemento post cosecha bajo estas condiciones. A temperatura ambiente y adversa, tanto las ceras como el biopolímero experimental de quitina-quitosana permitieron retardar algunos efectos de la maduración como lo es el cambio de coloración, el ablandamiento, la degradación del almidón y la pérdida de humedad. Los resultados anteriores, se

vieron reflejados en el tiempo teórico estimado, calculado mediante el modelo cinético de Arrhenius sobre la pérdida de acidez. Empleando el modelo anterior, se determinó que el tiempo de vida útil se vio afectado positivamente bajo condiciones óptimas y adversas, aplicando el recubrimiento experimental de Q-Qn, que pese a no aumentar la vida de anaquel en mayor medida con respecto de las ceras y con el biopolímero control, permitió alargar la vida de anaquel al menos ocho días comparándolo con el tratamiento blanco. Finalmente, se realizó una evaluación sensorial con la participación de cien jueces no entrenados quienes evaluaron los atributos de color, aroma, textura y sabor de las mermeladas elaboradas con diferentes grupos de manzanas cubiertas con los recubrimientos evaluados y el control. Los resultados arrojaron que los recubrimientos alteraron las propiedades sensoriales, obteniéndose diferencias significativas en cuanto a la coloración y a la textura de las mermeladas; sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza, se determinó que no hubo diferencias significativas en cuanto a la preferencia del consumidor por cualquiera de las mermeladas evaluadas.

Palabras clave: Manzanas (*Malus domestica*), recubrimientos de cera de carnauba, de cera de candelilla, de quitina-quitosana.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, con el estilo de vida moderno, el tiempo dedicado en la preparación y consumo de los alimentos se ha visto reducido dramáticamente. Los consumidores actuales demandan alimentos de alta calidad desde el punto de vista sensorial y nutricional, que sean mínimamente procesados, fáciles de preparar y listos para su consumo (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Los productos hortofrutícolas han respondido ante esta problemática; sin embargo, se estima que entre el 30 y 40% de la producción son perdidos en el periodo comprendido entre la cosecha y el consumo final. Esto básicamente se debe a que algunas de las operaciones durante su almacenamiento, procesamiento o comercialización pueden causar diversos efectos negativos, como lo son: El pardeamiento enzimático, el ablandamiento y el crecimiento microbiano que alteran la integridad y apariencia de este tipo de productos (Saucedo-Pompa et al., 2009).

En la cadena hortofrutícola es importante mantener la calidad de los productos frescos, es decir, estos deben tener una vida de anaquel suficiente para mantener sus propiedades sensoriales y garantizar su inocuidad (Pérez-Pérez y López-Malo, 2011). Por tanto, se han desarrollado tecnologías post cosecha para la conservación de los productos hortofrutícolas que mejoran y prolongan su calidad impactando directamente en la seguridad de los consumidores. Por otro lado, estas tecnologías resultan benéficas para los productores de este tipo de productos al reducir las pérdidas post cosecha (Ochoa et al., 2011). Entre los tratamientos post cosecha, uno de gran utilidad, son los recubrimientos comestibles, los cuales representan un menor costo, una mayor disponibilidad y biocompatibilidad frente a otros tratamientos al ser elaborados con poliglúcidos, lípidos y/o proteínas. Estos tratamientos pueden emplearse como un vehículo de sustancias bioactivas, optimizando su funcionalidad y otorgándole un valor agregado al producto (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Es por ello, que en la actualidad se buscan alternativas para la obtención de películas plásticas desarrolladas a partir de biopolímeros de cefalotórax y exoesqueletos de crustáceos, con lo cual se

espera disminuir los índices de contaminación de cuerpos de agua y de otras fuentes físicas como son los mercados rurales o municipales en donde es depositada esta materia orgánica (Catzín, 2009). Dentro de los compuestos encontrados en los caparazones y exoesqueletos de crustáceos están la quitina y su derivado desacetilado la quitosana. Para su extracción es común emplear el uso de ácidos y álcalis fuertes (Sierra et al., 2013). Por ello, en los Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM, México, se desarrolló una metodología para la extracción de este biopolímero mediante un disolvente denominado MAC-141©. El acondicionamiento del biopolímero ha permitido desarrollar recubrimientos comestibles para su aplicación en frutos climatéricos gracias a sus propiedades mecánicas y de barrera ante el CO₂, O₂ y vapor de agua. En el laboratorio, esta tecnología se ha estudiado en productos hortofrutícolas tales como guayabas y uvas verdes (Seseña, 2019), mangos (Juárez, 2019), frambuesas (De la Cruz, 2019), peras y zarzamoras (Zarazúa, 2021), y ciruelas negras (Villanueva, 2022).

En México, la manzana de la variedad 'Golden Delicious' es una de las frutas más importantes debido a su producción y consumo. Son frutos climatéricos que poseen una vida de almacenamiento relativamente larga, debido a que poseen una actividad respiratoria baja en comparación con otros cultivos frutales (Guerrero-Prieto et al., 2004). Sin embargo, la producción puede verse fuertemente afectada por un mal manejo post cosecha, siendo la disminución de la firmeza, el principal problema de almacenamiento de las manzanas como consecuencia de la pérdida de agua el cual es provocado por las lesiones físicas y el crecimiento microbiano. Por su parte, de acuerdo con el Panorama Agroalimentario 2021 (SIAP, 2021), la producción de manzana solamente satisface el 77.26% de la demanda nacional, la cual se complementa con importaciones principalmente de Estados Unidos y Chile. Se estima que para el 2030, el consumo nacional aumente de 0.71 a 1.10 millones de toneladas y que la producción nacional se incremente de 0.72 a 1.01 millones de toneladas respecto con el año 2020 (SIAP, 2021), por lo que es necesario mejorar el sistema productivo y de post cosecha recolectando el fruto bajo los índices de

madurez adecuados, controlar las condiciones de almacenamiento y aplicar tratamientos post cosecha que permitan prolongar su vida útil minimizando las pérdidas que pudieran presentarse.

Dentro del contexto anterior, en esta investigación, se realizaron los estudios de vida de anaquel de manzanas de la variedad 'Golden Delicious', las cuales fueron recubiertas con un biopolímero experimental de quitina-quitosana, obtenido a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón a través de una metodología con un enfoque de química verde. Una vez recubiertas con el biopolímero fueron comparadas con manzanas de la variedad 'Golden Delicious' pero recubiertas con cera de candelilla y con cera de carnauba que son algunas de las ceras más utilizadas para reducir la respiración y estrés oxidativo de los productos hortofrutícolas. Adicionalmente, se realizó un estudio de vida de anaquel del fruto bajo estudio para evaluar el efecto sinérgico del recubrimiento natural de Q-Qn con un aceite esencial de naranja para obtener mayores beneficios en los parámetros evaluados, como lo citado por Juárez (2019).

A continuación, se presentan el objetivo general y los específicos de esta investigación:

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con un biopolímero de quitina-quitosana y con ceras naturales realizando una comparación entre ellos

1.2.2. Objetivos específicos

- Obtener el biopolímero de quitina-quitosana partiendo de cefalotórax y exoesqueletos de camarón para su aplicación como recubrimiento en manzanas de la variedad 'Golden Delicious'

- Determinar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' a través de la evaluación de parámetros fisicoquímicos (color, textura, presencia de hongos, % humedad, °Bx, pH, % de acidez y contenido de vitamina C) de los cinco tratamientos (quitina quitosana, cera de carnauba y de candelilla, quitosana Sigma Aldrich® 2% y sin recubrir) sometidos a tres diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 25 y 35°C) estudiando el efecto de la aplicación de los recubrimientos en la vida útil del producto
- Identificar entre los parámetros evaluados en el estudio de vida de anaquel, aquellos que influyeron en la calidad y deterioro de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas y sin recubrir
- Evaluar el efecto de los recubrimientos sobre las propiedades sensoriales (aspecto, aroma, textura y sabor) de las mermeladas elaboradas con los diferentes grupos de fruta recubierta y sin recubrir a través de pruebas de nivel de agrado empleando jueces no entrenados
- Evaluar el efecto de la adición del aceite esencial de naranja en el recubrimiento experimental de quitina quitosana sobre las manzanas 'Golden Delicious' respecto con el control sin el aceite esencial bajo las tres condiciones de almacenamiento

1.3. Hipótesis

1) Las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con el biopolímero de quitina quitosana obtenido a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón, presentarán una vida de anaquel mayor a las manzanas sin recubrir y/o mayor a las recubiertas con cera de carnauba y cera de candelilla, con diferentes temperaturas de almacenamiento, sin afectar sus características sensoriales.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Importancia del consumo de frutas

El consumo adecuado de frutas aporta beneficios a la salud debido a la presencia de fitoesteroles, flavonoides y otros antioxidantes importantes para controlar en el cuerpo humano las enfermedades ocasionadas por el exceso de radicales libres de compuestos que se encuentran en el ambiente. Además, otorga beneficios debido a su valor nutritivo a través de las vitaminas A, C y E y del complejo B (tiamina, niacina y piridoxina), minerales (magnesio, potasio y zinc) y fibra dietética (Rodríguez y Sánchez, 2017). La Organización Mundial de la Salud recomienda el consumo de al menos 400 gramos de frutas y hortalizas por día para reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles como son las cardiopatías y determinados tipos de cáncer y diabetes, para prevenir el aumento de masa corporal, disminuir el riesgo de obesidad y contrarrestar las carencias de micronutrientes en virtud de las propiedades derivadas de su composición y/o combinación de nutrientes (OMS, 2020).

2.2. La maduración

El desarrollo del fruto ocurre en dos etapas: crecimiento y maduración, seguidas por el ablandamiento y la senescencia. Mientras que el crecimiento incluye la división y elongación celular, la maduración suele comenzar antes de la finalización de la fase de crecimiento y se extiende hasta la senescencia. Durante este último periodo, los procesos anabólicos dejan paso a los catabólicos produciéndose un envejecimiento y muerte del fruto como se aprecia en la Figura 2.1. La maduración se define como una serie de eventos genéticamente programados y caracterizados por procesos bioquímicos y fisiológicos que alteran la textura, el color, el sabor y la composición de nutrientes de los productos hortofrutícolas (Martínez-González et al., 2017).

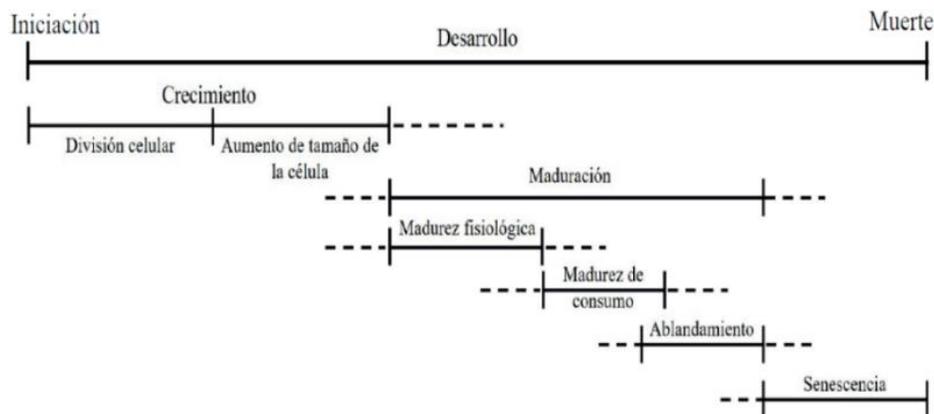


Figura 2.1. Etapas entre la formación del fruto y la senescencia (Martínez-González et al., 2017)

La etapa de maduración ocurre en dos etapas: a) En la **madurez fisiológica** el fruto y sus semillas adquiere su mayor tamaño y vigor. Esta etapa ocurre previo al desarrollo completo del fruto, una vez cosechado éste debe sobrevivir con sus propios sustratos y b) **La madurez de consumo**, es el estado requerido por el mercado donde los frutos presentan cambios de coloración (degradación de clorofila, síntesis de antocianinas o carotenoides) y de textura (ablandamiento de tejidos). Por otra parte, ocurren modificaciones químicas de glúcidos (aumento en la concentración de sólidos), ácidos orgánicos (disminución de acidez) y compuestos volátiles que influyen en la calidad nutricional, apariencia, sabor y aroma del fruto (Dos Santos et al., 2015) (Figura 2.2).

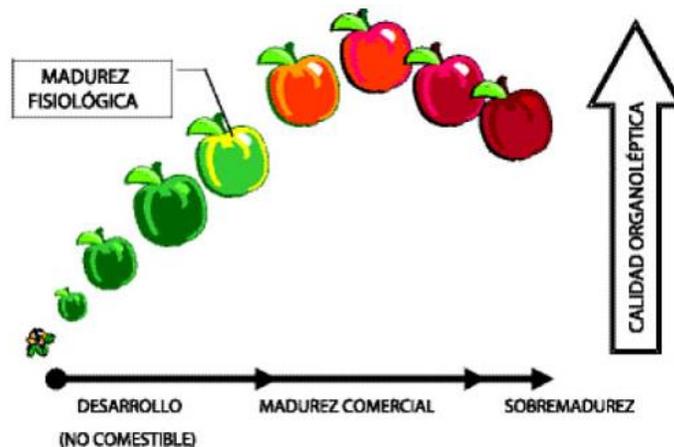


Figura 2.2. Calidad organoléptica de un fruto en función de su madurez (Camelo, 2003)

Durante la última fase de la madurez de consumo suceden cambios fisiológicos que tienen relación con el ablandamiento y la senescencia, los cuales causan el deterioro de la membrana y consecuentemente a la muerte celular. Esto se debe en gran medida a la degradación del almidón y a la disolución de los componentes de la pared celular, sobre todo por la hidrólisis enzimática de las pectinas por acción de la poligalacturonasa y la pectinmetilesterasa reduciendo gradualmente la firmeza y dejando más susceptibles a los frutos a daños mecánicos y microbiológicos (Baduí-Dergal, 2006; Benichou et al., 2018). Finalmente, durante la senescencia, la degradación celular y las fallas metabólicas aumentan. En esta etapa, la síntesis de carbohidratos concluye y da paso a la degradación de proteínas, clorofilas, lípidos y ácidos nucleicos (Gapper et al., 2013).

2.2.1. Frutos climatéricos y no climatéricos

El climaterio es el período de mayor actividad metabólica durante la transición entre la etapa de crecimiento y la senescencia (Brecht et al., 2010). Fisiológicamente, los productos hortofrutícolas se clasifican como climatéricos (plátano, aguacates, manzanas, peras, tomate, etc.) y no climatéricos (uvas, fresas, cítricos, sandía, brócolis, etc.).

Los frutos climatéricos en estado inmaduro presentan un periodo en el que su respiración basal es mínima. Posteriormente, su tasa de respiración incrementa dando inicio al climaterio y a la maduración (Figura 2.3). Este incremento se desencadena a concentraciones bajas de etileno endógeno (0.1-1.0 ppm) y, en consecuencia, genera una alteración a los sistemas genéticos e induce la síntesis de enzimas (proteasas, lipasas, amilasas, pectinasas, lipoxigenasas, clorofilasas, etc.). El etileno exógeno y las lesiones también incrementan el coeficiente respiratorio. Generalmente, estos frutos se recolectan en estado inmaduro para su distribución comercial (Fennema et al., 2010; Thompson, 2016).

Los frutos no climatéricos permanecen en el árbol hasta que maduran debido a que no muestran un incremento en la respiración y en la generación de etileno después

de la cosecha (Figura 2.4). Pese a que no desarrollan los patrones climatéricos, estos frutos son sensibles al etileno y muestran respuestas tales como desverdizado y ablandamiento; por lo tanto, pueden sufrir desordenes fisiológicos y una rápida deterioración si se descuidan en su vida de anaquel (Dos Santos et al., 2015).

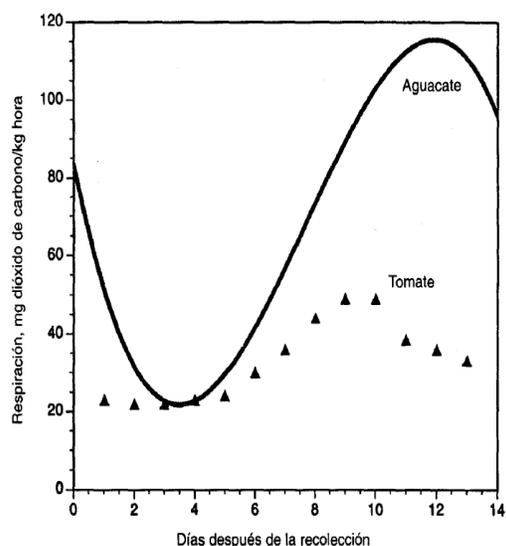


Figura 2.3. Curvas de respiración de productos climatéricos (Tomado y modificado de Fennema et al., 2010)

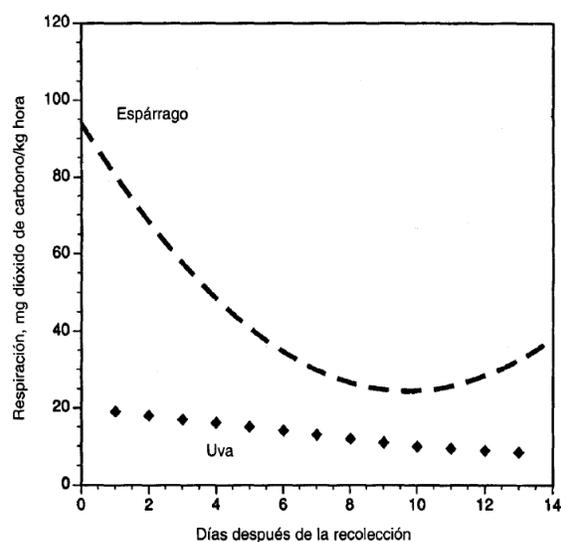


Figura 2.4. Curvas de respiración de productos no climatéricos (Tomado y modificado de Fennema et al., 2010)

2.3. El almacenamiento de los productos hortofrutícolas

El potencial de almacenamiento de las frutas y hortalizas es muy limitado en condiciones normales. No obstante, es posible retardar la tasa de respiración y transpiración durante el almacenamiento para prolongar la vida de anaquel y conservar la calidad comercial de estos productos (Ruelas-Chacón et al., 2013). El tiempo de almacenamiento depende de factores intrínsecos como la especie y la variedad del fruto, la edad e integridad de sus tejidos, la cantidad de daños físicos, etc. También depende de factores extrínsecos como son los factores biológicos y ambientales como la temperatura, humedad, composición de la atmósfera, presión, descomposición por microorganismos, etc. (Thompson, 2016).

Generalmente, los productos hortofrutícolas se almacenan a bajas temperaturas y con una humedad elevada para minimizar las pérdidas de agua y mantener la

turgencia celular sin favorecer el crecimiento de microorganismos (Kader, 2013). De acuerdo con Belitz (2009), las condiciones varían entre -1 a 2°C y de 80 a 90% de humedad relativa, sin embargo, cada producto reacciona diferente por lo que no existe un sistema de almacenamiento único para prolongar la vida útil de los mismos (Brecht et al., 2010).

El control óptimo de los gases de la atmósfera en el cuarto de almacenamiento evita que una alta concentración de O₂ acelere el proceso de maduración, del mismo modo, evita que una baja concentración de O₂ resulte en una alta producción de CO₂ promoviendo la glucólisis y en consecuencia genere decoloración y sabores desagradables debido a la formación de acetaldehído y etanol. En la práctica, implica reducir los niveles de O₂ por debajo del 5%, elevar los niveles de CO₂ por encima del 10% y regular con aire para prevenir la exposición a cantidades no deseables de etileno (Kader, 2013). Estas condiciones varían de acuerdo con la especie, estado de madurez, duración y exposición a una temperatura dada (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Concentraciones mínimas de O₂ y CO₂ durante el almacenamiento de frutas a temperatura entre 0 y 5°C (Tomado y modificado de Belitz, 2009)

Fruta	Concentración mínima de O ₂ (%)	Concentración mínima de CO ₂ (%)
Pera	1-2	2
Manzana, kiwi	1-2	5
Durazno, ciruela	1-2	5
Piña	2	10
Cereza	2	15
Cítricos	5	10

2.4. Recubrimientos comestibles

Se definen como una matriz transparente continua, delgada y comestible que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes de este. Estos se aplican por inmersión, por aspersion o por cepillado y se clasifican de acuerdo con su composición (proteínas,

lípidos, poliglúcidos) (Ramos et al., 2012). Los recubrimientos comestibles han sido desarrollados principalmente para alimentos perecederos como los de la cadena hortofrutícola, ya que logran extender su vida de anaquel y mejoran su calidad comercial (De-León-Zapata et al., 2018).

2.4.1. Propiedades de los recubrimientos

Los recubrimientos comestibles poseen propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), ópticas (brillo y transparencia), de barrera frente al intercambio de gases, y de permeabilidad al vapor de agua. Éstas dependen del tipo de material empleado como son la matriz estructural, las condiciones bajo las cuales se preforman los recubrimientos (disolvente, pH, concentración de componentes) y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes o emulgentes) (Quintero et al., 2010). Asimismo, el grosor, la adhesión y cohesión, la densidad, la humectabilidad y solubilidad son algunos de los parámetros que afectan directamente las propiedades de los recubrimientos. Su evaluación permite establecer y formular el recubrimiento comestible más adecuado en función de los requerimientos de conservación de cada producto y de variables como son el costo, disponibilidad y atributos funcionales (Fernández et al., 2017).

2.4.2. Funciones de los recubrimientos

Como se aprecia en la Figura 2.5, los beneficios potenciales de utilizar recubrimientos comestibles incluyen:

- a)** Proporcionar una barrera en la superficie del producto para reducir la pérdida de humedad, por ende, la pérdida de masa, cambios de textura, de apariencia y de sabor
- b)** La creación de una barrera semipermeable al transporte de gases como O₂, CO₂ (reducen la disponibilidad de O₂ e incrementan la concentración de CO₂) y vapor de agua, para reducir la velocidad de respiración y el proceso de senescencia. Esto retrasa la oxidación enzimática y protege a los productos frescos de la decoloración y el ablandamiento

- c) La retención de compuestos volátiles y de color, evitando la adquisición de olores extraños
- d) La protección del daño físico al producto causado por impacto mecánico, presión, vibraciones y otros factores mecánicos
- e) Actuar como portador de ingredientes funcionales y aditivos alimentarios como agentes antimicrobianos y antioxidantes, nutraceuticos, colorantes y saborizantes. Esto con la finalidad de reducir las cargas microbianas, retrasar la oxidación y la decoloración mejorando la seguridad y los atributos nutricionales y sensoriales
- f) Proporcionar brillo a los frutos frescos, haciéndolos más atractivos para el consumidor (Eum et al., 2009; Falguera et al., 2011; Lin y Zhao, 2007)

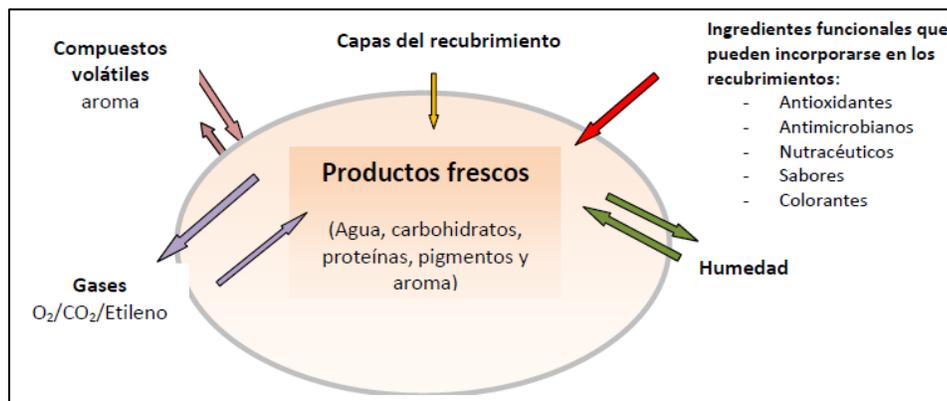


Figura 2.5. Propiedades funcionales de un recubrimiento comestible (Falguera et al., 2011)

2.4.3. Biopolímeros empleados en la elaboración de recubrimientos comestibles

Las soluciones formadoras de recubrimientos comestibles incluyen poliglúcidos, proteínas, compuestos lipídicos o una mezcla de estos, los cuales deben ser inocuos. Su obtención es a través de productos agrícolas, residuos y/o subproductos de la industria de alimentos (Quintero et al., 2010). El origen de cada biopolímero influye en las características y funcionalidad del recubrimiento resultante (Ruelas-Chacón et al., 2013).

2.4.3.1. Poliglúcidos

Los poliglúcidos derivados de la celulosa, pectinas, derivados de almidón, alginatos, carrageninas y quitosana son capaces de constituir una matriz estructural permitiendo obtener recubrimientos comestibles transparentes y homogéneos con una eficiente barrera frente al intercambio de gases. Sin embargo, dada su solubilidad en agua, presentan una reducida protección a la pérdida de humedad y a las propiedades mecánicas moderadas (Eum et al., 2009).

2.4.3.2. Proteínas

A diferencia de los poliglúcidos, las proteínas forman recubrimientos con barreras más débiles al vapor de agua por su naturaleza hidrofílica (Pérez-Gago y Krochta, 2002). Presentan buenas propiedades de barrera al oxígeno, permitiendo controlar el intercambio de gases entre el fruto y el ambiente. También presentan propiedades mecánicas que son favorables para recubrir alimentos en función de su masa molecular, sus propiedades eléctricas y de su estabilidad térmica (Lin y Zhao, 2007).

2.4.3.3. Lípidos

Los lípidos ofrecen una buena barrera de humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, además, mejoran el brillo, los protegen contra la oxidación y crecimiento microbiano. Sin embargo, su naturaleza no polimérica, limita su capacidad para formar recubrimientos cohesivos. No obstante, la incorporación de poliglúcidos permite obtener recubrimientos con mejor resistencia mecánica y características de barrera (Campos et al., 2011). Por mencionar algunos; la cera de abeja, de candelilla y de carnauba, resinas, monoglicéridos, diglicéridos y ácidos grasos como el ácido esteárico, palmítico, láurico y oleico, etc. (Fernández et al., 2015).

2.4.4. Aditivos incorporados en los recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles son vehículos de ingredientes funcionales y aditivos alimentarios que además de mejorar las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento en sí, proporcionan funciones específicas que optimizan la estabilidad, seguridad y la calidad sensorial y comercial de los productos

hortofrutícolas. Estos aditivos deben ser de grado alimenticio o compuestos *GRAS* (Falguera et al., 2011; Fernández et al., 2017; Rojas-Graü, et al., 2009; Valencia-Chamorro y Torres-Morales, 2016) entre los que destacan los siguientes:

- **Plastificantes.** Proporcionan al recubrimiento un buen comportamiento mecánico. Se adicionan cuando se usan poliglúcidos o proteínas como matriz. El glicerol, sorbitol y polietilenglicol son los más empleados
- **Emulsificantes.** Se utilizan para reducir la tensión superficial entre una fase acuosa y una oleosa. Son esenciales para la formulación de recubrimientos a base de compuestos lipídicos. La lecitina es el más empleado
- **Antimicrobianos.** Permiten reducir el crecimiento de microorganismos patógenos en productos frescos y cortados. Por ejemplo: los ácidos orgánicos (acético, benzoico, láctico, sórbico), ésteres de ácidos grasos (monolaurato de glicerilo), polipéptidos (lisozima, peroxidasa, lactoferrina, nisina), aceites esenciales (canela, orégano, naranja), nitritos y sulfitos, etc.
- **Antioxidantes.** Son empleados para evitar el pardeamiento enzimático de la fruta debido a la reducción de las o-quinonas generadas por acción de la enzima polifenoloxidasas. El ácido ascórbico y el α -tocoferol son los compuestos más empleados
- **Nutracéuticos.** Se añaden para mejorar el valor nutricional, tales como la adición de α -tocoferol, ácido ascórbico y minerales como el calcio
- **Saborizantes y colorantes.** Mejoran las propiedades sensoriales de los productos hortofrutícolas recubiertos

2.5. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son líquidos oleosos volátiles extraídos de las plantas (semillas, flores, raíces, hojas y frutos) por algún método físico como la destilación al vapor (Ríos, 2016). Se componen de un 85-99% de compuestos volátiles, principalmente terpenos como los monoterpenos y sesquiterpenos, y sus derivados oxigenados como aldehídos, alcoholes, ésteres y compuestos fenólicos, los cuales son los responsables del aroma característico de los aceites esenciales (Ramos-García et al., 2010; Torres-Alvarez et al., 2017). Se utilizan en una amplia variedad

de productos alimenticios por su uso generalizado como saborizantes y por su actividad antimicrobiana y antioxidante (López-Reyes et al., 2013). El mecanismo de acción se asocia a su hidrofobicidad, lo que permite que los compuestos activos se incorporen a los lípidos de la membrana bacteriana alterando su estructura interna y permeabilidad, dando lugar a la fuga de iones y otros compuestos. La aplicación de agentes antimicrobianos directamente sobre la superficie de los alimentos tiene beneficios limitados porque las sustancias activas se neutralizan rápidamente o se difunden desde la superficie al producto alimenticio, lo que limita su efecto. Sin embargo, incorporados en los recubrimientos proporcionan mayores efectos inhibidores contra el deterioro al mantener concentraciones efectivas de los compuestos activos en la superficie de los frutos (Bosquez-Molina y Zavaleta-Avejar, 2016).

2.5.1. Aceite esencial de naranja

El aceite esencial de naranja se encuentra en sacos de forma ovalada en el flavedo o en la porción anaranjada de la cáscara y actúa como una barrera tóxica natural para microorganismos e insectos (Cerón-Salazar y Cardona-Alzate, 2010). Los componentes volátiles que se encuentran en mayor proporción en las naranjas son terpenos: el limoneno, el α -pineno y el linalol, y derivados oxigenados tales como alcoholes, aldehídos, cetonas y ésteres (Franco-Vega et al., 2016). La actividad antimicrobiana se atribuye principalmente a los terpenos, ya que son capaces de inhibir a bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella spp* además de hongos del género *Aspergillus* y *Penicillium*. Por otro lado, la actividad antioxidante se atribuye a la presencia de compuestos fenólicos como los flavonoides ya que tienen la capacidad de capturar radicales libres y crear complejos con los iones metálicos (Velázquez-Núñez et al., 2013).

2.6. Mezcla de quitina-quitosana

La quitina es un poliglúcido lineal que contiene unidades repetidas de N-acetil-D-glucosamina unidos por enlaces β -1,4 (Baduí-Dergal, 2006; Fernández et al., 2015) (Figura 2.6). Las aplicaciones de la quitina son limitadas a campos especializados

debido a su baja reactividad química y baja solubilidad lo que hace que su purificación y procesamiento sean difíciles. Por lo tanto, la mayor parte de la quitina que se extrae se emplea para la obtención de quitosana mediante un proceso químico de desacetilación (Barros et al., 2015; Lizardi-Mendoza et al., 2016; Nakamatsu, 2012).

La quitosana es un poliglúcido más versátil por su solubilidad y mayor reactividad química lo que facilita su procesamiento y lo convierte en un compuesto con una amplia variedad de aplicaciones, esto en función del grado de acetilación y su masa molecular. Estructuralmente, es un polímero lineal formado por unidades de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina unidos por enlaces β -1,4. A diferencia de la quitina, este polímero contiene un mayor número de grupos amino libres que influyen en diversas propiedades funcionales debido a que son ionizables (Bosquez-Molina y Zavaleta-Avejar, 2016) (Figura 2.7).

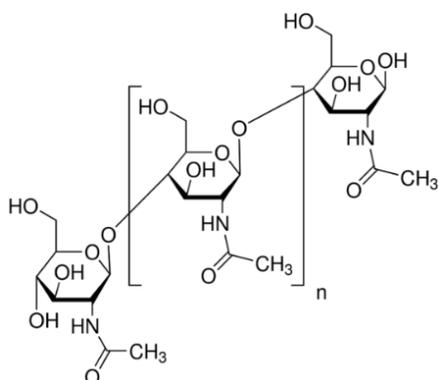


Figura 2.6. Estructura química de la quitina (Sigma-Aldrich, 2024a)

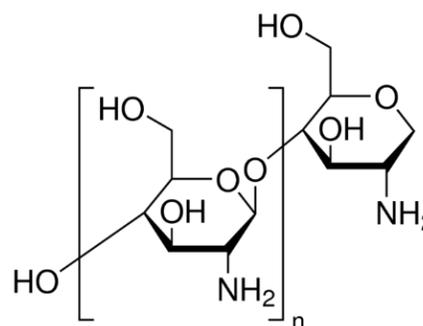


Figura 2.7. Estructura química de la quitosana (Sigma-Aldrich, 2024b)

2.6.1. Fuentes

La quitina es extraída de exoesqueletos de crustáceos (cangrejos, camarones, langostas, langostinos y krill), paredes celulares de hongos y algas. En su estado natural, la quitina está asociada con proteínas, minerales (principalmente carbonato de calcio), pigmentos y grasa en mínimas cantidades. Para fines de este estudio, se emplearon cefalotórax y exoesqueletos de camarón como fuente para la

extracción de quitina. El cefalotórax corresponde al 45% del cuerpo entero del camarón, cuya composición es aproximadamente 14 a 35% de quitina asociada con 44.7% de proteína, 26.3% de ceniza, 20.7% de fibra cruda, 5.2% de grasa y 3.1% de otros hidratos de carbono (Catzin, 2009; Flores, 2008; Sierra et al., 2013).

2.6.2. Usos de la quitosana

La quitosana es un polímero biodegradable, biocompatible, no tóxico ni alergénico, y con actividad antimicrobiana. Estas propiedades, sumadas a su fácil disolución, facilitan su procesamiento y lo hacen un biomaterial adecuado para su aplicación en medicina, en agricultura, en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria, así como en el tratamiento de agua residual (Figura 2.8).

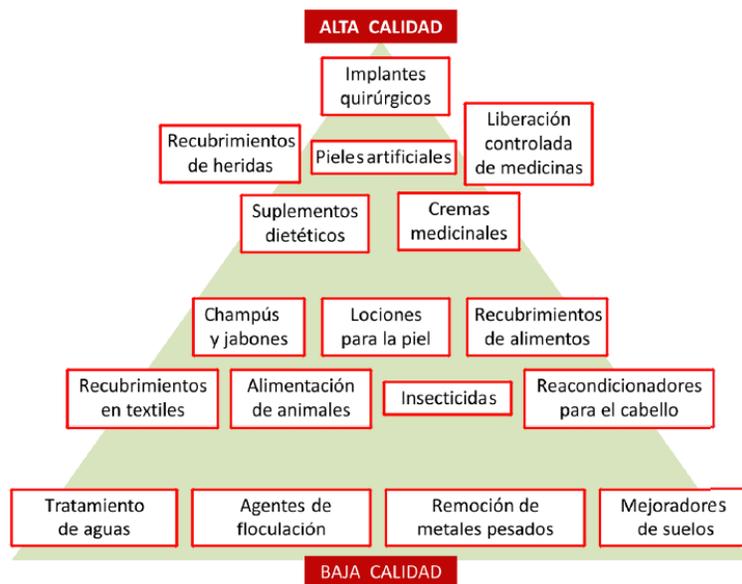


Figura 2.8. Aplicaciones de la quitosana (Nakamatsu, 2012)

La mezcla de quitina y quitosana extraída de los crustáceos, debido a los beneficios que ofrecen a la industria alimentaria, se emplea como a) agente de viscosidad, b) formación de emulsiones, geles y espumas c) clarificador de jugos, d) inhibidor del crecimiento microbiano, e) para estabilizar propiedades como consistencia, color y actividad vitamínica, f) para reforzar la acción de materias primas auxiliares como espesantes, conservantes, componentes albuminosos y g) en la elaboración de

recubrimientos comestibles, entre otros (Lárez-Velásquez, 2008; Nakamatsu, 2012).

2.6.2.1. Aprovechamiento de residuos acuícolas para la obtención de recubrimientos de Q-Qn mediante una metodología de química verde

Actualmente, debido a la menor disponibilidad de recursos naturales y la gran cantidad de desechos generados, se buscan metodologías con una perspectiva ambiental que permitan el aprovechamiento de residuos y subproductos para obtener productos eficaces para diversas industrias. La actividad industrial de procesado de productos de mar, particularmente los crustáceos y los moluscos, generan una gran cantidad de residuos que representan un problema ambiental como consecuencia de su lenta descomposición y contenido de materia orgánica. A partir de estos residuos, es posible la extracción de quitina y quitosana convirtiéndose en una alternativa de solución para el problema ambiental al ser sustentable para diversas aplicaciones en la industria de alimentos (Sierra et al., 2013).

La obtención de quitina y quitosana a partir de residuos de crustáceos se realiza por etapas que incluyen la preparación de la muestra como: Desproteínización, desmineralización y desacetilación. Para la etapa de desproteínización se reporta el uso de disoluciones de hidróxido de sodio entre 3 y 4% a temperaturas entre los 70 y 95°C a fin de remover las proteínas existentes y retirar las grasas por saponificación. La etapa de desmineralización consiste en un tratamiento en medio ácido empleando ácido clorhídrico entre 0.5 y 2.0 N a temperatura ambiente para la remoción del carbonato de calcio. Esta etapa es crítica, ya que el medio ácido degrada las cadenas de quitina y da lugar a una reducción de la masa molecular. Finalmente, la extracción de la quitosana es mediante el tratamiento de la quitina con una disolución de hidróxido de sodio o potasio a concentraciones mayores al 30% y a altas temperaturas, para que ocurra la hidrólisis del enlace N-acetil de la quitina. Aún bajo estas condiciones, la desacetilación no suele ser completa obteniéndose quitosana con grados de desacetilación entre un 70 y 90%

(Nakamatsu, 2012; Sierra, et al., 2013). Sin embargo, la extracción de la quitosana puede realizarse mediante una metodología ecológica en donde se trata a la quitina con un disolvente patentado, denominado MAC-141©, ya que se elabora con metanol, agua y cloruro de calcio en una relación molar 1:4:1, respectivamente, y es el disolvente adecuado para solubilizar la quitina teniéndose la ventaja de poder ser recuperado después de haberse utilizado, reduciendo la generación de residuos y sin presentar un efecto negativo sobre la masa molecular, ni el grado de acetilación de las moléculas de quitina (Flores-Ortega, 2008).

2.7. Ceras

Las ceras son ésteres de un alcohol monohidroxilado de cadena larga con un ácido graso (Baduí-Dergal, 2006). Las ceras más empleadas en la industria de alimentos son la cera de carnauba y la de candelilla.

2.7.1. Cera de candelilla

Proviene de la planta *Euphorbia antisyphilitica* Zucc, especie endémica de las regiones semiáridas de la frontera entre México y Estados Unidos. Es de estructura indefinida, su dureza es de un grado intermedio entre la cera de carnauba y la de abeja, y posee un color amarillo cuando es refinada (Oregel-Zamudio et al., 2016). Esta cera es procesada para la fabricación de cosméticos, velas, crayones, tintas, lubricantes, adhesivos y aislantes (Ascacio-Valdés et al., 2010). Su empleo en alimentos no tiene limitaciones más allá de las buenas prácticas de manufactura ya que es una sustancia generalmente reconocida como segura (*GRAS*). Se aplica comúnmente en productos de confitería y en la elaboración de recubrimientos comestibles aplicados en productos hortofrutícolas por su alta permeabilidad, permitiendo que los productos recubiertos tengan adecuados niveles internos de O₂ y de CO₂ (De-León et al., 2018; Saucedo-Pompa et al., 2009).

2.7.2. Cera de carnauba

Se obtiene de las hojas de la palma *Copernicia prunifera*. La cera de carnauba se destaca por sus propiedades de brillo y dureza que les confiere a los productos

recubiertos, y por poseer una alta resistencia al desgaste. Se utiliza en alimentos como agente de recubrimientos en confitería, agente antiaglomerante, agente desmoldante y su empleo no tiene limitaciones más que las buenas prácticas de fabricación al ser una sustancia generalmente reconocida como segura (GRAS) (CFR, 2023).

2.8. Manzana ‘Golden Delicious’ como centro de estudio de esta investigación

Para evaluar los recubrimientos elaborados con base en ceras y poliglúcido de Q-Qn ya sea con o sin la adición de un aceite esencial de naranja, se emplearon manzanas de la variedad ‘Golden Delicious’.

2.8.1. Aspectos generales de las manzanas (*Malus domestica*)

La manzana es un fruto de estructura firme y carnosa, derivado del receptáculo de la flor. Difiere en cuanto a color, tamaño y sabor según la variedad (Figura 2.9).



Figura 2.9. Manzana (*Malus domestica*) (SADER, 2021)

La manzana (*Malus domestica*) es una fruta climatérica que se cultiva comercialmente en regiones templadas del mundo. De acuerdo con la NMX-FF-061-SCFI-2003 (SE, 2003) se entiende por manzana al fruto perteneciente a la familia *Rosaceae*, subfamilia *Pomaideae*, género y especie *Malus domestica* de forma, tamaño, color y sabor característicos de acuerdo con la variedad de proveniencia. En México, la manzana en estado fresco destinada a la comercialización y consumo humano, en función de sus especificaciones, se clasifica en tres grados de calidad en orden descendente: México Extra, México 1 y México 2 donde, como requisito mínimo para las categorías indicadas, las manzanas deberán ser y/o estar:

- a) De una sola variedad
- b) Enteras, de consistencia firme y aspecto fresco
- c) Sanas y sin indicios de podredumbre o deterioro, y de daños por plagas
- d) Exentas de coloración café en la pulpa y daño por congelamiento
- e) Libre de daños por frío
- f) Sin magulladuras pronunciadas
- g) Limpias y prácticamente exentas de materia extraña visible
- h) Exentas de humedad anormal, cualquier olor y/o sabor extraño

Con base en el tamaño, las manzanas se clasifican comercialmente en función de su diámetro ecuatorial como se aprecia en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Clasificación comercial de manzanas por tamaño (SE, 2003)

Designación comercial	Diámetro ecuatorial mínimo requerido	
	(cm)	(in)
Extra	7.2	2 13/16
Primera	6.6	2 9/16
Segunda	6.2	2 7/16
Tercera	5.6	2 3/16
Canica	Menor de 4.0	Menor de 1 9/16

Con respecto de las variedades comerciales de las manzanas se dividen en cuatro grupos de acuerdo con su coloración:

- I. Rojas: ‘Red Delicious’
- II. Bicoloreadas o parcialmente rojas: ‘Fuji’, ‘Gala’
- III. Amarillas chapeadas o ligeramente coloreadas: ‘Golden supreme’
- IV. Amarillas y/o verdes: ‘Golden Delicious’, ‘Granny Smith’, ‘Early Gold’

Este fruto pomáceo es resistente al frío y no necesita una exposición elevada al calor y a la luz para su maduración. La temperatura óptima para su desarrollo es de -10 a 10°C durante el invierno y de 15 a 30°C durante el verano. Su cosecha se lleva a cabo entre los meses de agosto a octubre (SADER, 2021). Las condiciones convencionales para su almacenamiento en atmósfera controlada son 1-3% O₂ y 3-5% CO₂ a una temperatura entre -0.5 a 4°C (Thewes et al., 2017).

2.8.2. Composición química de la manzana

La manzana se compone de un 84.7% de agua, 0.3% de proteína, 0.1% de lípidos, 12.6% de carbohidratos totales y un 2.3% de fibra dietética. La mayor parte de sus glúcidos corresponden a fructosa (5.85%) y en menor proporción a glucosa (2.95%) y sacarosa (2.51%). Es una fuente discreta de vitamina C (6-12 mg/100 g) y entre su contenido mineral sobresale el potasio (aproximadamente 120 mg/100g). Contiene fitoquímicos, entre ellos, flavonoides como la quercetina con propiedades antioxidantes (Baduí-Dergal, 2006).

2.8.3. Industrialización de la manzana

Aproximadamente, el 75% de la manzana que se cosecha se destina para el consumo en fresco. El 30% restante se destina para uso industrial, específicamente del sector alimentario para la extracción de ácido málico, producción de jugos y néctares concentrados, refrescos, yogurt, vinagre, licores y en forma deshidratada para su consumo directo (Gul et al., 2018; Watkins y Mattheis, 2019).

2.8.4. Importancia de la manzana a nivel internacional

La manzana es una de las principales frutas producidas en el mundo. El continente asiático concentra la mayor producción de manzanas y la mayor área cultivada del mundo, donde China es el mayor productor, seguida de Europa, América del Norte, América del Sur, África y Australia (Figura 2.10) (FAOSTAT, 2022).

2.8.5. Importancia de la manzana a nivel nacional

En México, la manzana es una de las frutas más importantes por su producción (18° en el ranking mundial en 2020) y su consumo (7.6 kg *per capita* en 2020). En cuanto a las variedades, 'Golden Delicious' es la que más se produce con aproximadamente 375,055.00 toneladas anuales que representan un 52.3% de la producción nacional. De 2011 a 2020, la tendencia de la producción es a la alza; en 2020, México produjo 714,000.00 toneladas con un valor de 6,506.00 millones de pesos en una superficie cosechada de 60,000.00 hectáreas; Chihuahua aportó

85.6% del volumen nacional recolectado, seguido por Coahuila y Puebla con 6.7% y 2.4%, respectivamente (SIAP, 2021) (Figura 2.11).

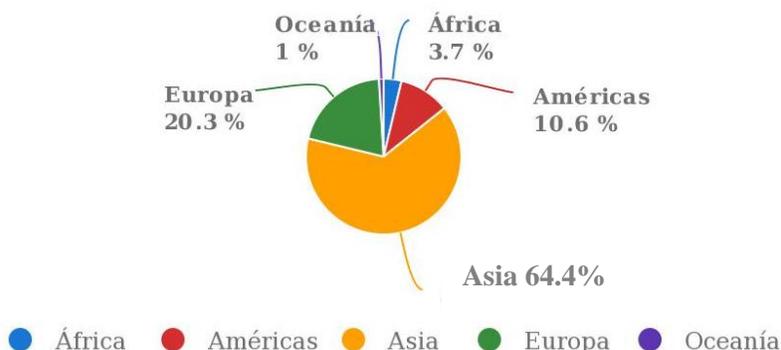


Figura 2.10. Proporción de producción de Manzanas por región (FAOSTAT, 2022)

Actualmente, la producción de manzana solamente cubre el 77.26% del consumo nacional, importándose el producto principalmente de Estados Unidos (97.82% del total de las importaciones, principalmente, de la variedad *Washington*) y Chile. El 0.12% del volumen de producción de manzanas mexicanas se canaliza al mercado exterior para su exportación, donde Belice es el cliente principal, seguido de Estados Unidos, Argentina, Chile y Nicaragua (SIAP, 2021).



Figura 2.11. Producción de manzana (toneladas) en 2020 (Tomado y modificado de SIAP, 2021)

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología experimental empleada en el transcurso de esta investigación.

En la Figura 3a se señala la primera etapa de la investigación; la cual tuvo como objetivo obtener: a) El material en polvo de cefalotórax y exoesqueletos de camarón 2) La fracción parcialmente desproteínizada (CPD) empleando para ello, el disolvente MAC-141© con el objeto de realizar la extracción sólido-líquido de la mezcla de quitina-quitosana (Q-Qn) y 3) Realizar el acondicionamiento de la mezcla anterior para obtener la solución formadora del recubrimiento experimental.

Adicionalmente durante esta etapa, se formularon las soluciones de los recubrimientos de comparación: La cera de candelilla, la cera de carnauba y un recubrimiento control obtenido de quitosana comercial de la marca Sigma-Aldrich® al 2%. Con esto, fueron recubiertos los 4 grupos de manzanas de la variedad 'Golden Delicious' mediante la técnica de cepillado y un grupo de manzanas sin recubrir.

Finalmente, y como un complemento a la investigación, se formuló un recubrimiento adicionando un aceite esencial de naranja al biopolímero de quitina-quitosana el cual fue denominado Q-Qn-AEN con el objetivo de evaluar si se presentaba alguna sinergia entre ambos.

En la Figura 3b se señala la segunda etapa de la investigación, la cual fue encaminada hacia la realización de la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' con y sin recubrimiento. El estudio se realizó mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos a cada muestra de los diferentes seis grupos manejados: 1) quitina-quitosana (Q-Qn), 2) quitina-quitosana adicionan un aceite esencial de naranja (Q-Qn-AEN), 3) quitosana comercial Sigma Aldrich® empleada al 2% (Qn-SA 2%), 4) cera de candelilla, 5) cera de carnauba, con 6) el grupo control o blanco. Todas las manzanas recubiertas estuvieron sometidas a las temperaturas

de 4, 25 y 35°C. Las metodologías empleadas en la evaluación de los parámetros fisicoquímicos fueron las establecidas por la AOAC y la normativa mexicana vigente los cuales se especifican en el apartado 3.2.

Finalmente, en la Figura 3c se presenta la etapa final de la investigación: la realización de la evaluación sensorial. Esta evaluación consistió en la elaboración de mermeladas empleando los diferentes grupos de frutas recubiertas y sin recubrir para ser analizadas empleando 100 jueces no entrenados mediante la aplicación de pruebas afectivas.

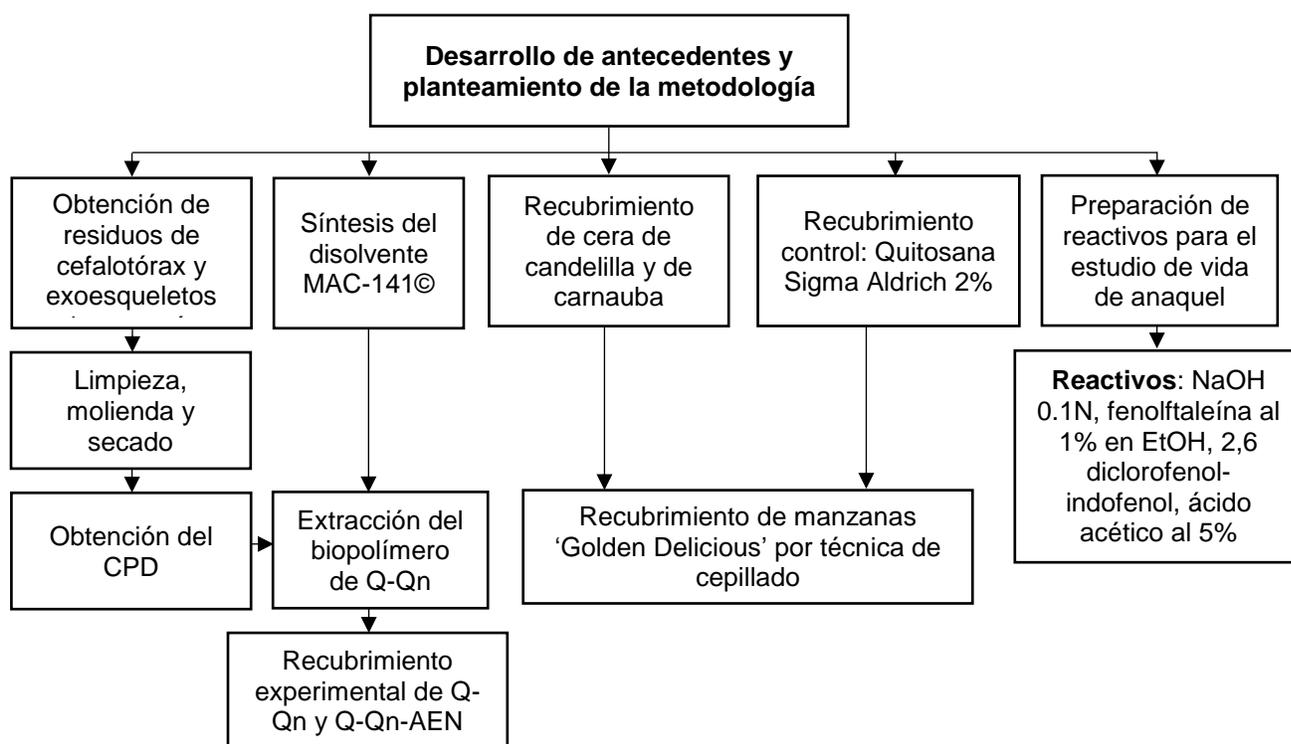


Figura 3a. Desarrollo experimental de la primera etapa de la investigación

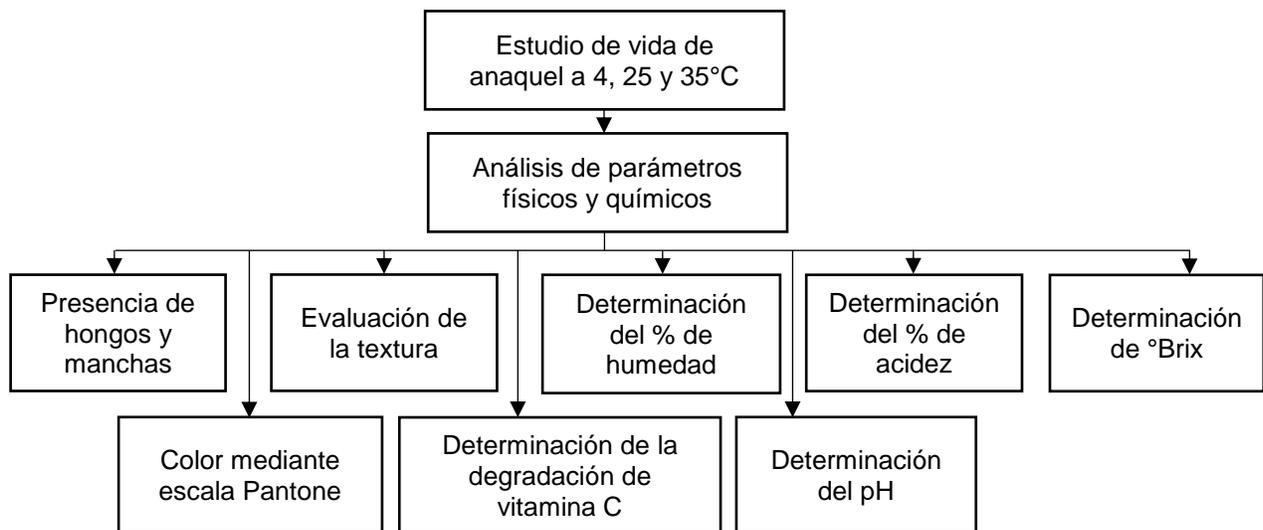


Figura 3b. Desarrollo experimental de la segunda etapa de la investigación

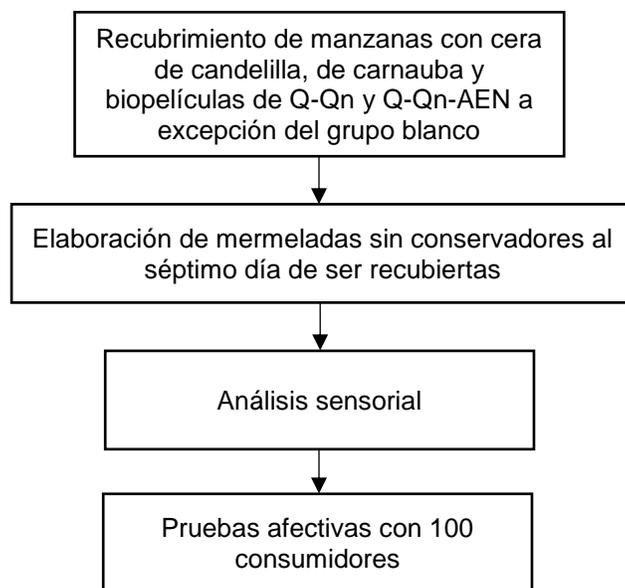


Figura 3c. Desarrollo experimental de la tercera etapa de la investigación

3.1. Primera etapa

3.1.1. Obtención y limpieza de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón

Los residuos de cefalotórax y exoesqueletos de camarón fueron adquiridos en la zona de pescados y mariscos de la Nueva Viga de la Central de Abastos en la Ciudad de México. Posteriormente se transportaron en condiciones de baja temperatura a los Laboratorios 301-302-303 de Ingeniería Química Ambiental y de

Química Ambiental (LIQAyQA) del Edificio E-3 Alimentos y Química Ambiental del Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM, donde se procedió a su limpieza de acuerdo con la técnica señalada por Sarabia-Bañuelos (2011). Los residuos de cefalotórax y exoesqueletos de camarón fueron colocados bajo el chorro de agua con el propósito de remover impurezas y materia extraña.

3.1.2. Proceso de obtención del CPD

La obtención de la materia seca de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado (CPD) se realizó mediante un proceso de acondicionamiento de la materia prima seca y sin impurezas de acuerdo con la técnica establecida por Flores-Ortega (2008) y adaptada por Sarabia-Bañuelos (2011), la cual consta de los siguientes pasos:

- 1) **Molienda.** La molienda del cefalotórax con agua se realizó en una licuadora doméstica de la marca *Osterizer*, en una relación 1:2 en masa, durante 30 segundos a máxima potencia. En esta parte del proceso, un mayor porcentaje de las proteínas, grasas, pigmentos y parte de los minerales fueron eliminados cuando se licuó el cefalotórax y exoesqueleto de camarón con agua obteniéndose subproductos parcialmente desproteínizados (Flores-Ortega, 2008)
- 2) **Filtración.** La filtración del producto obtenido en el paso anterior se realizó a través de un tamiz del No. 18 (1 mm de abertura) para separar la parte líquida. El CPD húmedo retenido en el tamiz se recogió para repetir el proceso de molienda y filtración
- 3) **Secado.** El CPD húmedo derivado del paso anterior se colocó en charolas recubiertas con aluminio y se sometió a un proceso de secado en un horno de convección a 60°C durante 18 horas para obtener el CPD seco
- 4) **Tamizado.** La separación del CPD seco se realizó en un tamiz del No. 80 para obtener un tamaño de partícula menor a 0.18 mm. El producto final se resguardó en un envase hermético y fue almacenado en una cámara de frío hasta su posterior uso

3.1.3 Obtención de las frutas empleadas en la investigación

Las manzanas de la variedad 'Golden Delicious' empleadas en el estudio de vida de anaquel, se obtuvieron en la Central de Abastos de la Ciudad de México con un estado de maduración comercial procurando que fueran de color y tamaño uniforme y con ausencia de daño cutáneo. Las manzanas fueron adquiridas el mismo día de la aplicación con los recubrimientos y transportadas a los Laboratorios 301 al 303 del LIQAYQA donde se procedió a realizar su limpieza y remoción de materia extraña. Finalmente, fueron clasificadas en grupos aleatorios con la finalidad de que al momento de su análisis no hubiera algún tipo de sesgo estadístico.

3.1.4. Elaboración del disolvente MAC-141©

La síntesis del disolvente MAC-141© se realizó con base en la metodología descrita por Flores-Ortega (2008) y modificada por Ortega-Granados (2011). La mezcla de metanol, agua y cloruro de calcio en una relación molar 1:4:1 se empleó para la extracción de la mezcla de quitina-quitosana a partir del CPD obtenido. Esto se fundamenta en que el sistema MAC rompe los puentes de hidrógeno de la quitina y forma un complejo quitina-sal de calcio soluble. Por su parte, las moléculas de metanol son capaces de redirigir las zonas hidrofóbicas del poliglúcido lejos del disolvente, es decir, cambian la estructura cristalina de la quitina (Flores-Ortega, 2008). En la Tabla 3.1 se presentan las cantidades que fueron empleadas para la síntesis del disolvente.

Tabla 3.1. Cantidades empleadas para la elaboración del disolvente MAC-141© (Flores-Ortega, 2008)

Compuesto MAC	Masa (g) o volumen (mL)
Metanol	99 mL
Agua	180 mL
Cloruro de calcio	277.5 g

Para evitar la volatilización del metanol, inicialmente se solubilizó el cloruro de calcio con agua destilada en un matraz de bola dentro de un baño de hielo ya que es una reacción exotérmica. Una vez que la temperatura de la mezcla descendió entre 45-

50°C se adicionó el metanol y se montó el equipo de reflujo para mantener la mezcla de reacción en agitación durante 8 h a 60°C como se observa en la Figura 3.1.

3.1.5. Extracción del biopolímero de quitina-quitosa

La extracción sólido líquido de la mezcla de Q-Qn se realizó a partir de la materia pulverizada de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizada (CPD) con el disolvente MAC-141© de acuerdo con la metodología señalada por Sarabia-Bañuelos (2011) y modificada por Enríquez-Estrada y Nava-Arévalo (2016).

En otros estudios sobre los recubrimientos de quitina quitosa Juárez-Cruz (2019) y De-la-Cruz-Guerra (2019) evaluaron una proporción 1:50; sin embargo, para fines prácticos y con el objeto de evaluar la efectividad del recubrimiento en diferentes proporciones, se decidió evaluar la proporción 1:10 (m/m). Esta mezcla se mantuvo en reposo durante 48 h y posteriormente se filtró mediante un equipo de filtración al vacío conformado por un embudo Büchner y un matraz Kitasato. El filtrado se colocó en 3 recipientes de vidrio y fue almacenado durante 48 h en un desecador al cual se le sustituyó la sílice por agua para una completa solubilización del calcio presente en la solución formadora del recubrimiento (Figura 3.2). Transcurrido este tiempo, se almacenó en una cámara de frío hasta su uso posterior.



Figura 3.1. Equipo de reflujo para la elaboración del disolvente MAC-141©



Figura 3.2. Almacenamiento de la mezcla Q-Qn en una cámara de humidificación

3.1.6. Elaboración del recubrimiento de quitosana Sigma-Aldrich® al 2%

Para contar con una referencia del recubrimiento experimental de Q-Qn, se elaboró un recubrimiento control a partir de quitosana comercial de la marca Sigma-Aldrich® al 2% en agua acidulada con ácido ascórbico al 2% (m/v). La selección del disolvente y soluto se realizó con base en lo señalado por Ortega-Granados (2011) y descrito por Enríquez-Estrada y Nava-Arévalo (2016). Esta disolución se mantuvo en agitación constante durante 4 horas y sin calentamiento. El recubrimiento control se resguardó en una cámara de frío hasta proceder a su aplicación en los frutos.

3.1.7. Formulación de las ceras de carnauba y de candelilla

Para esta parte se evaluaron cuatro formulaciones de cera de candelilla y cuatro formulaciones de cera de carnauba que han sido utilizadas sobre frutos en estudios previos los cuales se muestran en la Tabla 3.2 (Oregel-Zamudio et al., 2016). Las proporciones de cera fueron aplicables tanto para la cera de candelilla como para la de carnauba. Esto con el objeto de seleccionar la formulación idónea para su aplicación en las manzanas 'Golden Delicious'. La elaboración de los recubrimientos a base de ceras requirió la adición de otros aditivos según lo estipulado en cada formulación. La goma guar se añadió para mejorar la función de barrera contra la humedad junto con las ceras mientras que el glicerol se añadió para mejorar las propiedades mecánicas de los recubrimientos y así evitar que sea quebradizo durante su aplicación (Campos et al., 2011).

Tabla 3.2. Formulaciones evaluadas para la elaboración de recubrimientos a base de ceras (Oregel-Zamudio et al., 2016)

Formulación	Goma guar (%)	Cera (%)	Glicerol (%)	Agua (%)
Formulación 1	0.8	0.2	0.3	98.7
Formulación 2	1.2	0.2	0.2	98.4
Formulación 3	0.8	0.4	0.2	98.6
Formulación 4	1.2	0.4	0.3	98.1

Las formulaciones de cera de candelilla se elaboraron con base en la metodología descrita por Oregel-Zamudio et al. (2016) con algunas modificaciones. La técnica

consistió en una homogeneización continua para formar una emulsión estable; cada diez minutos se adicionó un componente en agua a 80°C y se homogeneizó en una licuadora doméstica marca *Hamilton Beach* a máxima velocidad (Figura 3.3). El orden de adición de los componentes fue goma guar, cera de candelilla y glicerol. Finalmente, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente (Figura 3.4). Para el caso de la formulación de cera de carnauba, se adoptó la misma metodología modificando la temperatura del agua a 85°C.

La selección de la formulación idónea de cera de candelilla y de carnauba se basó en sus propiedades sensoriales (color, textura, cantidad de partículas de cera no dispersas), su facilidad de aplicación y el tiempo de secado. Con base en la evaluación de estos parámetros, se seleccionó la formulación 3 para elaborar la cera de carnauba y la formulación 4 para la cera de candelilla.



Figura 3.3. Licuadora marca Hamilton Beach de 10 velocidades



Figura 3.4. Formulaciones de cera de candelilla

3.1.8. Recubrimiento de quitina-quitosana y aceite esencial de naranja

Como complemento a la presente investigación, se formuló un recubrimiento de quitina-quitosana con la adición de aceite esencial de naranja. La elaboración de

este recubrimiento se realizó con base en la metodología propuesta por Rico et al. (2012) pero con algunas modificaciones. La técnica consistió en disolver el biopolímero de quitina quitosana con aceite esencial de naranja y Tween 20® como emulsificante de acuerdo con los volúmenes presentados en la Tabla 3.3. La mezcla se centrifugó durante 20 minutos a 3600 rpm a 4°C. Trascurrido el tiempo, la mezcla se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Finalmente, el líquido se filtró y se almacenó en una cámara de frío hasta su aplicación sobre las manzanas ‘Golden Delicious’.

Tabla 3.3. Formulación del recubrimiento de Q-Qn-AEN (Rico et al., 2012)

Compuesto	Volumen (mL)
Biopolímero de Quitina-Quitosana	100
Aceite esencial de naranja	2
Tween 20®	1

3.1.9. Aplicación de los recubrimientos

La aplicación de cada recubrimiento se realizó mediante la técnica de cepillado formando una capa delgada; esta técnica tiene la ventaja de emplear una menor cantidad de la solución formadora del recubrimiento a diferencia de la técnica por inmersión (Ortega-Granados, 2011). Así mismo se preparó un grupo de manzanas sin recubrir (Figura 3.5 y 3.6).



Figura 3.5. Aplicación de los recubrimientos por el método de cepillado



Figura 3.6. Manzanas de la variedad ‘Golden Delicious’ recubiertas

3.2. Segunda etapa

3.2.1. Estudio de vida de anaquel

Para determinar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas y sin recubrir, se observaron y se evaluaron los efectos ocasionados por el almacenamiento bajo distintas condiciones de temperatura: Óptima, típica y adversa.

Los parámetros físicos y químicos evaluados fueron: a) Cambio de la coloración, b) Cambio de textura, c) Presencia de manchas y hongos, d) Grados Brix, e) Valor de pH, f) % acidez titulable, g) Contenido de vitamina C y f) % de humedad.

Las determinaciones se realizaron al inicio del periodo de almacenamiento (día cero) y posteriormente cada tercer día por triplicado para validar el estudio. Cada grupo de manzanas se almacenó a tres temperaturas: 4°C en un refrigerador doméstico marca *Acros* (Figura 3.7), 25°C en charolas recubiertas con aluminio que se colocaron dentro del laboratorio (Figura 3.8) y a 35°C dentro de una incubadora marca *FELISA* modelo FE42 (Figura 3.9).



Figura 3.7. Refrigerador doméstico para almacenar los frutos a 4°C



Figura 3.8. Charolas con fruto recubierto almacenados a temperatura ambiente



Figura 3.9. Incubadora FELISA modelo FE142, para almacenar los frutos a 35°C

3.2.1.1. Cambio de la coloración

Junto con la textura, el color es uno de los atributos de apariencia que más influye para la aceptación o rechazo de un producto alimenticio. El cambio de coloración se puede evaluar de manera sensorial con el empleo de una referencia o guía de color, o con técnicas instrumentales como el colorímetro triestímulo. En esta investigación, los cambios de coloración de las manzanas se evaluaron mediante una escala impresa Pantone® (Figura 3.10) designando el código de color correspondiente, seguido de un sufijo que indica el tipo de material (C: con recubrimiento, U: sin recubrimiento). Para comparar el color con la guía Pantone®, se colocó una muestra de aproximadamente 5 gramos de manzana sobre una hoja de papel blanca y bajo condiciones adecuadas de luz natural.



Figura 3.10. Escala Pantone® para evaluar el color de las manzanas

3.2.1.2. Cambio de textura

La textura es una propiedad sensorial subjetiva que se puede detectar a través de los sentidos de la vista, el oído y el tacto en conjunto, o mediante métodos instrumentales como el texturómetro. En esta investigación, la textura de las manzanas se evaluó a través del cambio en su firmeza como uno de los principales atributos de las manzanas; la firmeza es un indicador de la composición química y de la estructura, tanto celular como tisular del fruto. La técnica consistió en sujetar el fruto entero y presionar con el dedo índice para asignar el valor de acuerdo con la intensidad, basándose en una escala donde 0 es poco firme y 5 muy firme.

3.2.1.3. Presencia de manchas y hongos

Este parámetro se evaluó de manera visual para detectar la presencia de manchas a causa de la maduración u hongos como signo de descomposición del fruto, los cuales son determinantes para la aceptación del producto por parte del consumidor.

3.2.1.4. Determinación de °Brix

Los grados Brix se midieron con la ayuda de un refractómetro ATAGO-ATC-1 con una escala de 0-90% (Figura C.1 del Anexo C) siguiendo la metodología señalada en la NMX-F-103-NORMEX-2003 (SE, 2003), la cual se describe en el Anexo C.

3.2.1.5. Determinación de pH

El pH se cuantificó con un potenciómetro de la marca Thermo Scientific, modelo Orión 720-A+ (Figura C.2 del Anexo C) tomando como referencia la metodología señalada en la NMX-F-317-NORMEX-2013 (SE, 2013) la cual se describe en el Anexo C.

3.2.1.6. Determinación del % de acidez

La determinación del % de acidez, expresado como ácido málico, se cuantificó mediante un método volumétrico con una titulación ácido-base con hidróxido de sodio al 0.1 N y fenolftaleína como indicador. Este parámetro se evaluó con base

en la metodología que se señala en el inciso del libro de la AOAC 942.15 (AOAC, 2005) y que se describe en el Anexo C.

3.2.1.7. Contenido de vitamina C

La determinación del contenido de ácido ascórbico se cuantificó mediante un método volumétrico con una titulación empleando una solución de 2,6-diclorofenol-indofenol sobre una alícuota de la muestra previamente acondicionada. Este parámetro se evaluó de acuerdo con la metodología señalada en el inciso AOAC 967.21 (AOAC, 1995) y la cual se describe en el Anexo C.

3.2.1.8. Determinación del % de humedad

El contenido de humedad se determinó con una termobalanza marca OHAUS, modelo MB200 (Figura C.4 del Anexo C) siguiendo la metodología propuesta por González et al. (2014) con algunas modificaciones, la cual se describe en el Anexo C.

3.3. Tercera etapa

3.3.1. Elaboración de mermeladas sin conservadores

Durante esta etapa se elaboraron mermeladas sin conservadores como producto comercial a partir de manzanas recubiertas y sin recubrir debido a la facilidad del proceso de elaboración y de evaluación sensorial por parte de los consumidores.

Previo a la elaboración de las mermeladas, se acondicionaron cuatro grupos de cinco manzanas 'Golden Delicious' cada uno. Con excepción del grupo blanco, los demás grupos fueron recubiertos; un grupo con Q-Qn, otro con cera de candelilla y otro con cera de carnauba. Los cuatro grupos permanecieron a temperatura ambiente durante siete días previos a la elaboración de las mermeladas. Trascurrido el periodo de almacenamiento, se efectuó la caracterización de las manzanas de cada grupo con la determinación de pH, °Bx y % de acidez. Esto permitió realizar los balances de materia para calcular la cantidad de ácido cítrico y de pectina de

alto metoxilo a emplearse considerando la composición que se presenta en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Especificaciones del producto terminado

Materia prima	% Formulación
Fruta	55%
Azúcar	45%
Pectina de alto metoxilo	1%
Ácido cítrico	1%

Se elaboraron 500 g de mermelada para cada uno de los grupos (Figura 3.11). El proceso de elaboración de las mermeladas es descrito en el Anexo C.



Figura 3.11. Mermeladas elaboradas con grupos de fruta recubierta y un grupo sin recubrir

3.3.2. Evaluación sensorial

Con el propósito de determinar la existencia de diferencias significativas entre los atributos de color, aroma, textura y sabor de las mermeladas elaboradas con los grupos de fruta recubierta (Q-Qn, cera de candelilla y de carnauba) y sin recubrir, se realizó una evaluación sensorial con jueces no entrenados mediante pruebas de nivel de agrado con una escala hedónica de cinco puntos, y de ordenamiento de acuerdo con su preferencia. Las muestras de mermelada de manzana se presentaron de manera comparativa, donde cada consumidor tuvo la oportunidad de probar una muestra, continuar y regresar al primero, volver a probar el segundo y así sucesivamente siguiendo una aleatorización. Esta presentación tuvo como

propósito permitir al consumidor poder realizar una comparación entre las muestras durante su evaluación. La evaluación sensorial se llevó a cabo en la entrada del Edificio B de la FQ-UNAM con la participación de 100 jueces no entrenados de 21 años de edad en promedio. El cuestionario aplicado a los consumidores se presenta en el Anexo C.

3.3.3. Análisis estadísticos

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos en el estudio de vida de anaquel y en la evaluación sensorial se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de 0.05. Para los resultados obtenidos en el estudio de vida de anaquel, se analizaron mediante una ANDEVA de dos vías donde los factores a evaluar fueron: el tipo de recubrimiento (Q-Qn experimental, Q-Qn-AEN, Qn-SA al 2%, cera de candelilla, cera de carnauba y blanco) y el tiempo de análisis en días para cada parámetro físico y químico evaluado (%H, °Bx, pH, % de acidez, y contenido de vitamina C a las tres diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 25 y 35°C) considerando la media de los valores experimentales obtenidos. Las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante una prueba de diferencias mínimas significativas (DMS). Los resultados de las pruebas afectivas fueron evaluados mediante una ANDEVA de una vía donde el factor evaluado fue cada atributo de las mermeladas (color, aroma, textura y sabor). Por otro lado, la prueba de preferencia y ordenamiento se realizó a través de un análisis de varianza de Friedman.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se expondrán los resultados obtenidos durante la presente investigación los cuales se dividieron en: Estudios de vida de anaquel, cálculo de vida de anaquel y evaluación sensorial.

4.1. Estudio de vida de anaquel

4.1.1. Evaluación del color

En las manzanas de la variedad Golden Delicious, los pigmentos generalmente muestran un viraje del verde al amarillo durante la maduración. El color verde se debe a la presencia de clorofilas que van degradándose para dejar visibles a otros pigmentos que le confieren la coloración amarilla proveniente de las xantofilas, (Lara, 2013). La variación de coloración de las manzanas almacenadas bajo condiciones típicas, óptimas y adversas se muestran en las Tablas A.1 a A.3 del Anexo A. La aplicación de los recubrimientos retardó la pérdida del color verde en ellas durante su almacenamiento, principalmente, a temperatura ambiente y a 35°; por lo tanto, la disminución de la degradación de los pigmentos se ve mejorada por los recubrimientos a temperaturas más elevadas. A 4°C no se tuvo un efecto notable sobre la coloración de las manzanas ya que la temperatura en sí misma es el factor que ralentiza la degradación de los pigmentos por lo que el tipo de recubrimiento, a esta temperatura, no juega un papel relevante.

Los cambios de coloración fueron menormente visibles en las manzanas almacenadas a temperatura ambiente con el recubrimiento experimental de Q-Qn y con las ceras ya que se mantuvo una coloración ligeramente verdosa hasta el día 15, y en el caso específico del recubrimiento con cera de candelilla, hasta el día 18; tiempo en el que los lotes con recubrimientos y sin recubrir ya presentaban una coloración amarilla. Por su parte, a la temperatura de 35°C, al igual que con las ceras, se observó que con la aplicación del recubrimiento experimental de Q-Qn se logró mantener el tono verdoso de las manzanas durante los dieciocho días del estudio.

Por otra parte, la incorporación del aceite esencial de naranja en el recubrimiento de Q-Qn tuvo un mayor beneficio a temperatura ambiente, efecto que se atribuyó a la actividad antioxidante del aceite para inhibir la actividad de las polifenoloxidasas. En cambio, a 35°C, las manzanas recubiertas con el recubrimiento de Q-Qn-AEN presentaron un aumento del índice de pardeamiento a partir del tercer día. Por lo tanto, el aceite pudo ser el componente causal de inducir un efecto negativo ya que al descomponerse se producen peróxidos y la generación de radicales libres que ocasionan un rápido deterioro (Cabrera, 2004).

4.1.2. Evaluación de la textura

En las Tablas A.4 a A.6 del Anexo A se presentan los resultados de la evaluación manual de la firmeza de las manzanas de cada uno de los tratamientos sometidos bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. De manera general, las manzanas seleccionadas presentaron el mismo grado de firmeza, el cual disminuyó en función con el tiempo. Estos cambios se presentaron como consecuencia de la respiración y la transpiración del fruto los cuales provocaron una disminución de su masa y cambios en la apariencia como su arrugamiento, siendo más notorios al aumentar la temperatura y en el tratamiento sin recubrir. Con la aplicación de los recubrimientos evaluados, se logró mantener la firmeza de las manzanas al actuar como una barrera eficiente contra la pérdida de agua y el intercambio gaseoso. A temperatura adversa, las manzanas recubiertas presentaron un cambio en la firmeza después del día doce y quince mientras que a temperatura ambiente se mantuvo durante los dieciocho días del estudio. Por su parte, la adición del aceite esencial resultó perjudicial en la firmeza de las manzanas almacenadas a 35°C ya que a partir del día doce su textura comenzó a ablandarse con mayor rapidez.

4.1.3. Presencia o ausencia física de hongos y pardeamiento enzimático

Durante la maduración post cosecha, la fruta se encuentra propensa al ataque de microorganismos que pueden causar mal olor, daños internos y externos, además de producir micotoxinas. Durante los dieciocho días del estudio de vida de anaquel a 4°C, no se observaron manchas ni el crecimiento de hongos en las manzanas de

todos los tratamientos, resultado atribuible a la disminución de la temperatura de almacenamiento (Figuras 4.1 y 4.2); la probabilidad de crecimiento de hongos en refrigeración resultó mínima ya que su temperatura óptima se encuentra en un intervalo entre 25 y 28°C.



Figura 4.1. Manzana 'Golden Delicious' sin recubrimiento almacenada a 4°C al día 15



Figura 4.2. Manzana 'Golden Delicious' recubierta con cera de carnauba almacenada a 4°C al día 15

En cuanto a la temperatura ambiente como a 4°C en ningún tratamiento se observó el crecimiento de hongos. Se ha reportado que los recubrimientos de quitosana inhiben el crecimiento de hongos como *Penicillium expansum* y *Botrytis cinerea*, causantes de problemas patológicos en las manzanas en la post cosecha (Bautista-Baños et al, 2017; Lin y Zhao, 2007). Esta actividad se ve incrementada por la combinación con aceites esenciales presentando un efecto sinérgico, sin embargo, al no detectarse de manera visual en ningún tratamiento a temperatura ambiente, el tiempo de análisis debió prolongarse para demostrar dicha actividad.

Por su parte, únicamente fue observada la presencia de manchas color marrón en la superficie de las manzanas sin recubrimiento entre el día quince y el dieciocho a 25°C (Figura 4.3) a diferencia de las manzanas recubiertas con los demás tratamientos evaluados (Figura 4.4). En ellas se observaron mayores beneficios debido a que se logró retardar el pardeamiento enzimático y las reacciones metabólicas asociadas con el proceso de maduración.



Figura 4.3. Manzanas 'Golden Delicious' sin recubrir almacenadas a 25°C al día 15 (izquierda) y 18 (derecha)



Figura 4.4. Manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con Q-Qn-AEN (izquierda) y con Q-Qn (derecha) almacenadas a 25°C al día 18

A partir del día doce, a 35°C, las manzanas sin recubrimiento presentaron manchas en diferentes zonas del fruto a diferencia de las manzanas recubiertas, en las cuales, solamente se observó el cambio de coloración ya mencionado (Figuras 4.5 y 4.6). En el día dieciocho, las manzanas sin recubrimientos presentaron una coloración café con una consistencia acuosa en la superficie que afectó la pulpa del fruto. Este resultado fue atribuible a la temperatura ya que se incrementó el ritmo respiratorio debido al incremento sobre la acción catalítica de las enzimas del tejido produciendo el deterioro de su calidad.



Figura 4.5. Manzanas 'Golden Delicious' sin recubrimiento (izq) y recubierta con Q-Qn (der) almacenadas a 35°C al día 12

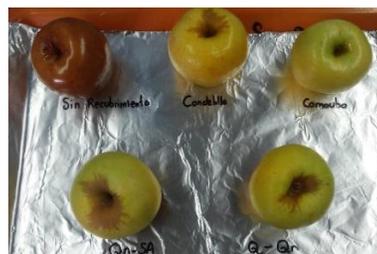


Figura 4.6. Manzanas 'Golden Delicious' almacenadas a 35°C al día 18

Como se mencionó en los apartados 4.1.1 y 4.1.2, la adición del aceite esencial de naranja tuvo un efecto dañino a la temperatura adversa con respecto del recubrimiento de Q-Qn, ya que, a partir del sexto día, las manzanas presentaron decoloración de los tejidos y descomposición temprana (Figura 4.7).



Figura 4.7. Manzanas ‘Golden Delicious’ recubiertas con Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C al día 6 (izquierda), 12 (centro) y 15 (derecha)

4.1.4. Evaluación de grados Brix (°Bx)

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados de °Brix de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento evaluadas.

Tabla 4.1. Resumen de la evaluación de °Bx

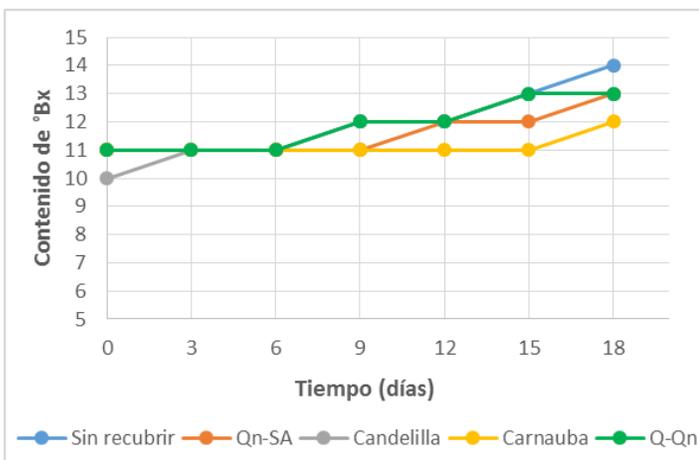
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
Resultados en fruto sin recubrir	Degradación de almidón a partir del día 9	Degradación de almidón a partir del día 3 y constante después del 6	Degradación de almidón a partir del día 3 y constante al 12
Resultados en fruto recubierto	Cera de carnauba retardó la degradación del almidón del fruto	Cera de candelilla tuvo un mejor comportamiento	Se mantiene constante al llegar a 12°Bx
Análisis de varianza al 95%	Hubieron diferencias significativas p=0.01	Hubieron diferencias significativas p=0.04	No hubieron diferencias significativas p=0.06
Recubrimientos con diferencia entre medias	Carnauba ≠ Candelilla Carnauba ≠ Q-Qn y SR	Candelilla ≠ Q-Qn Candelilla ≠ SR	NA
Recubrimientos sin diferencia entre medias	Carnauba = Qn-SA	Candelilla = Carnauba y Qn-SA	NA
Efecto de la adición del aceite esencial (95%)	No se observó beneficio	Se observó mayor beneficio en Q-Qn sin el aceite	El aceite tuvo un efecto perjudicial

SR = Sin recubrimiento; Q-Qn = Quitina-Quitosana; Qn-SA = Quitosana Sigma Aldrich 2%; NA = No aplica

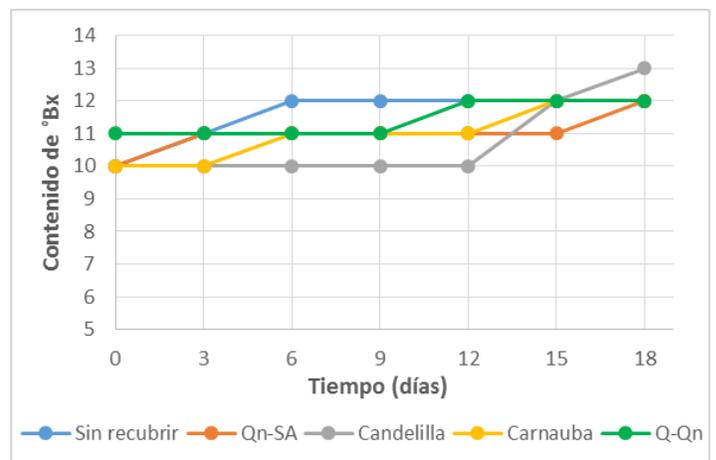
En las Gráficas 4.1 y 4.2 se presenta una tendencia ascendente en función del tiempo y de la temperatura en todos los tratamientos. Si bien, las manzanas son frutos climatéricos, éstos presentan una actividad respiratoria baja y por ende su

maduración también lo es, por lo tanto, el ligero aumento de los °Bx se relacionó con la hidrólisis del almidón por acción de las amilasas obteniéndose moléculas más simples y la conversión de ácidos orgánicos en glúcidos causando el aumento en el contenido de sólidos solubles. A 4°C y a 25°C, los recubrimientos a base de ceras tuvieron un comportamiento favorable con respecto del recubrimiento experimental de Q-Qn al retardar la degradación del almidón hasta los días quince y dieciocho. De acuerdo con su naturaleza, los recubrimientos de cera presentaron mejores propiedades de barrera contra la pérdida de agua que los elaborados con poliglúcidos, por su carácter hidrofóbico.

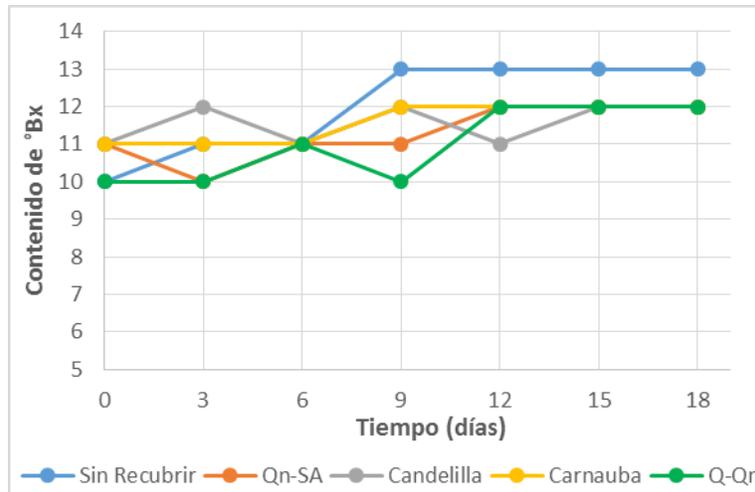
En la Gráfica 4.3 se observa que durante los primeros nueve días de estudio, en las manzanas sin recubrir, se tuvo un mayor aumento en los °Bx hasta llegar a un máximo de 13. Posteriormente, se presentó una disminución y, finalmente, un incremento pudiéndose deber este suceso a la pérdida de agua durante el proceso de transpiración, concentrando los sólidos solubles, lo cual no ocurrió con las manzanas recubiertas. Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los tratamientos a 35°C, el recubrimiento experimental de Q-Qn tuvo una mayor ventaja al retardar los cambios en los °Bx hasta el día doce del estudio; comportamiento similar al tratamiento del grupo control.



Gráfica 4.1. Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 4°C



Gráfica 4.2. Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 25°C



Gráfica 4.3. Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 35°C

La incorporación del aceite esencial de naranja no influyó positivamente en las tres temperaturas manejadas, específicamente a 35°C (Gráfica B.3, Anexo B). Esto pudo deberse a que el aceite se degradó al incrementarse la temperatura favoreciendo la hidrólisis del almidón y el consumo de ácidos orgánicos produciendo una mayor concentración de monoglúcidos libres. Al realizar un ANOVA se determinó que sí hubieron diferencias significativas entre los tratamientos a 25 y 35°C concluyendo que el recubrimiento de Q-Qn presentó resultados favorables sin contener al aceite esencial.

4.1.5. Evaluación de pH

En la Tabla 4.2 se presentan los resultados de pH de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento. De manera general, bajo las tres condiciones de almacenamiento, el pH tendió a incrementarse gradualmente con el tiempo. Como resultado del proceso de maduración, la actividad metabólica resulta en la conversión de ácidos orgánicos en glúcidos, por lo cual, la concentración de sólidos solubles incrementa gradualmente y el porcentaje de acidez disminuye aumentando de esta manera el valor de pH.

De acuerdo con el método de diferencia de medias, el grupo de Q-Qn no fue diferente al tratamiento sin recubrir al obtenerse un valor de media de 3.71, es decir,

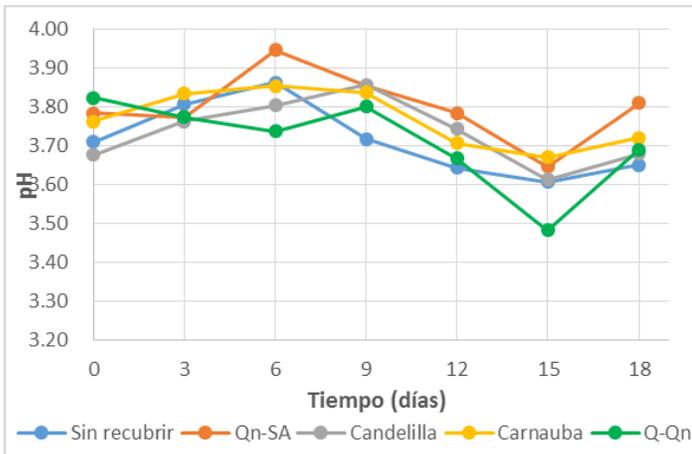
no se evidenció un efecto benéfico de los recubrimientos durante el almacenamiento a 4°C (Gráfica 4.4).

Tabla 4.2. Resumen de la evaluación de pH

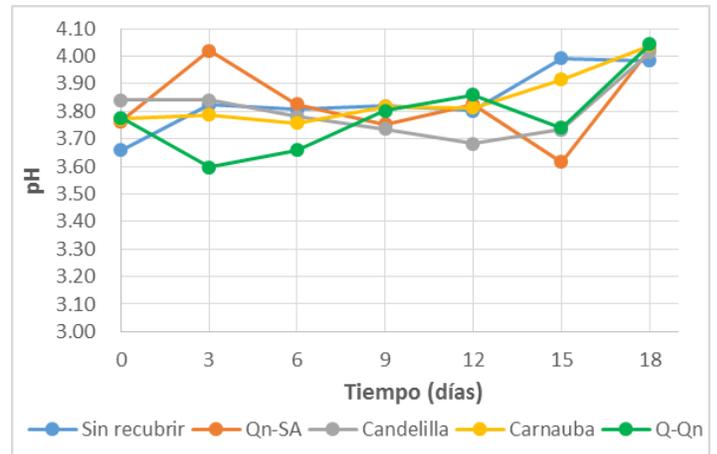
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
Resultados en fruto sin recubrir	Incremento hasta el día 6 (3.86), posteriormente se observa un descenso (3.63). Valor promedio de pH de 3.71	Valor promedio más alto de pH respecto con los demás tratamientos con excepción de carnauba (mismo valor de 3.84)	Mayor incremento del pH por efecto de la temperatura. Valor más alto de pH igual a 4.27
Resultados en fruto recubierto	Q-Qn presentó la media de pH más baja de 3.71 respecto con el control de 3.79	Q-Qn presentó la media de pH más baja de 3.78	El recubrimiento experimental retardó el incremento de pH. Media de 3.90
Análisis de varianza al 95%	Hubieron diferencias significativas $p=0.01$	No hubieron diferencias significativas $p=0.71$	Hubieron diferencias significativas $p=0.004$
Recubrimientos con diferencia entre medias	Q-Qn \neq Carnauba \neq Qn-SA \neq Candelilla	NA	Q-Qn \neq Todos los tratamientos con recubrimiento y blanco.
Recubrimientos sin diferencia entre medias	Q-Qn = SR =Candelilla	NA	Blanco = Qn-SA = Candelilla = Carnauba
Efecto de la adición del aceite esencial (95%)	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas

SR = Sin recubrimiento; Q-Qn = Quitina-Quitosana; Qn-SA = Quitosana Sigma Aldrich 2%; NA = No aplica

En cuanto a la temperatura de 25°C, se tuvo una mayor variación del pH entre los tratamientos ya que al finalizar el estudio, se observó un incremento de pH (Gráfica 4.5), el cual, se atribuye al uso de ácidos orgánicos como sustrato de la respiración después de haberse utilizado el almidón para el mismo propósito. Sin embargo, no representó una diferencia significativa. Cabe mencionar que el grupo de manzanas recubiertas con Q-Qn presentó la media de pH más baja (3.78). Hubieron diferencias significativas entre los valores de pH durante los días de estudio, por lo que no representó la preservación del fruto por parte del uso de este recubrimiento.

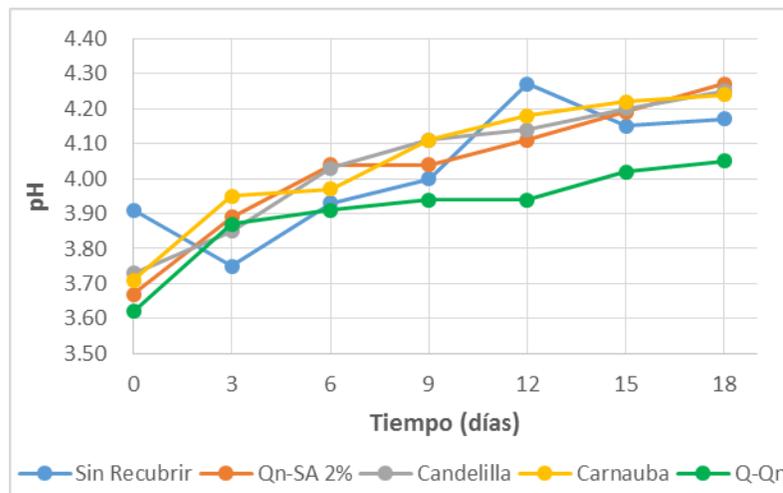


Gráfica 4.4. Valores promedio del cambio en el pH a 4°C



Gráfica 4.5. Valores promedio del cambio en el pH a 25°C

Al incrementarse la temperatura, la actividad respiratoria del fruto aumentó y, por lo tanto, hubo un mayor consumo de los ácidos orgánicos responsables de la acidez de los frutos (Gráfica 4.6). A esta temperatura se observó que el recubrimiento de Q-Qn resultó significativamente más efectivo respecto con las ceras de candelilla y de carnauba, y con el control de quitosana.



Gráfica 4.6. Valores promedio del cambio en el pH a 35°C

Los resultados de la evaluación del pH de las manzanas que fueron recubiertas con Q-Qn-AEN no fueron favorables con respecto del recubrimiento de Q-Qn a las tres temperaturas de almacenamiento. El incremento de pH en función del tiempo y de

la temperatura fue significativamente mayor, siendo más evidente a 35°C, lo cual, influyó sobre los parámetros de calidad de las manzanas. Estos resultados concordaron con la disminución del porcentaje de acidez como se verá más adelante en el inciso 4.1.6.

4.1.6. Determinación del % de acidez (% de ácido málico)

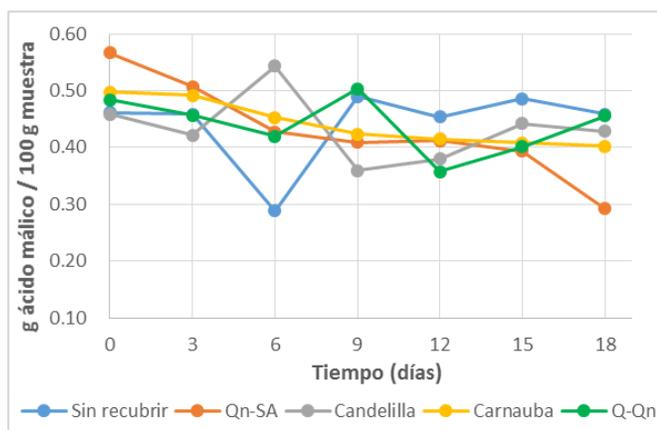
En la Tabla 4.3 se presentan los resultados del % de acidez de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento evaluadas.

Tabla 4.3. Resumen de la evaluación del % de acidez

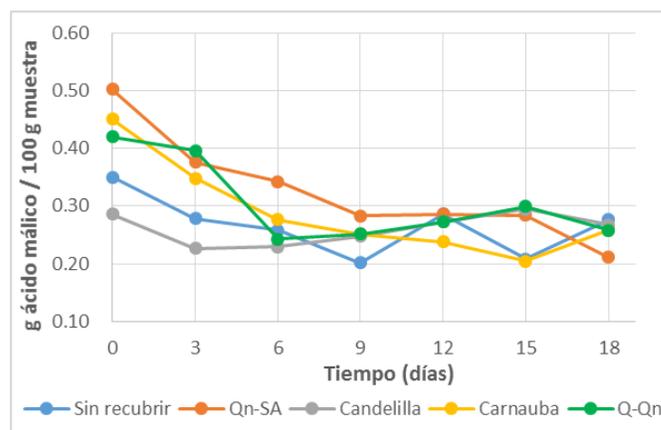
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
Resultados en fruto sin recubrir	No se aprecia una tendencia clara de la pérdida de acidez (0.45-0.49%)	La pérdida de acidez es evidente (valor final promedio de 0.26%)	Mayor disminución del % de acidez por efecto de la temperatura
Resultados en fruto recubierto	No observa una tendencia clara, con excepción de carnauba y el control de quitosana	El recubrimiento experimental y control tienen medias más altas al final del estudio	El recubrimiento experimental de Q-Qn es más efectivo a 35°C
Análisis de varianza al 95%	No hubieron diferencias significativas p=0.99	No hubieron diferencias significativas p=0.07	No hubieron diferencias significativas p=0.16
Efecto de la adición del aceite esencial (95%)	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas	El aceite esencial resultó perjudicial

En las manzanas, el ácido málico se encuentra en mayor proporción (aproximadamente 90%) en una concentración promedio de 0.57-0.60% en la post-cosecha. La degradación de los ácidos orgánicos ocurre por respiración o por la conversión de éstos en glúcidos, disminuyendo así durante la maduración (Trejo et al., 2015). Es por ello que valores bajos del % de acidez reflejaron una tendencia al envejecimiento del mismo, la cual se logró apreciar en las Gráfica 4.7 a 4.9.

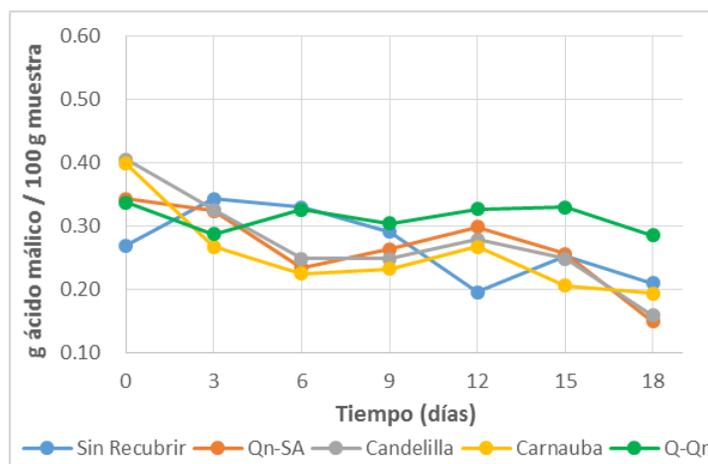
Los resultados obtenidos a la temperatura de refrigeración mostraron que no hubo una tendencia definida de la pérdida de acidez en las manzanas de los tratamientos evaluados, por lo que la temperatura fue el factor principal para preservar la acidez del fruto, consecuencia de la ralentización de su madurez. En cambio, para las manzanas sin recubrir que fueron almacenadas a temperatura ambiente y adversa, la disminución fue más notoria. Sin embargo, no representó una diferencia significativa con respecto del uso de los recubrimientos, pese a que el recubrimiento experimental y el control tuvieron valores de media mayores a los de las ceras. Lo anterior se entiende posiblemente por el periodo de almacenamiento relativamente corto para evidenciar algunas diferencias representativas con respecto de la pérdida de acidez.



Gráfica 4.7. Valores promedio del % de acidez a 4°C



Gráfica 4.8. Valores promedio del % de acidez a 25°C



Gráfica 4.9. Valores promedio del % de acidez a 35°C

4.1.7. Determinación del % de humedad

En la Tabla 4.4 se presentan los resultados del % de humedad de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento evaluadas.

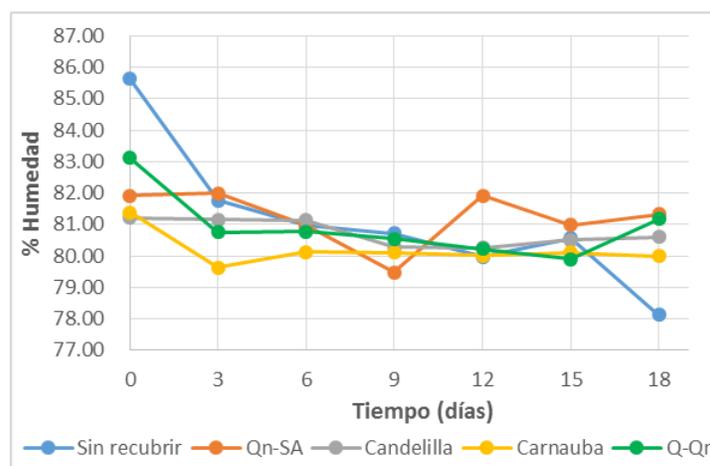
Tabla 4.4. Resumen de la evaluación del % de humedad

Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
Resultados en fruto sin recubrir	La pérdida de humedad es gradual al inicio del estudio, posteriormente es constante	Mayor pérdida de agua durante el estudio	La disminución de agua es mayor por efecto de la temperatura
Resultados en fruto recubierto	En conjunto con la temperatura, retrasa el proceso de maduración	Q-Qn tiene un comportamiento similar a las ceras y un mejor efecto que el control	Preserva mejor el contenido de humedad a lo largo del estudio
Análisis de varianza al 95%	No hubieron diferencias significativas p=0.35	Existen diferencias significativas p=0.002	Existen diferencias significativas p=0.04
Recubrimientos con diferencia entre medias	NA	Qn-SA ≠ Q-Qn, Candelilla y Carnauba	El tratamiento SR es diferente a los demás tratamientos
Recubrimientos sin diferencia entre medias	NA	Q-Qn = Candelilla y Carnauba SR = Qn-SA	No hubieron diferencias entre los tratamientos con recubrimientos
Efecto de la adición del aceite esencial (95%)	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas	Efecto negativo del aceite esencial

SR = Sin recubrimiento; **Q-Qn** = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **NA** = No aplica

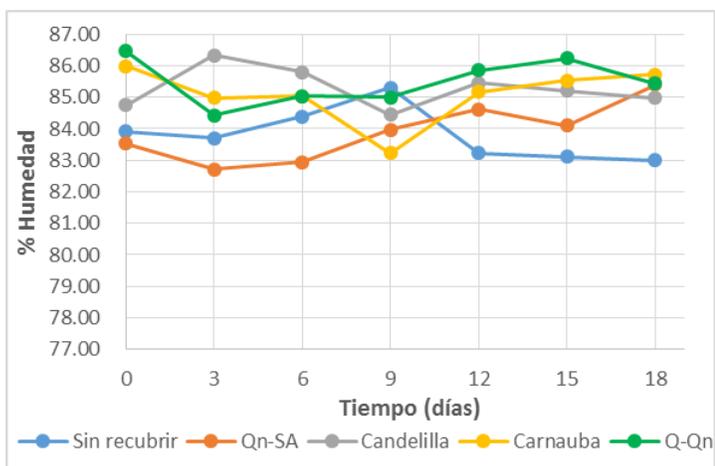
La manzana es un fruto que se compone en su mayoría por agua, aproximadamente el 88% (Baduí-Dergal, 2006). La disminución del contenido de humedad es evaluada generalmente como una pérdida de masa, lo cual es atribuible al intercambio gaseoso del fruto con el ambiente. De manera general, como se mencionó, a pesar de que las manzanas son frutos climatéricos, su tasa de respiración es baja y, por lo tanto, la pérdida de agua ocurre de manera paulatina. Esta pérdida es de importancia, ya que es la responsable en gran medida de la calidad y del valor comercial. Esta disminución del agua permitió entender los

demás parámetros físicos y químicos descritos, ya que la aplicación de los recubrimientos sobre los frutos retrasó la pérdida de masa por deshidratación, prolongando la disminución de la firmeza y de su pigmentación al inhibir el pardeamiento enzimático lo cual hizo que se conservaran por un mayor tiempo las características sensoriales (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Por otra parte, el almacenamiento en refrigeración ayudó a evitar la pérdida de humedad de las manzanas debido a que retrasó su proceso de maduración (Gráfica 4.10).

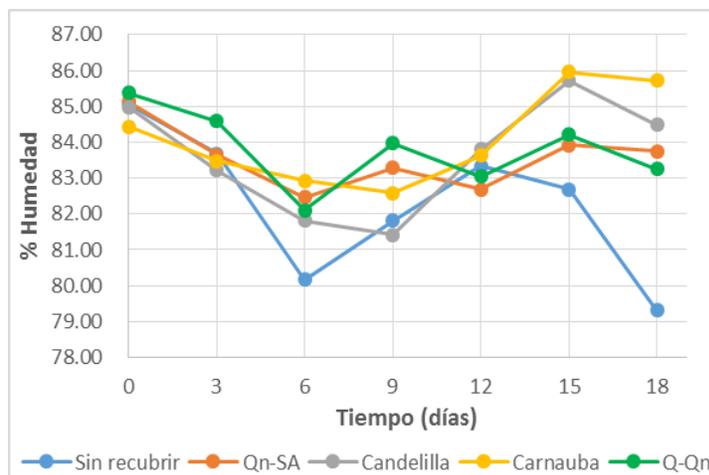


Gráfica 4.10. Valores promedio de la pérdida de humedad a 4°C

En cambio, a temperatura ambiente y adversa se concluye que los recubrimientos de Q-Qn y de ceras de candelilla y de carnauba tuvieron un efecto benéfico debido a que se presentó una menor pérdida de humedad con una media del 85% respecto con el blanco (83%), lo que concuerda con el retraso en la pérdida de firmeza y la disminución del deterioro (Gráficas 4.11 y 4.12). Lo anterior ocurre debido a la propiedad hidrofóbica de las ceras y de la baja permeabilidad que presentan los recubrimientos de quitosana, los cuales, a pesar de exhibir un carácter hidrófilo, presentaron resultados favorables.



Gráfica 4.11. Valores promedio de la pérdida de humedad a 25°C



Gráfica 4.12. Valores promedio de la pérdida de humedad a 35°C

La incorporación del aceite esencial en las manzanas no presentó una ventaja sobre el recubrimiento de Q-Qn a las temperaturas de refrigeración y ambiente ya que la disminución del % de humedad fue similar entre ambos tratamientos. En contraste, al igual que en los resultados de los parámetros revisados previamente, el aceite esencial de naranja tuvo un efecto negativo en la vida de anaquel de las manzanas almacenadas a 35°C ya que al final del periodo de almacenamiento se tuvieron resultados similares a las manzanas sin recubrir.

4.1.8. Determinación del contenido de vitamina C

En la Tabla 4.5 se presentan los resultados de vitamina C de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento. El contenido de vitamina C en las manzanas de la variedad ‘Golden Delicious’ resultó ser relativamente bajo; en promedio, se encuentra en una concentración entre 10 y 12.4 mg de ácido ascórbico por cada 100 gramos de muestra (Baduí-Dergal, 2006). La disminución de la concentración de la vitamina C fue atribuible en gran medida al daño mecánico, la descomposición y el envejecimiento. Estos eventos promueven la ruptura de la pared celular y liberan enzimas de degradación como la polifenoloxidasas y la ascorbato oxidasa, las cuales son responsables de la oxidación. De manera general, se observó que la degradación del ácido ascórbico

de las manzanas tuvo un comportamiento similar en todos los tratamientos a cualquier temperatura de almacenamiento, la cual, disminuyó con mayor velocidad al incrementarse la temperatura.

Tabla 4.5. Resumen de la evaluación de la pérdida de vitamina C

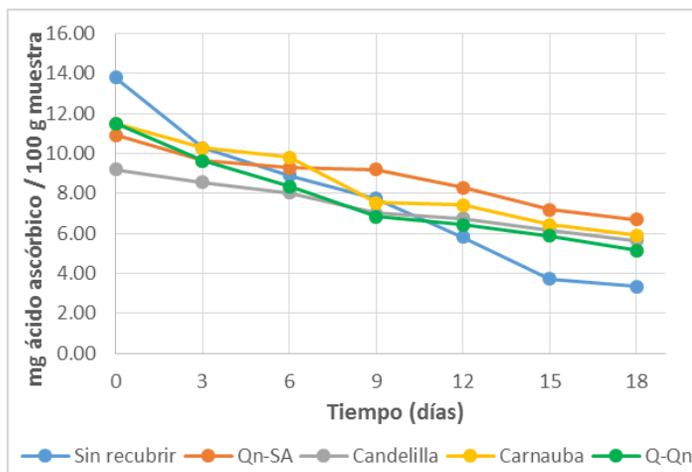
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
Resultados en fruto sin recubrir	El contenido de vitamina C disminuyó en función del tiempo	La degradación ocurre con más velocidad por efecto de temperatura, luz, etc.	Caída importante al inicio del estudio, ocurrió una degradación progresiva de vitamina C
Resultados en fruto recubierto	Comportamiento similar a los frutos sin recubrir	Se observó degradación del nutrimento, pero se logró preservar una cantidad ligeramente mayor	Resultados similares que los frutos sin recubrir
Análisis de varianza al 95%	No hubieron diferencias significativas $p=0.09$	Hubieron diferencias significativas $p=0.002$	No hubieron diferencias significativas $p=0.21$
Recubrimientos con diferencia entre medias	NA	SR = Qn-SA \neq Q-Qn y ceras	NA
Recubrimientos sin diferencia entre medias	NA	Q-Qn = Candelilla = Carnauba	NA
Efecto de la adición del aceite esencial (95%)	No tiene un efecto observable	No hay diferencia con el recubrimiento de Q-Qn	Mayor ventaja sin el aceite esencial

SR = Sin recubrimiento; Q-Qn = Quitina-Quitosana; Qn-SA = Quitosana Sigma Aldrich 2%; NA = No aplica

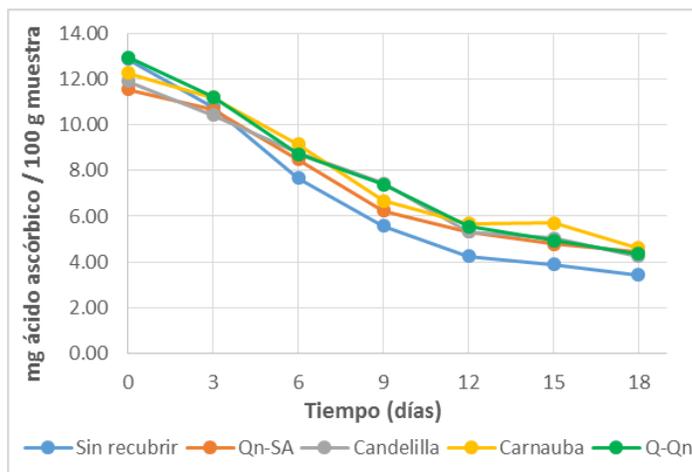
En el tratamiento a 4°C, el porcentaje de disminución de la vitamina C fue menor en todos los tratamientos con respecto de las demás condiciones de almacenamiento. En la Gráfica 4.13 se observa que en el tratamiento sin recubrir hay una disminución del 76% con respecto del valor promedio inicial, en comparación con los tratamientos con recubrimientos donde el % de disminución fue entre 41 al 55%. Es decir, el empleo de los recubrimientos retardó la disminución del porcentaje de vitamina C. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza, el % de

disminución entre tratamientos no tuvo diferencia significativa de modo que la temperatura tuvo mayor efecto en este estudio.

A la temperatura ambiente, se observó que los recubrimientos evaluados presentaron un efecto benéfico para retardar la disminución del contenido de vitamina C en las manzanas (Gráfica 4.14). En el tratamiento sin recubrir disminuyó hasta un 70% con respecto del valor promedio inicial a los dieciocho días del estudio, en comparación con los recubrimientos de cera de candelilla, de carnauba y el biopolímero experimental de Q-Qn donde disminuyó entre 63 a 65%, lo cual se comprobó con el análisis de varianza y el análisis de diferencia entre medias (Tabla 4.5).



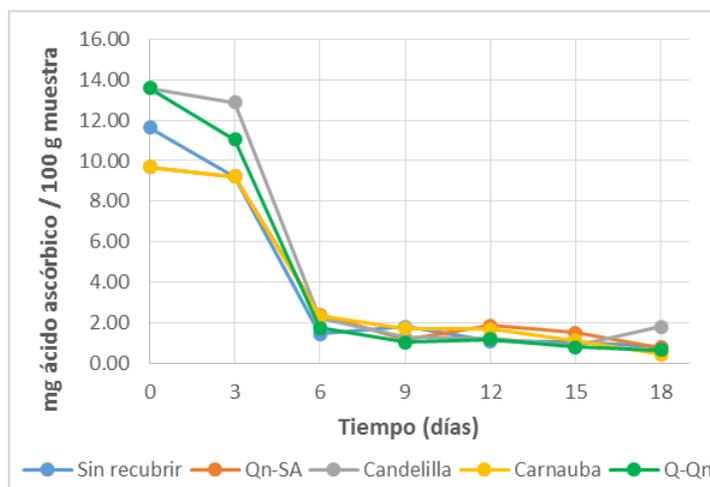
Gráfica 4.13. Valores promedio de la degradación de vitamina C a 4°C



Gráfica 4.14. Valores promedio de la degradación de vitamina C a 25°C

A 35°C, la degradación de la vitamina C ocurrió con una mayor velocidad ya que el ácido ascórbico se caracteriza por ser termosensible. El empleo de los recubrimientos resultó efectivo, pero únicamente hasta el tercer día del estudio de vida de anaquel a 35°C. Al final del periodo de almacenamiento la cantidad de vitamina C fue imperceptible y con concentraciones similares al blanco. La caída inicial observada podría deberse en gran parte al hecho de que el ácido ascórbico es un compuesto antioxidante que participa en los mecanismos de defensa frente al estrés de los productos vegetales. En este sentido, pudo ser utilizado por los

frutos para protegerse del daño oxidativo generado por esa situación de estrés inicial causado por la exposición a alta temperatura (Gráfica 4.15).



Gráfica 4.15. Valores promedio de la degradación de vitamina C a 35°C

La evaluación del estudio de vida de anaquel del recubrimiento de Q-Qn adicionado con aceite esencial de naranja no resultó efectivo a las tres temperaturas de almacenamiento ya que su comportamiento resultó similar al recubrimiento sin el aceite. En el caso de la temperatura a 35°C, el recubrimiento no tuvo un beneficio tecnológico debido a la degradación del aceite esencial aunado a la rápida descomposición del fruto por efecto de la temperatura.

4.2. Cálculo de vida de anaquel

El tiempo de vida de anaquel de las manzanas ‘Golden Delicious’ se calculó con el modelo cinético de Arrhenius considerando los datos del % de acidez obtenidos durante su almacenamiento a las tres temperaturas. La acidez, además de ser un parámetro de madurez del fruto, es un indicador de la actividad respiratoria, la cual suele coincidir con el ablandamiento del fruto y con los cambios de color y de sabor. En la Tabla 4.6 se presenta el tiempo máximo teórico en días de duración de las manzanas ‘Golden Delicious’ para los diferentes recubrimientos bajo las tres temperaturas de estudio.

El empleo de recubrimientos elaborados a base de ceras o de polisacáridos en las manzanas logró prolongar su vida de anaquel en comparación con las manzanas sin recubrir durante su almacenamiento a temperatura ambiente (25°C) y a temperatura adversa (35°C).

Tabla 4.6. Tiempo teórico en días de la vida de anaquel de las manzanas ‘Golden Delicious’ recubiertas y sin recubrir

Tratamientos	Vida de anaquel (días)		
	4°C	25°C	35°C
Sin recubrimiento	21	9	6
Quitosana-SA 2%	25	22	22
Cera de candelilla	38	22	14
Cera de carnauba	32	17	13
Quitina-Quitosana	26	17	14
Quitina-Quitosana con aceite esencial de naranja	26	15	11

En el caso de la vida de anaquel de las manzanas recubiertas con Q-Qn-AEN almacenadas a 25 y a 35°C no presentó una ventaja sobre el recubrimiento sin el aceite esencial, ya que el tiempo de vida de anaquel resultó menor, siendo más evidente a la temperatura adversa. Este resultado concuerda con lo reportado por Juárez (2019), donde se concluyó que los mangos tratados con el recubrimiento comestible de Q-Qn con aceite esencial de naranja tuvieron una vida de anaquel menor a diferencia del recubrimiento natural de Q-Qn en ambas temperaturas. Por su parte, la temperatura de refrigeración fue el principal factor que retrasó la maduración de los frutos ya que, incluso con las manzanas sin recubrimiento, se logró alargar la vida de anaquel.

A temperatura ambiente, el recubrimiento comestible a base del biopolímero experimental de Q-Qn fue eficiente comparado con la cera de carnauba al obtenerse el mismo tiempo teórico de vida útil. Sin embargo, respecto con la cera de candelilla y con el control de quitosana, su eficiencia fue menor. Por otro lado, a la temperatura

adversa, el biopolímero de Q-Qn fue igual de eficiente que los tratamientos con cera de candelilla y de carnauba, pero menos que su control de quitosana.

Con base en los estudios que se han realizado siguiendo la misma línea de investigación, la aplicación del recubrimiento de Q-Qn permitió la ralentización de fenómenos de madurez en productos como guayabas y uvas verdes (Seseña, 2019), mangos (Juárez, 2019), frambuesas (De la Cruz, 2019), peras y zarzamoras (Zarazúa, 2021), y ciruelas negras (Villanueva, 2022) bajo las mismas condiciones de almacenamiento con respecto de los tratamientos sin recubrir.

Finalmente, las variaciones que se obtuvieron durante el estudio de vida de anaquel pueden atribuirse a la naturaleza de la muestra al presentar un grado de madurez distinto, y al espesor y la homogeneidad del recubrimiento aplicado que influye sobre las propiedades mecánicas y de permeabilidad al vapor de agua y el intercambio de gases.

4.3. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de las cuatro mermeladas de manzana se llevó a cabo mediante jueces no entrenados con un promedio de edad de 21 años, donde el 52% fueron del género femenino y el 48% del género masculino. A través de la encuesta, el 65% de los jueces no entrenados que participó en la evaluación fueron consumidores habituales de mermelada, de los cuales el 40% consume la mermelada una vez al mes; el 35% una vez a la semana y el restante 2 veces por semana. Los consumidores prefieren la mermelada de sabor a fresa, seguido del sabor a zarzamora con un 43 y 38%, respectivamente, ya que estas mermeladas se encuentran en mayor cantidad en los anaqueles de los supermercados y tiendas de abarrotes. Cabe mencionar, que el consumo de mermelada de manzana fue casi nulo, ya que no es muy común considerarlo entre las marcas comerciales.

4.3.1. Prueba de nivel de agrado

La prueba sensorial con 100 jueces no entrenados se realizó para evaluar color, textura, aroma y sabor. Para los consumidores, el color es uno de los factores decisivos de compra de cualquier producto. Por otro lado, en las mermeladas es importante considerar la textura en la boca, por ello, fue elegida para su evaluación. Para el caso de los atributos de aroma y sabor, éstos se eligieron para determinar si los consumidores detectaban un sabor residual y/o un aroma a crustáceo proveniente del recubrimiento obtenido experimentalmente u otro proveniente de los demás recubrimientos.

Para este estudio se empleó una escala hedónica de cinco puntos. De acuerdo con los análisis de varianza de una vía aplicados a cada uno de los atributos, se obtuvo que para el color y la textura existieron diferencias significativas entre las mermeladas, no así para el aroma y el sabor. Con base en la metodología de la obtención del recubrimiento de Q-Qn, el empleo de harina de camarón puede influir en el sabor de las mermeladas. Sin embargo ningún consumidor detectó tal resabio a crustáceo; resultado atribuible al contenido de azúcar con el que se elaboró la mermelada, siendo más perceptible el gusto dulce.

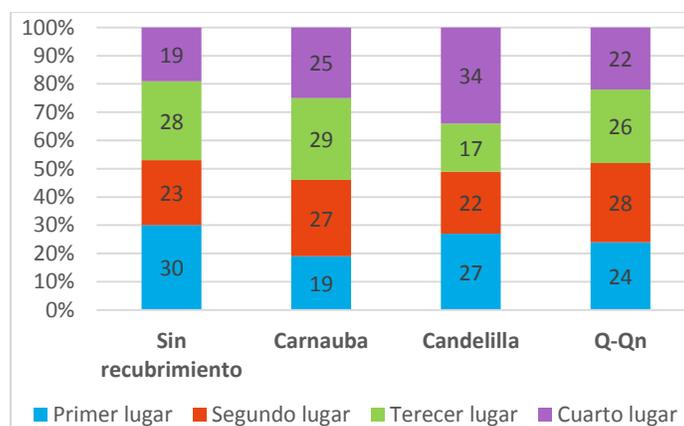
El resabio que se describió con mayor frecuencia (doce consumidores de entre 100) fue el resabio amargo en la mermelada elaborada con fruta recubierta con Q-Qn. De acuerdo con Lárez-Velásquez (2008), el sabor amargo en las muestras tratadas con quitosana permanece durante los pocos días de ser aplicado el recubrimiento. Sin embargo, el tiempo que permanecieron recubiertas las manzanas fue de siete días por lo que no causó diferencias organolépticas. Por lo tanto, este resabio y los demás que describieron los consumidores (salado, eucalipto, fresco, pera, etc.) se podrían atribuir a lo que consumieron previo a la evaluación.

Mediante un análisis de diferencias mínimas significativas (DMS) se determinó que hubo diferencia en cuanto al color de la mermelada elaborada con manzanas sin recubrir (color de mayor agrado para los consumidores) respecto con las que fueron

elaboradas con manzanas recubiertas con cera de candelilla y con el biopolímero experimental de Q-Qn, mas no con la elaborada con las manzanas recubiertas con cera de carnauba. Asimismo, se determinó que hubo diferencia en la textura de la mermelada elaborada con las manzanas recubiertas con cera de carnauba (textura de mayor agrado para los consumidores) con respecto de las demás mermeladas. La mermelada elaborada con fruta sin recubrir tuvo una textura estadísticamente igual que la elaborada con el recubrimiento de Q-Qn, pero diferente a la mermelada elaborada con fruta recubierta con cera de candelilla.

4.3.2. Prueba de ordenamiento

Esta prueba se realizó con la finalidad de determinar la mermelada que fue preferida por los jueces no entrenados. En la Gráfica 4.16 se presentan los resultados en orden de preferencia por parte de los consumidores donde la mermelada elaborada con el tratamiento sin recubrir tuvo una mayor preferencia a diferencia del tratamiento con la cera de candelilla, la cual, fue la menos preferida.



Gráfica 4.16. Escala de ordenamiento de las mermeladas

Sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza de Friedman, se determinó que no hubieron diferencias en cuanto a la preferencia del consumidor por cualquiera de las mermeladas evaluadas, incluso la mermelada elaborada con el grupo de fruta sin recubrir ya que estadísticamente fue similar a las frutas recubiertas con ceras o con el biopolímero experimental de Q-Qn. El resultado de Friedman X^2 calculado fue

igual a 2.2560 menor al X^2 tablas, con un nivel de significancia igual a 0.05 y 3 grados de libertad a una cola, igual a 6.25, por tanto, la hipótesis nula fue aceptada.

El principal motivo de preferencia por parte de los consumidores, con un 59%, fue el gusto dulce, atributo principal de este producto. Le siguió la consistencia con un 31%, el color con un 6%, la acidez con 3% y el aroma con el 1%, lo cual concuerda con la prueba de nivel de agrado. Lo anterior se llevó a cabo pese a que hubieron diferencias entre los atributos de color y de textura de las mermeladas. Sin embargo, no fueron determinantes para su preferencia, de tal manera que la aplicación de los recubrimientos no alteró significativamente las propiedades sensoriales del producto.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

5.1. Conclusiones

De acuerdo con el objetivo general de la investigación el cual fue “Evaluar la vida de anaquel de las manzanas ‘Golden Delicious’ recubiertas con el biopolímero de Q-Qn proveniente de cefalotórax y exoesqueletos de camarón y con las ceras de carnauba y de candelilla para su comparación entre ellas” se puede concluir lo siguiente:

- Se logró obtener el biopolímero de Q-Qn por un método ecológico el cual permitió el aprovechamiento de residuos para la producción de un recubrimiento comestible aplicado en manzanas de la variedad ‘Golden Delicious’.
- Los recubrimientos elaborados con ceras de candelilla, de carnauba y con el biopolímero experimental de Q-Qn, aumentaron la vida de anaquel de las manzanas ‘Golden Delicious’ con respecto de las manzanas sin recubrir, principalmente bajo el almacenamiento a 25 y 35°C, por tanto, se cumplió la hipótesis planteada en este sentido.
- La temperatura de refrigeración fue la principal variable para prolongar la vida de anaquel de las manzanas ‘Golden Delicious’ ya que redujo la tasa de respiración y, por consecuencia, la actividad metabólica y enzimática, preservando los parámetros vinculados a la calidad fisicoquímica y sensorial.
- A la misma temperatura, la incorporación del aceite esencial de naranja no presentó una ventaja sobre el recubrimiento de Q-Qn sin él.
- A temperatura ambiente, las manzanas recubiertas con el biopolímero experimental de Q-Qn y con las ceras de carnauba y de candelilla tuvieron el mismo efecto benéfico sobre los parámetros evaluados al ralentizar algunos de los efectos de la maduración, siendo el tratamiento con cera de candelilla el que tuvo una mayor funcionalidad.
- El recubrimiento experimental de Q-Qn resultó igual de efectivo que la cera de candelilla y de carnauba sobre los parámetros evaluados a 35°C los cuales fueron: a) Mantenimiento de color y firmeza aceptable durante mayor tiempo, b) Ausencia en el crecimiento de hongos ni pardeamiento enzimático,

c) Menor pérdida de agua y d) Ralentización de algunos fenómenos de la madurez como la utilización de ácidos orgánicos y de glúcidos.

- De acuerdo con el tiempo de vida de anaquel estimado, el recubrimiento experimental de Q-Qn fue similar al de las ceras de candelilla y de carnauba bajo las diferentes temperaturas de almacenamiento. Por tanto, se cumplió la hipótesis planteada.
- La disminución de la firmeza y los cambios de coloración fueron los parámetros que tuvieron una mayor influencia sobre la calidad y deterioro de las manzanas sin recubrir, afectando su apariencia, efectos que se retrasaron con la aplicación de los recubrimientos elaborados a base de ceras y del recubrimiento de Q-Qn.
- La degradación del ácido ascórbico fue el parámetro que más se vio afectado durante el almacenamiento a las tres temperaturas, pero no fue determinante para evaluar la calidad de las manzanas por el bajo contenido de esta.
- La incorporación del aceite esencial de naranja en el recubrimiento de Q-Qn tuvo un efecto positivo a temperatura ambiente sobre la coloración y textura de las manzanas, lo cual se atribuyó a sus propiedades antioxidantes. Sin embargo, con base en la cinética, el tiempo de vida útil estimado no resultó mayor en comparación con el recubrimiento sin el aceite esencial.
- Los recubrimientos aplicados en las manzanas para la elaboración de mermeladas, no afectaron los atributos sensoriales de sabor ni aroma. El recubrimiento elaborado a base de cera de carnauba no afectó el color ni la textura de las mermeladas a diferencia de los recubrimientos a base de cera de candelilla y del biopolímero de Q-Qn. Sin embargo, los consumidores no tuvieron preferencia por alguna de las mermeladas elaboradas con las manzanas recubiertas y sin recubrir.

5.2. Perspectivas del presente trabajo de investigación

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se presentan las siguientes recomendaciones que resultarían de sumo interés.

- Evaluar diferentes proporciones de CPD de camarón con el disolvente MAC-141© para obtener un mejor comportamiento del recubrimiento de Q-Qn experimental al aplicarlo específicamente sobre manzanas 'Golden Delicious'.
- Para el desarrollo de los recubrimientos, es necesario considerar y medir los factores tales como el espesor, la tasa de permeabilidad al vapor de agua, la solubilidad de los recubrimientos, así como el efecto inhibitorio del aceite esencial para tener un mayor control y homogeneidad de los resultados de los parámetros fisicoquímicos.
- Prolongar el estudio de vida de anaquel considerando los tiempos teóricos estimados con el modelo cinético y, así, obtener resultados estadísticamente concretos para observar un efecto más claro sobre el beneficio de los recubrimientos de Q-Qn en comparación con los elaborados con ceras y con el recubrimiento con el aceite esencial.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos del estudio de vida de anaquel que se midieron de manera sensorial, empleando metodologías instrumentales precisas como un colorímetro y un texturómetro.
- Considerar los análisis microbiológicos (cuenta total de mesofilos aerobios y hongos y levaduras) durante el estudio de vida de anaquel, principalmente al inicio y final del periodo de almacenamiento, para determinar las propiedades antimicrobianas del recubrimiento de Q-Qn.
- Cuantificar el metanol residual en el lote del recubrimiento experimental de Q-Qn para comprobar si se encuentra dentro del límite de la ingesta diaria admisible (IDA) para determinar que es un alimento inocuo.

ANEXOS

ANEXO A. Tablas de resultados obtenidos durante el estudio de vida de anaquel y análisis sensorial

En las Tablas A.1 a A.21 se presentan los resultados experimentales obtenidos durante la presente investigación, donde: **Blanco**: Sin recubrimiento, **Qn-SA**: quitosana comercial Sigma Aldrich® 2%, **Candelilla**: cera de candelilla, **Carnauba**: cera de carnauba, **Q-Qn**: recubrimiento experimental de quitina quitosana y **Q-Qn-AEN**: recubrimiento experimental de quitina quitosana adicionado de aceite esencial de naranja. En un primer estudio, se evaluaron cuatro recubrimientos (Qn-SA, cera de candelilla, carnauba, Q-Qn experimental) y un blanco. Mientras que en la segunda fase se estudió un recubrimiento experimental a base del biopolímero de Q-Qn adicionado con un aceite esencial de naranja comparado con un blanco y el biopolímero de Q-Qn. Finalmente, las Tablas A.22 y A.23 corresponde al resumen de los resultados obtenidos en la evaluación sensorial. En las Tablas A.1 a A.3 la letra **U** significa sin recubrir y la letra **C** significa con recubrimiento. En las Tablas A.4 a A.6, la escala de firmeza va de muy firme (5) a poco firme (0).

Tabla A.1. Evaluación de la coloración de las manzanas almacenadas a 4°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	585 U 	585 C 	585 C 	585 C 	585 C 	7492 C 	7492 U 	585 C 
3	585 U 	585 C 	585 C 	585 C 	585 C 	584 C 	7492 U 	585 C 
6	379 U 	585 C 	584 C 	584 C 	587 C 	584 C 	584 U 	587 C 
9	379 U 	587 C 	587 C 	587 C 	587 C 	584 C 	7744 U 	587 C 
12	379 U 	601 C 	601 C 	587 C 	601 C 	584 C 	7744 U 	601 C 
15	113 U 	608 C 	608 C 	608 C 	602 C 	7744 C 	7744 U 	602 C 
18	100 U 	602 C 	608 C 	602 C 	602 C 	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.2. Evaluación de la coloración de las manzanas almacenadas a 25°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	586 U 	585 C 	586 C 	585 C 	585 C 	7492 C 	7492 U 	585 C
3	585 U 	584 C 	587 C 	587 C 	587 C 	584 C 	584 U 	587 C
6	602 U 	585 C 	587 C 	585 C 	601 C 	585 C 	602 U 	601 C
9	602 U 	393 C 	601 C 	608 C 	587 C 	584 C 	602 U 	587 C
12	127 U 	602 C 	608 C 	602 C 	585 C 	584 C 	127 U 	585 C
15	113 U 	602 C 	609 C 	608 C 	587 C 	7744 C 	127 U 	587 C
18	114 U 	113 C 	609 C 	100 C 	100 C 	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.3. Evaluación de la coloración de las manzanas almacenadas a 35°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	379 U 	393 C 	609 C 	379 C 	386 C 	7492 C 	7492 U 	386 C
3	460 U 	586 C 	608 C 	460 C 	460 C 	386 C 	585 U 	460 C
6	106 U 	609 C 	2295 C 	601 C 	609 C 	460 C 	610 U 	609 C
9	113 U 	386 C 	587 C 	587 C 	2295 C 	460 C 	610 U 	2295 C
12	2002 U 	602 C 	587 C 	586 C 	607 C 	610 C 	7759 U 	607 C
15	113 U 	100 C 	586 C 	587 C 	587 C 	7759 C 	3975 C 	587 C
18	113 U 	100 C 	586 C 	587 C 	587 C 	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.4. Medición de la textura de las manzanas almacenadas a 4°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5	5	5	5
9	4	5	4	5	5	5	4	5
12	4	5	4	5	4	4	4	4
15	4	5	5	4	4	4	4	4
18	4	4	4	4	4	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.5. Medición de la textura de las manzanas almacenadas a 25°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5	5	4	5
9	4	5	5	5	5	5	4	5
12	3	4	4	4	4	4	3	4
15	3	4	4	4	4	4	3	4
18	3	4	4	4	4	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.6. Medición de la textura de las manzanas almacenadas a 35°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	4	5
6	3	4	4	4	4	4	3	4
9	3	4	4	4	4	4	3	4
12	3	4	4	3	3	3	3	3
15	3	3	3	3	3	2	2	3
18	2	3	3	3	3	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.7. Determinación de °Brix de las manzanas almacenadas a 4°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	11.0	11.0	10.0	11.0	11.0	10.0	10.0	11.0
3	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
6	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
9	12.0	11.0	12.0	11.0	12.0	11.0	11.0	12.0
12	12.0	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	13.0	12.0
15	13.0	12.0	13.0	11.0	13.0	13.0	13.0	13.0
18	14.0	13.0	13.0	12.0	13.0	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.8. Determinación de °Brix de las manzanas almacenadas a 25°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	10.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.0
3	11.0	11.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.0
6	12.0	11.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	11.0
9	12.0	11.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	11.0
12	12.0	11.0	10.0	11.0	12.0	13.0	12.0	12.0
15	12.0	11.0	12.0	12.0	12.0	13.0	13.0	12.0
18	12.0	12.0	13.0	12.0	12.0	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.9. Determinación de °Brix de las manzanas almacenadas a 35°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	10.0	11.0	11.0	11.0	10.0	10.0	11.0	10.0
3	11.0	10.0	12.0	11.0	10.0	11.0	11.0	10.0
6	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	12.0	11.0
9	13.0	11.0	12.0	12.0	10.0	12.0	12.0	10.0
12	13.0	12.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	12.0
15	13.0	12.0	12.0	12.0	12.0	14.0	14.0	12.0
18	13.0	12.0	12.0	12.0	12.0	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.10. Determinación del pH de las manzanas almacenadas a 4°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	3.71	3.78	3.68	3.76	3.82	3.07	3.16	3.12
3	3.81	3.77	3.76	3.83	3.77	3.13	3.21	3.17
6	3.86	3.95	3.80	3.85	3.74	3.28	3.31	3.14
9	3.72	3.85	3.86	3.84	3.80	3.25	3.24	3.20
12	3.64	3.78	3.74	3.71	3.67	3.33	3.28	3.27
15	3.61	3.65	3.61	3.67	3.48	3.68	3.82	3.48
18	3.65	3.81	3.68	3.72	3.69	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.11. Determinación del pH de las manzanas almacenadas a 25°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	3.66	3.76	3.84	3.77	3.78	3.07	3.13	3.08
3	3.82	4.02	3.84	3.79	3.60	3.22	3.25	3.20
6	3.81	3.83	3.78	3.76	3.66	3.21	3.28	3.26
9	3.82	3.75	3.74	3.82	3.80	3.40	3.39	3.30
12	3.80	3.83	3.68	3.81	3.86	3.40	3.62	3.54
15	3.99	3.62	3.73	3.92	3.74	3.54	3.59	3.55
18	3.98	4.03	4.01	4.04	4.04	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.12. Determinación del pH de las manzanas almacenadas a 35°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	3.91	3.67	3.73	3.71	3.62	3.57	3.61	3.52
3	3.75	3.89	3.85	3.95	3.87	3.60	3.77	3.57
6	3.93	4.04	4.03	3.97	3.91	3.78	3.88	3.61
9	4.00	4.04	4.11	4.11	3.94	3.70	3.94	3.68
12	4.27	4.11	4.14	4.18	3.94	3.83	4.01	3.74
15	4.15	4.19	4.20	4.22	4.02	3.93	4.09	3.84
18	4.17	4.27	4.25	4.24	4.05	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.13. Determinación del % de acidez de las manzanas almacenadas a 4°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	0.4619	0.5667	0.4584	0.4975	0.4835	0.5780	0.6502	0.5835
3	0.4584	0.5067	0.4216	0.4913	0.4564	0.5573	0.6270	0.5764
6	0.2882	0.4274	0.5435	0.4526	0.4197	0.5109	0.5944	0.5597
9	0.4893	0.4091	0.3597	0.4239	0.5029	0.4876	0.5573	0.5329
12	0.4533	0.4120	0.3803	0.4148	0.3572	0.4505	0.4783	0.4612
15	0.4855	0.3937	0.4420	0.4081	0.4012	0.4273	0.4598	0.4472
18	0.4584	0.2920	0.4284	0.4023	0.4556	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.14. Determinación del % de acidez de las manzanas almacenadas a 25°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	0.3501	0.5029	0.2862	0.4506	0.4197	0.5248	0.5455	0.5197
3	0.2785	0.3763	0.2263	0.3481	0.3965	0.5016	0.4876	0.4965
6	0.2584	0.3423	0.2290	0.2766	0.2426	0.4783	0.4830	0.4426
9	0.2017	0.2834	0.2471	0.2516	0.2516	0.4783	0.4644	0.4516
12	0.2856	0.2856	0.2720	0.2380	0.2720	0.4691	0.4598	0.4720
15	0.2085	0.2839	0.2947	0.2040	0.2992	0.3947	0.4528	0.3992
18	0.2766	0.2108	0.2675	0.2584	0.2584	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.15. Determinación del % de acidez de las manzanas almacenadas a 35°C

Día	Primer estudio					Estudio con aceite esencial		
	Sin Recubrir	Qn-SA	Candelilla	Carnauba	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
0	0.2688	0.3423	0.4042	0.3984	0.3365	0.5434	0.3901	0.4365
3	0.3423	0.3230	0.3249	0.2669	0.2862	0.5109	0.3808	0.4162
6	0.3288	0.2340	0.2476	0.2244	0.3249	0.4644	0.3530	0.4249
9	0.2901	0.2630	0.2476	0.2321	0.3036	0.3251	0.3251	0.3259
12	0.1953	0.2978	0.2785	0.2669	0.3259	0.2665	0.1625	0.3036
15	0.2514	0.2553	0.2476	0.2050	0.3288	0.2022	0.1161	0.2488
18	0.2089	0.1489	0.1586	0.1934	0.2843	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.16. Determinación del % humedad de las manzanas almacenadas a 4°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	85.6384	81.9224	81.2099	81.3835	83.1157	81.5246	81.7193	82.1157
3	81.7666	81.9903	81.1571	79.6343	80.7640	81.4407	80.1852	80.7640
6	80.9590	80.9617	81.1305	80.1231	80.7707	81.4407	80.9286	80.7707
9	80.7165	79.4899	80.2800	80.1146	80.5558	80.9286	80.7826	80.5558
12	79.9753	81.9224	80.2545	80.0082	80.2340	80.2105	79.0189	80.2340
15	80.5718	80.9887	80.5168	80.1017	79.8993	79.9286	78.3333	79.8993
18	78.1388	81.3256	80.6023	80.0000	81.1835	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.17. Determinación del % humedad de las manzanas almacenadas a 25°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	83.9169	83.5315	84.7429	85.9809	86.4616	82.4839	83.0000	83.4616
3	83.6997	82.7142	86.3340	84.9737	84.4310	82.0000	81.7551	82.4310
6	84.3881	82.9365	85.8065	85.0367	85.0270	80.4839	81.5385	81.0270
9	85.3102	83.9783	84.4410	83.2289	84.9932	81.1429	80.2459	80.9932
12	83.2289	84.6234	85.4570	85.1621	85.8566	80.7458	80.9649	80.8566
15	83.1173	84.0996	85.2172	85.5349	86.2307	80.1429	79.3529	80.2307
18	83.0061	85.4012	84.9817	85.7261	85.4451	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.18. Determinación del % humedad de las manzanas almacenadas a 35°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	85.0756	85.1415	84.9782	84.4409	85.3856	82.1304	82.1961	83.3856
3	83.6861	83.6537	83.2121	83.4717	84.5882	82.6735	82.2340	82.5882
6	80.1650	82.4561	81.8182	82.9286	82.1045	82.3571	80.2745	82.1045
9	81.8182	83.2941	81.4118	82.5789	83.9649	80.7692	78.2105	82.9649
12	83.3333	82.6923	83.7924	83.6364	83.0508	77.9661	77.0896	81.0508
15	82.6923	83.9286	85.7143	85.9649	84.2105	75.9130	76.4815	80.2105
18	79.3103	83.7512	84.4828	85.7143	83.2566	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.19. Determinación de vitamina C de las manzanas almacenadas a 4°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	13.7892	10.9165	9.1928	11.4910	11.4910	11.3761	12.1432	11.4910
3	10.2613	9.6199	8.5511	10.2613	9.6199	9.6627	10.6368	9.6199
6	8.8856	9.2921	8.0144	9.8003	8.3380	8.8661	9.0975	8.3380
9	7.7475	9.1822	7.0096	7.5323	6.8252	6.7489	7.4613	6.8252
12	5.7979	8.2910	6.7489	7.4026	6.4220	4.4956	6.6279	6.4220
15	3.7229	7.1890	6.1620	6.4188	5.8686	4.3431	5.6266	5.8686
18	3.3378	6.6755	5.6485	5.9053	5.1350	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.20. Determinación de vitamina C de las manzanas almacenadas a 25°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	12.8700	11.5421	11.8966	12.2571	12.9535	12.3039	13.4924	12.9535
3	10.7744	10.6500	10.4323	11.1942	11.2019	10.8506	9.1074	11.2019
6	7.6660	8.4936	8.7810	9.1469	8.7113	8.5598	7.9744	8.7113
9	5.5782	6.2410	7.4345	6.6715	7.3786	7.4613	5.0707	7.3786
12	4.2518	5.3147	5.3147	5.6690	5.5563	4.8910	4.7637	5.5563
15	3.8975	4.7832	5.0490	5.7133	4.9524	4.8791	3.0523	4.9524
18	3.4250	4.4289	4.2518	4.6061	4.3484	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.21. Determinación de vitamina C de las manzanas almacenadas a 35°C

<i>Día</i>	<i>Primer estudio</i>					<i>Estudio con aceite esencial</i>		
	<i>Sin recubrir</i>	<i>Qn-SA</i>	<i>Candelilla</i>	<i>Carnauba</i>	<i>Q-Qn</i>	<i>Q-Qn-AEN</i>	<i>Sin recubrir</i>	<i>Q-Qn</i>
0	11.6384	9.6987	13.5781	9.6987	13.5781	11.6384	11.1312	13.5781
3	9.2055	9.2055	12.8877	9.2055	11.0466	10.3102	7.6727	11.0466
6	1.4528	2.3949	2.2416	2.3523	1.7434	2.8891	2.2093	1.7434
9	1.8135	1.1919	1.2912	1.7217	1.0330	1.4103	1.8653	1.0330
12	1.0959	1.8546	1.2333	1.6860	1.1802	1.4100	1.6884	1.1802
15	1.0645	1.5139	0.8516	1.1354	0.7948	1.0720	1.3478	0.7948
18	0.7915	0.7739	1.8119	0.4420	0.6534	N/D	N/D	N/D

Q-Qn = Quitina-Quitosana; **Qn-SA** = Quitosana Sigma Aldrich 2%; **Q-Qn-AEN** = Quitina-Quitosana con aceite esencial; **ND** = No determinado

Tabla A.22. Resultados obtenidos de las pruebas afectivas

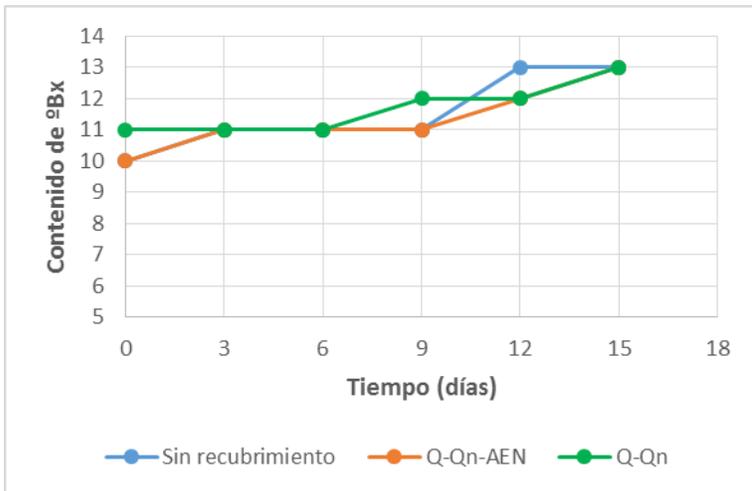
Mermelada evaluada	Atributo	Escala hedónica				
		Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho
Q-Qn	Color	13	32	33	18	4
	Aroma	8	25	60	7	0
	Textura	13	32	39	15	1
	Sabor	24	42	23	10	1
Cera de candelilla	Color	14	34	34	13	5
	Aroma	4	28	60	7	1
	Textura	12	30	29	21	8
	Sabor	30	32	23	15	0
Cera de carnauba	Color	20	45	26	7	2
	Aroma	5	35	57	2	1
	Textura	22	39	28	10	1
	Sabor	29	38	20	12	1
Blanco	Color	22	44	27	7	0
	Aroma	4	26	67	3	0
	Textura	16	33	35	15	1
	Sabor	24	52	19	5	0
Consumidores: 100		Mujeres: 52			Hombres: 48	

Tabla A.23. Resultados obtenidos de la prueba de preferencia y ordenamiento

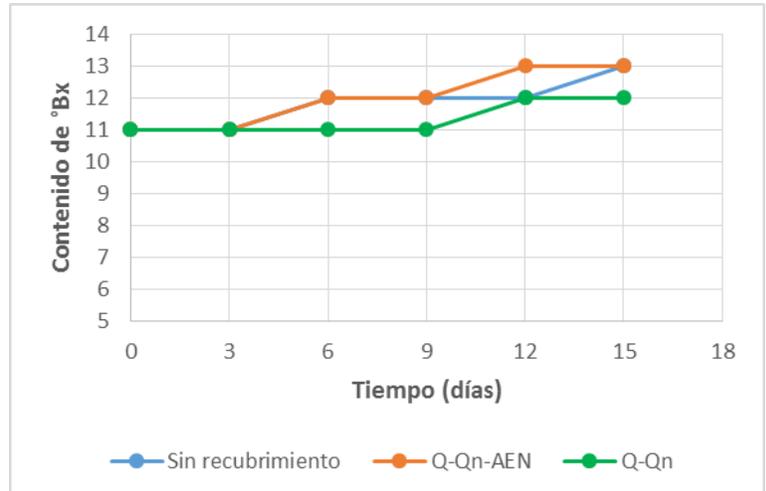
Mermelada evaluada	Prueba de preferencia y ordenamiento			
	<i>Primer lugar</i>	<i>Segundo lugar</i>	<i>Tercer lugar</i>	<i>Cuarto lugar</i>
Q-Qn	24	28	26	22
Candelilla	27	22	17	34
Carnauba	19	27	29	25

Anexo B. Gráficas de resultados de la evaluación del aceite esencial de naranja incorporado en recubrimiento de Q-Qn

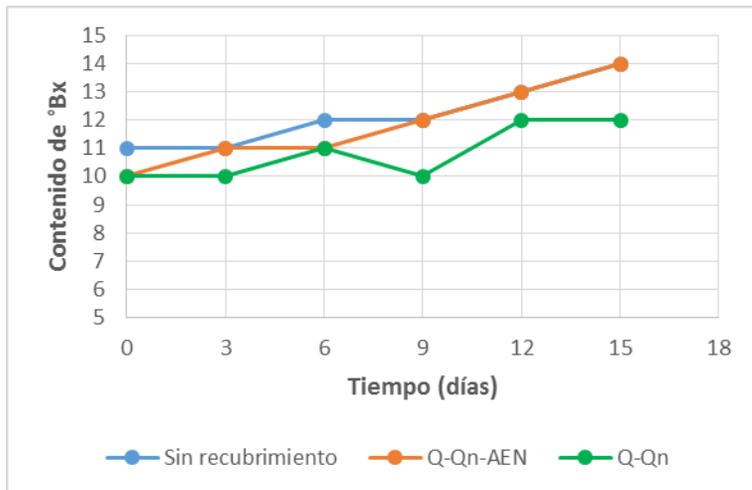
En las Gráficas B.1 a B.15 se presentan las gráficas del segundo estudio de vida de anaquel donde se evaluó la incorporación de un aceite esencial al recubrimiento de Q-Qn previamente elaborado.



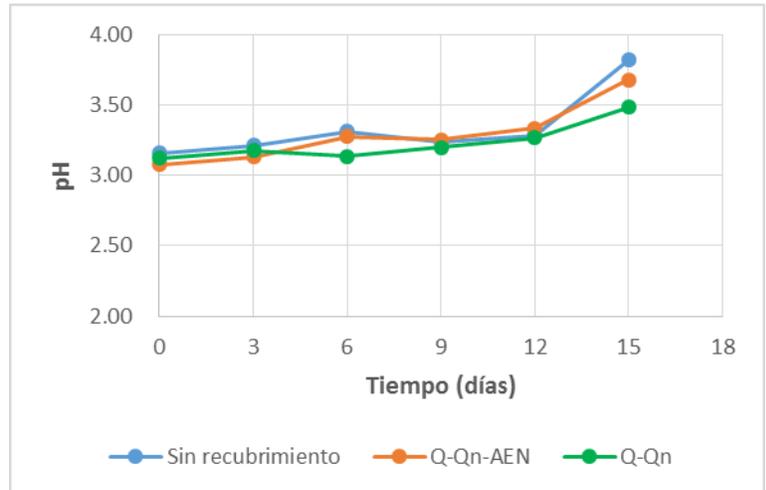
Gráfica B.1. Valores promedio del cambio en los °Brix a 4°C



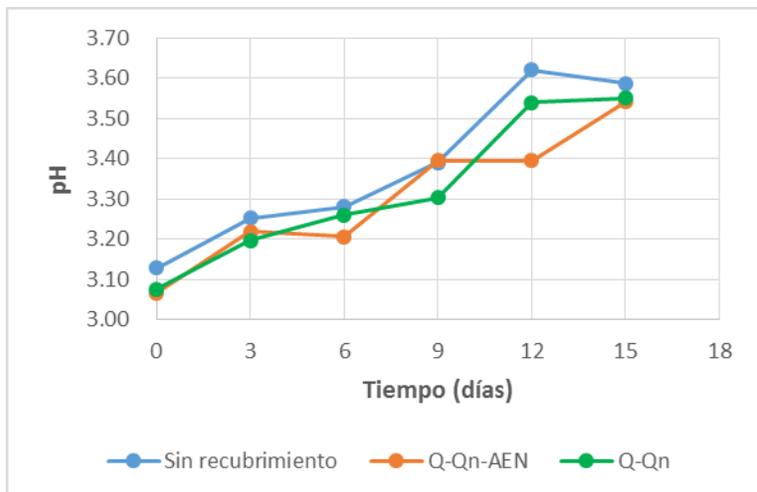
Gráfica B.2. Valores promedio del cambio en los °Bx a 25°C



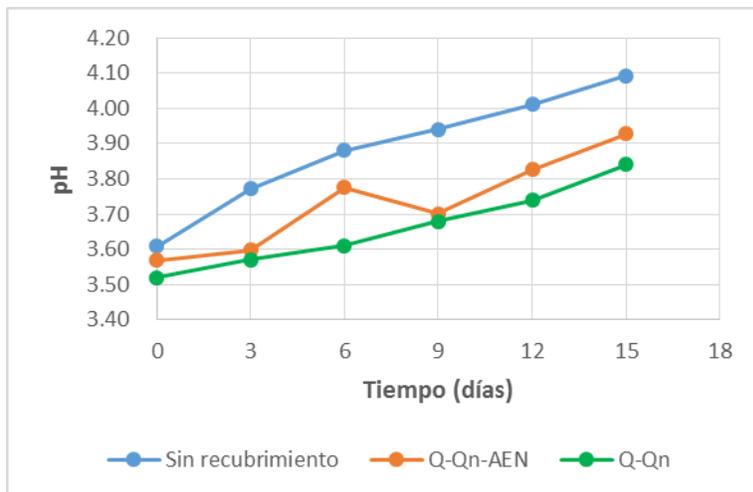
Gráfica B.3. Valores promedio del cambio en los °Bx a 35°C



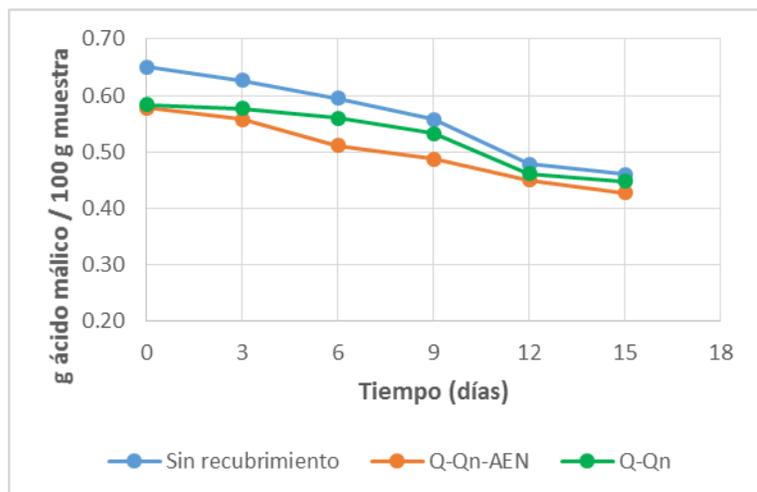
Gráfica B.4. Valores promedio del cambio en el pH a 4°C



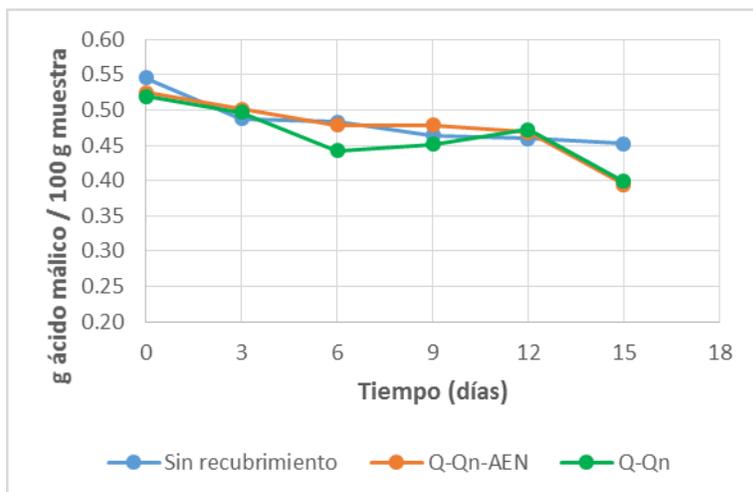
Gráfica B.5. Valores promedio del cambio en el pH a 25°C



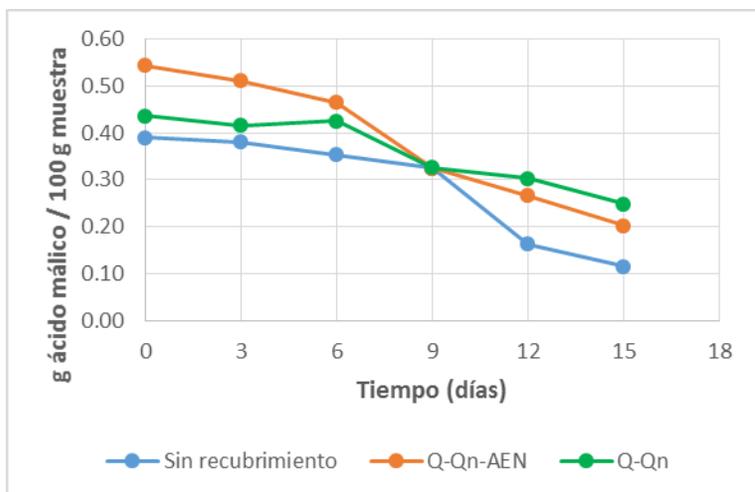
Gráfica B.6. Valores promedio del cambio en el pH a 35°C



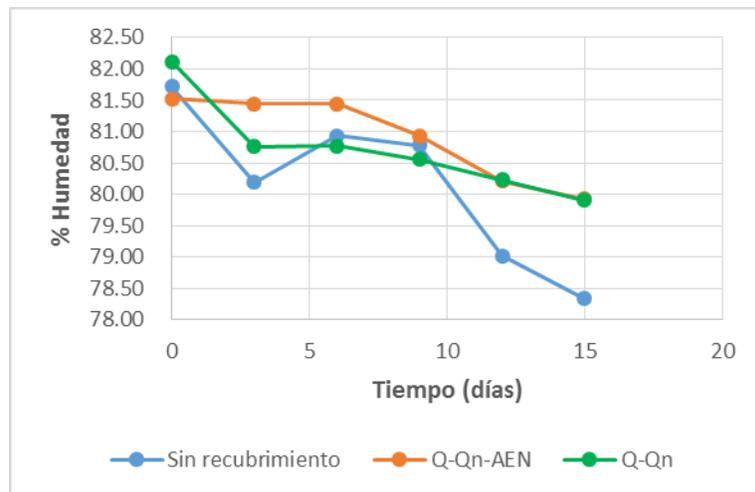
Gráfica B.7. Valores promedio del cambio en el % de acidez a 4°C



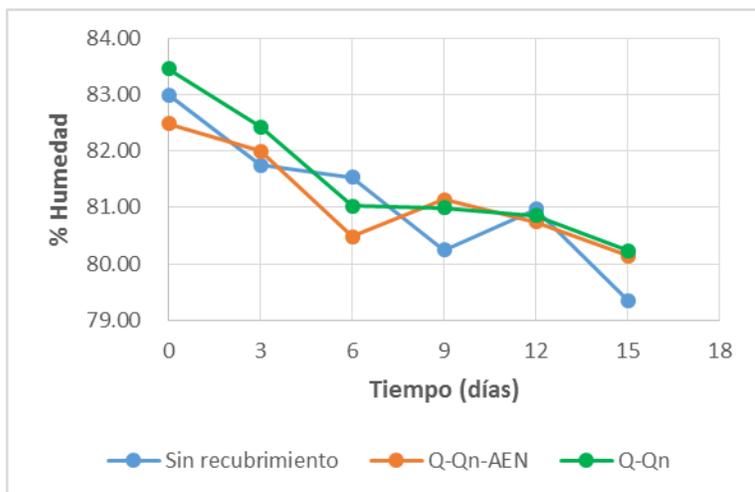
Gráfica B.8. Valores promedio del cambio en el % de acidez a 25°C



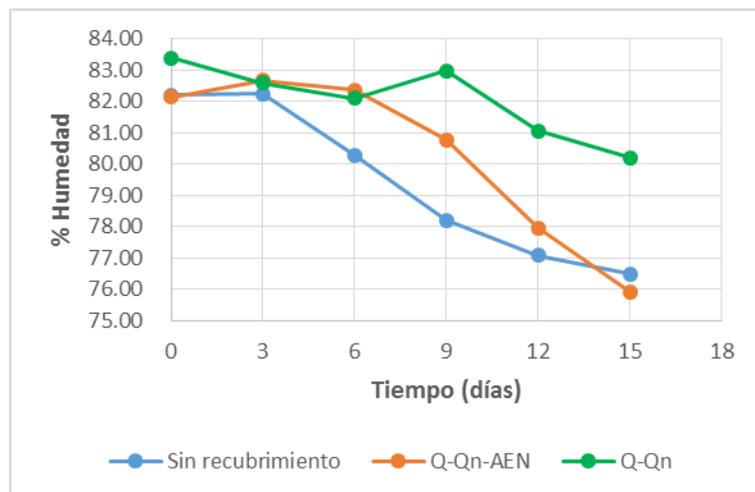
Gráfica B.9. Valores promedio del cambio en el % de acidez a 35°C



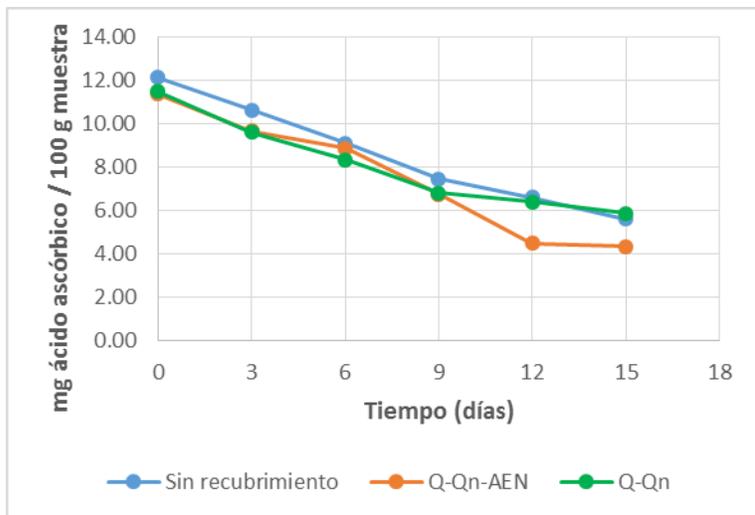
Gráfica B.10. Valores promedio del cambio en el % de humedad a 4°C



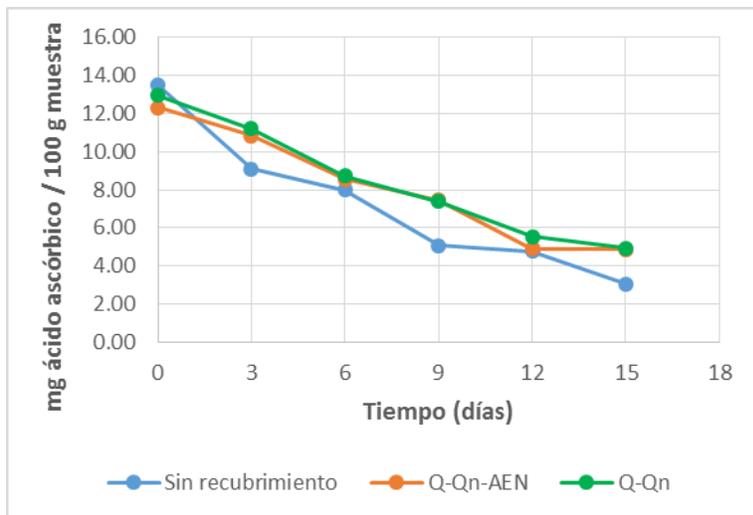
Gráfica B.11. Valores promedio del cambio en el % de humedad a 25°C



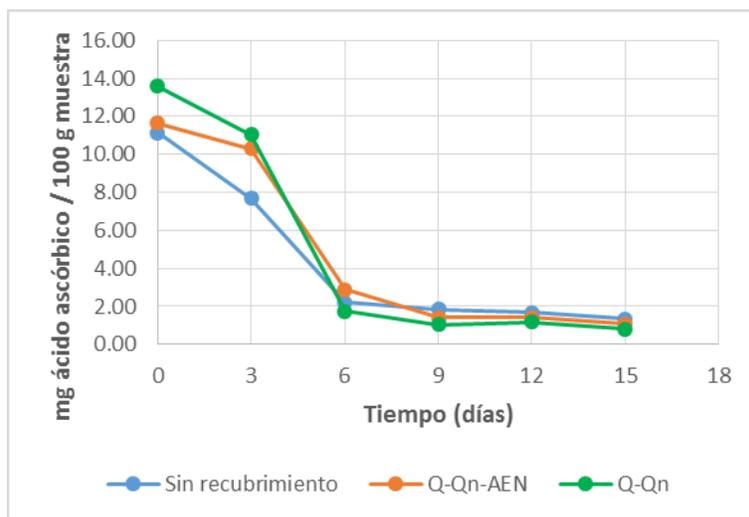
Gráfica B.12. Valores promedio del cambio en el % de humedad a 35°C



Gráfica B.13. Valores promedio del cambio en el contenido de vitamina C a 4°C



Gráfica B.14. Valores promedio del cambio en el contenido de vitamina C a 25°C



Gráfica B.15. Valores promedio del cambio en el contenido de vitamina C a 35°C

Anexo C. Descripción de las metodologías aplicadas en el estudio de vida de anaquel y evaluación sensorial

C.1. Estudio de vida de anaquel

Las determinaciones fisicoquímicas, a excepción del % de humedad, se realizaron con el jugo de manzana extraído de cada manzana 'Golden Delicious'.

C.1.1. Determinación de los Grados Brix (°Bx)

De acuerdo con la NMX-F-103-2009. Alimentos-Determinación de grados Brix en alimentos y bebidas, Método de ensayo (Prueba) (SE, 2009a), la manera de medir el contenido de glúcidos y sólidos solubles en frutas es empleando un refractómetro escala Brix. Con este método, además de medir el contenido de azúcar en un líquido, también se incluye en la lectura a los componentes solubles en agua (aminoácidos, ácidos orgánicos, proteínas, vitaminas, etc.).

La metodología establece que, durante la lectura de la muestra, el refractómetro se debe colocar en una posición tal que difunda la luz. En primer, se debe limpiar cuidadosamente el prisma del refractómetro con alcohol etílico y posteriormente, se debe verificar la exactitud de este con agua a temperatura ambiente, de lo contrario se debe ajustar manualmente. Se coloca la muestra sobre el prisma, se cierra y se ajusta firmemente moviendo el brazo giratorio del aparato hacia adelante y hacia atrás hasta que el campo visual se divida en dos partes, una luminosa y otra oscura. La línea divisoria entre ambas partes se le conoce como "línea margen". Se ajusta la línea margen y se lee directamente el por ciento de sólidos en la escala Brix (Figura C.1).



Figura C.1. Refractómetro ATAGO-ATC-1 empleado durante la investigación para determinar °Bx

C.1.2. Determinación del pH

De acuerdo con la NMX-F-317-NORMEX-2013. Alimentos-Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas-Método Potenciométrico (Método de Prueba) (SE, 2013), la determinación del pH de una muestra consiste en dos etapas: la verificación o calibración del equipo y la medición de la muestra.

C.1.2.1. Calibración del potenciómetro marca Thermo, modelo Orión 720-A+ (Figura C.2)

- Conectar el potenciómetro y esperar a que la pantalla indique la medida de pH
- Presionar la tecla *CALIBRATE* del potenciómetro
- Oprimir la tecla 3 cuando el potenciómetro requiera el número de soluciones amortiguadoras que se deben introducir y posteriormente oprimir la tecla *YES*. Las soluciones amortiguadoras tienen un pH conocido: 4, 7 y 10
- Introducir el electrodo del potenciómetro en la solución amortiguadora pH 4
- Esperar a que el potenciómetro indique *RDY* y oprimir la tecla *YES*
- Retirar el electrodo y lavarlo con agua destilada y eliminar el exceso de agua con un papel absorbente
- Repetir la acción con las soluciones de pH 7 y pH 10 en dicho orden



Figura C.2. Potenciómetro Orión 720-A+ empleado durante la investigación para determinar el pH

C.1.2.2. Medición de la muestra

- Se miden 10 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se adicionan 100 mL de agua destilada
- Introducir el electrodo del potenciómetro previamente calibrado en la solución de la muestra
- Esperar a que el potenciómetro indique *RDY* y tomar la lectura directamente
- Extraer el electrodo de la solución y lavarlo cuidadosamente con agua destilada y eliminar el exceso de agua con un papel absorbente

C.1.3. Determinación del % de acidez (g ácido málico/100 g muestra)

Con base en la NMX-FF-011-1982 (SE, 1982), la determinación del % de acidez consiste en una titulación ácido-base empleando hidróxido de sodio y fenolftaleína como indicador. Previo al seguimiento de la metodología que indica la norma mexicana, se preparó la solución de hidróxido de sodio y se valoró con biftalato de potasio. Adicionalmente, se preparó la solución indicadora.

C.1.3.1. Preparación de la solución de NaOH

La solución de NaOH se preparó disolviendo el hidróxido de sodio (lentejas) con agua destilada. La masa a pesar de NaOH y el volumen de agua dependen del volumen a preparar de la solución. Considerando 1 litro, se realizó el siguiente cálculo:

$$\frac{0.1 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{40 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times 1000 \text{ mL} = 4 \text{ g NaOH}$$

C.1.3.2. Preparación de la solución indicadora de fenolftaleína

La solución de fenolftaleína se preparó disolviendo 1 gramo de fenolftaleína en 100 mililitros de etanol para obtener una solución al 1%.

C.1.3.3. Valoración de la solución de NaOH con biftalato de potasio

El biftalato de potasio que se emplea en la valoración de NaOH se debe someter a un secado en estufa a 110°C durante una hora y posteriormente enfriar en un desecador. Con base en el siguiente cálculo, se determinó la cantidad a pesar de biftalato de potasio considerando un gasto de 10.0 mL de NaOH en cada repetición.

$$0.01 \text{ L disoln NaOH} \left(\frac{0.1 \text{ mol NaOH}}{\text{L disoln NaOH}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol Bift}}{1 \text{ mol NaOH}} \right) \left(\frac{204.22 \text{ g Bift}}{1 \text{ mol Bift}} \right) = 0.2042 \text{ g Biftalato}$$

- Pesarse en la balanza analítica marca OHAUS (Figura C.3) la cantidad determinada en el cálculo
- En un matraz Erlenmeyer, disolver el biftalato de potasio en 50 mL de agua destilada
- Adicionar tres gotas de fenolftaleína al 1%
- Titular con NaOH y detener la misma hasta que el indicador vire a un rosa muy tenue
- Registrar el volumen gastado de NaOH y realizar la metodología por triplicado para determinar la concentración real de la solución de NaOH

C.1.3.4. Preparación y valoración de la muestra

- A partir del jugo extraído de la manzana, transferir 10 mL de la muestra y vertir en un matraz Erlenmeyer. Esta operación debe realizarse rápidamente para evitar posibles pérdidas de humedad
- Diluir con aproximadamente 50 mL de agua destilada
- Adicionar tres gotas de fenolftaleína al 1%
- Titular con NaOH y detener la misma hasta que el indicador vire a un rosa muy tenue y que permanezca durante 30 segundos
- Registrar el volumen gastado de NaOH y realizar el procedimiento por triplicado



Figura C.3. Balanza analítica marca OHAUS empleada durante la investigación para pesar reactivos

C.1.4. Determinación del contenido de humedad (%H)

Hay diferentes técnicas para determinar el contenido de humedad de los alimentos que se basan en sus características y naturaleza de este. En esta investigación, el % de humedad se determinó de manera automatizada con el método de termobalanza de acuerdo con la metodología propuesta González *et al.* (2014) con algunas modificaciones.

- Encender el equipo marca OHAUS MB200 (Figura C.4)

- Programar la termobalanza en *secado automático* a una temperatura de 130°C
- Tarar y pesar de 0.5 a 1.0 g de muestra en la charola de aluminio limpia
- Realizar la determinación y registrar la pérdida de masa o el porcentaje de humedad hasta que no haya variación en la lectura o hasta que el equipo lo indique

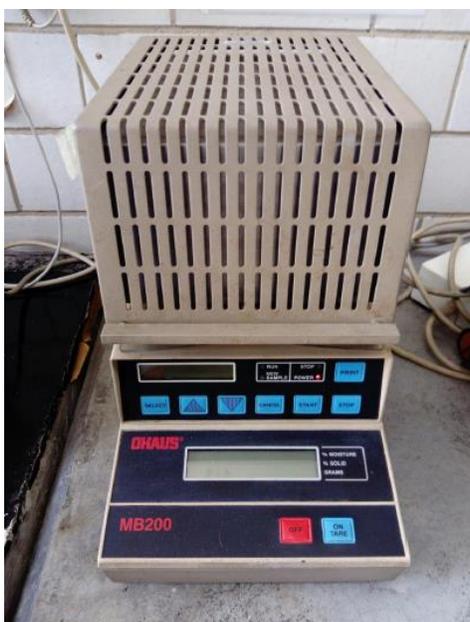


Figura C.4. Termobalanza marca OHAUS modelo MB200 empleada durante la investigación para determinar el % de humedad

C.1.5. Determinación del contenido de vitamina C

De acuerdo con la metodología 967.21 señalada en la AOAC (1995), la determinación de ácido ascórbico se cuantifica mediante una titulación redox. En esta determinación se requiere de la preparación de reactivos como ácido acético al 5% y la solución de 2,6-diclorofenol indofenol.

C.1.5.1. Preparación de la disolución de ácido acético al 5%

La disolución de ácido acético al 5% se realizó tomando 5 mL de ácido acético glacial por cada 100 mL de la disolución. El volumen de agua y de reactivo depende de la cantidad a preparar.

C.1.5.2. Preparación de la disolución patrón de ácido ascórbico

- Pesar 0.1 g de ácido ascórbico y disolver en una mínima cantidad de ácido acético al 5%
- Transferir a un matraz aforado de 100 mL y se lleva al aforo con ácido acético al 5%. Es importante que el matraz aforado sea color ámbar o que permanezca cubierto con papel aluminio debido a que el ácido ascórbico es un compuesto sensible a la luz

C.1.5.3. Preparación de la disolución de 2,6-diclorofenol-indofenol

- Pesar 100 mg de 2,6-diclorofenol-indofenol con 50 mg de bicarbonato de sodio
- Disolver con agua destilada y se lleva al aforo en un matraz de un litro

C.1.5.4. Valoración del 2,6-diclorofenol-indofenol

- En un matraz Erlenmeyer colocar una alícuota de 1 mL de la disolución patrón de ácido ascórbico
- Adicionar 9 mL de la disolución de ácido acético al 5%
- Titular con la disolución de 2,6-diclorofenol-indofenol hasta que persista el color rosado por lo menos durante 10 segundos. La cantidad empleada se considera como el volumen de 2,6-diclorofenol-indofenol necesario para oxidar un miligramo de ácido ascórbico

C.1.5.5. Valoración de la muestra

La metodología se ajustó de acuerdo con el contenido estimado de vitamina C presente en las muestras y a la limitante de la cantidad.

- Pesar 1 gramo de la muestra en un vaso de precipitados, e inmediatamente homogeneizar con 50 mL de ácido acético al 5%
- Transvasar a un matraz volumétrico de 100 mL y llevar al aforo con agua destilada, dejar que sedimente el material insoluble y filtrar a través de papel filtro

- Tomar tres alícuotas de 10 mL y colocar cada una en un matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Titular inmediatamente con la disolución valorada de 2,6-diclorofenol-indofenol hasta que persista el color rosado al menos 10 segundos

Con el volumen de disolución de 2,6-diclorofenol-indofenol utilizado en la titulación del estándar de ácido ascórbico y el volumen utilizado en la muestra, calcular el contenido de ácido ascórbico en mg/100 g de muestra, se debe considerar el volumen de aforo y de la alícuota de la muestra.

C.2. Evaluación sensorial

C.2.1. Proceso de elaboración de las mermeladas de manzana ‘Golden Delicious’ con los diferentes grupos de fruta recubierta y sin recubrir

Posterior a la caracterización de la fruta de cada grupo, se llevó a cabo la cocción de la fruta en una parrilla de gas con cuatro quemadores. En la Figura C.5 se presenta el diagrama de proceso que se siguió para elaborar la mermelada de manzana.

C.2.2. Aplicación de la evaluación sensorial

La evaluación sensorial se aplicó en el vestíbulo del Edificio B de la Facultad de Química de la UNAM. Las muestras se colocaron en un plato blanco identificándose con un código numérico elegido aleatoriamente para evitar que los consumidores tengan alguna información que le permita identificar la muestra y evitar sesgos en los resultados. En la Figura C.6 se presenta el cuestionario aplicado para realizar la evaluación sensorial.

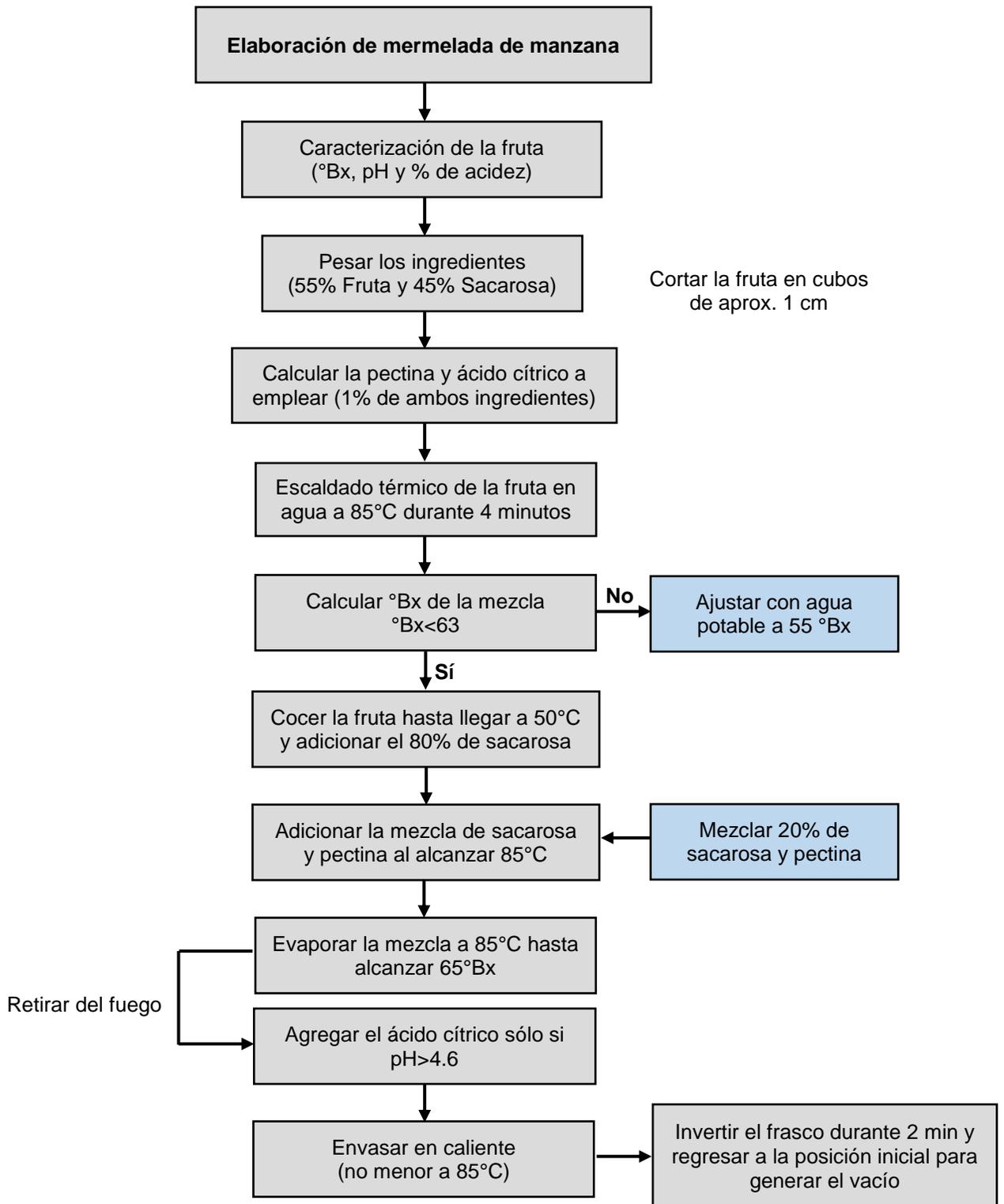


Figura C.5. Diagrama del proceso de elaboración de mermelada de manzana sin conservadores



1. ¿Es usted consumidor habitual de mermelada? Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 5.

SI NO

2. Indique ¿Con qué frecuencia consume mermelada?

a) Nunca b) 1 vez por semana c) 2 veces por semana
 d) 1 vez al mes e) Diario

3. Indique ¿Con qué frecuencia consume mermelada de manzana?

a) Nunca b) 1 vez por semana c) 2 veces por semana
 d) 1 vez al mes e) Diario

4. ¿Cuál es el sabor de su preferencia en una mermelada? Indique sólo una opción

a) Fresa b) Zarzamora c) Mango d) Chabacano
 e) Piña f) Manzana

5. Sin degustar las muestras, ¿Qué tanto le gusta o le disgusta el color de las muestras?

Muestra	013	691	723	442
Me gusta mucho				
Me gusta				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta				
Me disgusta mucho				

6. Sin degustar las muestras, ¿Qué tanto le gusta o le disgusta el aroma de las muestras?

Muestra	013	691	723	442
Me gusta mucho				
Me gusta				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta				
Me disgusta mucho				

7. Sin degustar las muestras, ¿Qué tanto le gusta o le disgusta la textura de las muestras?

Muestra	013	691	723	442
Me gusta mucho				
Me gusta				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta				
Me disgusta mucho				

8. Deguste la muestra e indique qué tanto le gusta o le disgusta el sabor de las muestras

Muestra	013	691	723	442
Me gusta mucho				
Me gusta				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta				
Me disgusta mucho				

9. En caso de haber percibido algún resabio, mencione cuál fue

Muestra	Resabio
013	
691	
723	
442	

10. ¿Compraría alguna de las mermeladas que se le han proporcionado para evaluar?

	013	691	723	442
Si				
No				

11. Ordene las muestras de acuerdo a su preferencia.

Aceptación _____ > _____ > _____ > _____ Rechazo

12. ¿Cuál es el principal motivo de su preferencia?

Color Consistencia Dulzor Acidez Aroma
 Otro: _____

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

Figura C.6. Cuestionario aplicado a cien jueces no entrenados durante la evaluación sensorial

Anexo D. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en el estudio de vida de anaquel y evaluación sensorial

En las Tablas D.1 a D.34 se presentan los resúmenes de análisis de varianza, ANDEVA, al 95% aplicado a cada parámetro fisicoquímico evaluado durante los días del estudio de vida de anaquel a las tres temperaturas de almacenamiento.

Tabla D.1. ANDEVA de °Brix de los diferentes tratamientos a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	19.8857	6	3.3143	16.0000	0.0000	2.5082
Recubrimiento	3.0286	4	0.7571	3.6552	0.0184	2.7763
Error	4.9714	24	0.2071			
Total	27.8857	34				

Tabla D.2. ANDEVA de °Brix de Q-Qn-AEN a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	14.5000	5	2.9000	17.4000	0.0001	3.3258
Recubrimiento	0.3333	2	0.1667	1.0000	0.4019	4.1028
Error	1.6667	10	0.1667			
Total	16.5000	17				

Tabla D.3. ANDEVA de °Brix de los diferentes tratamientos a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	13.8857	6	2.3143	7.9672	0.0001	2.5082
Recubrimiento	3.4286	4	0.8571	2.9508	0.0408	2.7763
Error	6.9714	24	0.2905			
Total	24.2857	34				

Tabla D.4. ANDEVA de °Brix de Q-Qn-AEN a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	6.9444	5	1.3889	11.3636	0.0007	3.3258
Recubrimiento	1.4444	2	0.7222	5.9091	0.0202	4.1028
Error	1.2222	10	0.1222			
Total	9.6111	17				

Tabla D.5. ANDEVA de °Brix de los diferentes tratamientos a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	13.9429	6	2.3238	6.2564	0.0005	2.5082
Recubrimiento	3.8857	4	0.9714	2.6154	0.0604	2.7763
Error	8.9143	24	0.3714			
Total	26.7429	34				

Tabla D.6. ANDEVA de °Brix de Q-Qn-AEN a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	20.2778	5	4.0556	18.2500	0.0001	3.3258
Recubrimiento	5.7778	2	2.8889	13.0000	0.0017	4.1028
Error	2.2222	10	0.2222			
Total	28.2778	17				

Tabla D.7. ANDEVA de pH de los diferentes tratamientos a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.1911	6	0.0319	12.2346	0.0000	2.5082
Recubrimiento	0.0409	4	0.0102	3.9261	0.0137	2.7763
Error	0.0625	24	0.0026			
Total	0.2945	34				

Tabla D.8. ANDEVA de pH de Q-Qn-AEN a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.5592	5	0.1118	22.1820	0.0000	3.3258
Recubrimiento	0.0336	2	0.0168	3.3282	0.0780	4.1028
Error	0.0504	10	0.0050			
Total	0.6432	17				

Tabla D.9. ANDEVA de pH de los diferentes tratamientos a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.2442	6	0.0407	4.3589	0.0041	2.5082
Recubrimiento	0.0197	4	0.0049	0.5282	0.7161	2.7763
Error	0.2241	24	0.0093			
Total	0.4881	34				

Tabla D.10. ANDEVA de pH de Q-Qn-AEN a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.4936	5	0.0987	44.8195	0.0000	3.3258
Recubrimiento	0.0173	2	0.0087	3.9377	0.0548	4.1028
Error	0.0220	10	0.0022			
Total	0.5329	17				

Tabla D.11. ANDEVA de pH de los diferentes tratamientos a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.8664	6	0.1444	28.6324	0.0000	2.5082
Recubrimiento	0.1004	4	0.0251	4.9749	0.0046	2.7763
Error	0.1210	24	0.0050			
Total	1.0878	34				

Tabla D.12. ANDEVA de pH de Q-Qn-AEN a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.2936	5	0.0587	27.8563	0.0000	3.3258
Recubrimiento	0.1565	2	0.0782	37.1072	0.0000	4.1028
Error	0.0211	10	0.0021			
Total	0.4712	17				

Tabla D.13. ANDEVA del % de acidez de los diferentes tratamientos a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.0316	6	0.0053	1.4278	0.2451	2.5082
Recubrimiento	0.0008	4	0.0002	0.0564	0.9937	2.7763
Error	0.0886	24	0.0037			
Total	0.1211	34				

Tabla D.14. ANDEVA del % de acidez de Q-Qn-AEN a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.0631	5	0.0126	58.5291	0.0000	3.3258
Recubrimiento	0.0106	2	0.0053	24.5984	0.0001	4.1028
Error	0.0022	10	0.0002			
Total	0.0759	17				

Tabla D.15. ANDEVA del % de acidez de los diferentes tratamientos a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.0934	6	0.0156	7.1460	0.0002	2.5082
Recubrimiento	0.0213	4	0.0053	2.4466	0.0739	2.7763
Error	0.0523	24	0.0022			
Total	0.1669	34				

Tabla D.16. ANDEVA del % de acidez de Q-Qn-AEN a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.0215	5	0.0043	14.6649	0.0002	3.3258
Recubrimiento	0.0010	2	0.0005	1.7846	0.2174	4.1028
Error	0.0029	10	0.0003			
Total	0.0255	17				

Tabla D.17. ANDEVA del % de acidez de los diferentes tratamientos a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.0647	6	0.0108	5.7168	0.0008	2.5082
Recubrimiento	0.0135	4	0.0034	1.7949	0.1628	2.7763
Error	0.0453	24	0.0019			
Total	0.1235	34				

Tabla D.18. ANDEVA del % de acidez de Q-Qn-AEN a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	0.1811	5	0.0362	21.3272	0.0000	3.3258
Recubrimiento	0.0306	2	0.0153	8.9935	0.0058	4.1028
Error	0.0170	10	0.0017			
Total	0.2287	17				

Tabla D.19. ANDEVA del % de humedad de los diferentes tratamientos a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	21.8576	6	3.6429	3.6687	0.0100	2.5082
Recubrimiento	4.6127	4	1.1532	1.1613	0.3525	2.7763
Error	23.8313	24	0.9930			
Total	50.3015	34				

Tabla D.20. ANDEVA del % de humedad de Q-Qn-AEN a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	11.2442	5	2.2488	10.7710	0.0009	3.3258
Recubrimiento	1.8308	2	0.9154	4.3845	0.0429	4.1028
Error	2.0879	10	0.2088			
Total	15.1630	17				

Tabla D.21. ANDEVA del % de humedad de los diferentes tratamientos a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	1.5702	6	0.2617	0.3415	0.9079	2.5082
Recubrimiento	17.8924	4	4.4731	5.8369	0.0020	2.7763
Error	18.3925	24	0.7664			
Total	37.8551	34				

Tabla D.22. ANDEVA del % de humedad de Q-Qn-AEN a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	17.6185	5	3.5237	20.2113	0.0001	3.3258
Recubrimiento	0.4786	2	0.2393	1.3727	0.2973	4.1028
Error	1.7434	10	0.1743			
Total	19.8406	17				

Tabla D.23. ANDEVA del % de humedad de los diferentes tratamientos a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	33.7749	6	5.6292	4.7611	0.0025	2.5082
Recubrimiento	13.4211	4	3.3553	2.8379	0.0465	2.7763
Error	28.3759	24	1.1823			
Total	75.5720	34				

Tabla D.24. ANDEVA del % de humedad de Q-Qn-AEN a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	64.3312	5	12.8662	9.9147	0.0012	3.3258
Recubrimiento	21.5946	2	10.7973	8.3204	0.0075	4.1028
Error	12.9770	10	1.2977			
Total	98.9027	17				

Tabla D.25. ANDEVA del contenido de vitamina C de los diferentes tratamientos a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	138.7857	6	23.1310	21.9275	0.0000	2.5082
Recubrimiento	9.6198	4	2.4050	2.2798	0.0902	2.7763
Error	25.3171	24	1.0549			
Total	173.7227	34				

Tabla D.26. ANDEVA del contenido de vitamina C de Q-Qn-AEN a 4°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	92.7241	5	18.5448	70.7227	0.0000	3.3258
Recubrimiento	3.1017	2	1.5509	5.9144	0.0202	4.1028
Error	2.6222	10	0.2622			
Total	98.4481	17				

Tabla D.27. ANDEVA del contenido de vitamina C de los diferentes tratamientos a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	294.9898	6	49.1650	242.0909	0.0000	2.5082
Recubrimiento	4.5762	4	1.1441	5.6334	0.0024	2.7763
Error	4.8740	24	0.2031			
Total	304.4401	34				

Tabla D.28. ANDEVA del contenido de vitamina C de Q-Qn-AEN a 25°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	162.5983	5	32.5197	63.9849	0.0000	3.3258
Recubrimiento	4.8080	2	2.4040	4.7300	0.0358	4.1028
Error	5.0824	10	0.5082			
Total	172.4887	17				

Tabla D.29. ANDEVA del contenido de vitamina C de los diferentes tratamientos a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	667.8158	6	111.3026	116.1082	0.0000	2.5082
Recubrimiento	5.9615	4	1.4904	1.5547	0.2185	2.7763
Error	23.0067	24	0.9586			
Total	696.7839	34				

Tabla D.30. ANDEVA del contenido de vitamina C de Q-Qn-AEN a 35°C

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Día	360.4334	5	72.0867	73.6021	0.0000	3.3258
Recubrimiento	1.1291	2	0.5646	0.5764	0.5795	4.1028
Error	9.7941	10	0.9794			
Total	371.3566	17				

Tabla D.31. ANDEVA del atributo color de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Mermelada	18.1300	3	6.0433	6.3957	0.0003	2.6274
Error	374.1800	396	0.9449			
Total	392.3100	399				

Tabla D.32. ANDEVA del atributo aroma de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Mermelada	1.0475	3	0.3492	0.7693	0.5117	2.6274
Error	179.7300	396	0.4539			
Total	180.7775	399				

Tabla D.33. ANDEVA del atributo textura de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Mermelada	14.8275	3	4.9425	4.9195	0.0023	2.6274
Error	397.8500	396	1.0047			
Total	412.6775	399				

Tabla D.34. ANDEVA del atributo sabor de las mermeladas evaluadas en el análisis sensorial

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Mermelada	2.0600	3	0.6867	0.7463	0.5250	2.6274
Error	364.3800	396	0.9202			
Total	366.4400	399				

Anexo E. Resultados del método DMS al 95% de confianza para los datos obtenidos en el estudio de vida de anaquel y análisis sensorial

En las Tablas E.1 a E.18 se presentan los resúmenes del método de diferencias mínimas significativas aplicado a cada parámetro fisicoquímico y atributo sensorial donde se determinó mediante una ANDEVA, el rechazo de la hipótesis nula.

Tabla E.1. Prueba DMS de °Bx de las manzanas almacenadas a 4°C

DMS			0.5021		
	Sin recubrir	Q-Qn	Candelilla	Qn-SA	Carnauba
Sin recubrir	-	0.1429	0.2857	0.4286	0.8571
Q-Qn	-	-	0.1429	0.2857	0.7143
Candelilla	-	-	-	0.1429	0.5714
Qn-SA	-	-	-	-	0.4286
Carnauba	-	-	-	-	-

Tabla E.2. Prueba DMS de °Bx de las manzanas almacenadas a 25°C

DMS			0.5946		
	Sin recubrir	Q-Qn	Qn-SA	Carnauba	Candelilla
Sin recubrir	-	0.1429	0.5714	0.5714	0.8571
Q-Qn	-	-	0.4286	0.4286	0.7143
Qn-SA	-	-	-	-	0.2857
Carnauba	-	-	-	-	0.2857
Candelilla	-	-	-	-	-

Tabla E.3. Prueba DMS de pH de las manzanas almacenadas a 4°C

DMS			0.0563		
	Qn-SA	Carnauba	Candelilla	Sin recubrir	Q-Qn
Qn-SA	-	0.0305	0.0657	0.0857	0.0890
Carnauba	-	-	0.0352	0.0552	0.0586
Candelilla	-	-	-	0.0200	0.0233
Sin recubrir	-	-	-	-	0.0033
Q-Qn	-	-	-	-	-

Tabla E.4. Prueba DMS de pH de las manzanas almacenadas a 35°C

DMS			0.0783		
	Carnauba	Candelilla	Qn-SA	Sin recubrir	Q-Qn
Carnauba	-	0.0100	0.0243	0.0286	0.1471
Candelilla	-	-	0.0143	0.0186	0.1371
Qn-SA	-	-	-	0.0043	0.1229
Sin recubrir	-	-	-	-	0.1186
Q-Qn	-	-	-	-	-

Tabla E.5. Prueba DMS del % de humedad de las manzanas almacenadas a 25°C

DMS			0.9658		
	Q-Qn	Candelilla	Carnauba	Qn-SA	Sin recubrir
Q-Qn	-	0.2093	0.4003	1.5943	1.6826
Candelilla	-	-	0.1910	1.3851	1.4733
Carnauba	-	-	-	1.1940	1.2823
Qn-SA	-	-	-	-	0.0882
Sin recubrir	-	-	-	-	-

Tabla E.6. Prueba DMS del % de humedad de las manzanas almacenadas a 35°C

DMS			1.1996		
	Carnauba	Q-Qn	Candelilla	Qn-SA	Sin recubrir
Carnauba	-	0.3107	0.4751	0.5455	1.8078
Q-Qn	-	-	0.1645	0.2348	1.4972
Candelilla	-	-	-	0.0703	1.3327
Qn-SA	-	-	-	-	1.2624
Sin recubrir	-	-	-	-	-

Tabla E.7. Prueba DMS del contenido de vitamina C de las manzanas almacenadas a 25°C

DMS			0.4972		
	Carnauba	Q-Qn	Candelilla	Q-SA	Sin recubrir
Carnauba		0.0222	0.2997	0.5435	0.9708
Q-Qn			0.2775	0.5213	0.9485
Candelilla				0.2438	0.6710
Q-SA					0.4273
Sin recubrir					

Tabla E.8. Prueba DMS de °Bx de las manzanas Q-Qn-AEN a 25°C

DMS		0.4497	
	Q-Qn-AEN	Sin recubrir	Q-Qn
Q-Qn-AEN	-	0.1667	0.6667
Sin recubrir	-	-	0.5000
Q-Qn	-	-	-

Tabla E.9. Prueba DMS de °Bx de las manzanas Q-Qn-AEN a 35°C

DMS		0.6064	
	Sin recubrir	Q-Qn-AEN	Q-Qn
Sin recubrir	-	0.3333	1.3333
Q-Qn-AEN	-	-	1.0000
Q-Qn	-	-	-

Tabla E.10. Prueba DMS de pH de las manzanas Q-Qn-AEN a 35°C

DMS		0.0591	
	Sin recubrir	Q-Qn-AEN	Q-Qn
Sin recubrir	-	0.1512	0.2238
Q-Qn-AEN	-	-	0.0727
Q-Qn	-	-	-

Tabla E.11. Prueba DMS del % acidez de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 4°C

DMS		0.0189	
	Sin recubrir	Q-Qn	Q-Qn-AEN
Sin recubrir	-	0.0343	0.0592
Q-Qn	-	-	0.0249
Q-Qn-AEN	-	-	-

Tabla E.12. Prueba DMS del % acidez de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C

DMS		0.0530	
	Q-Qn-AEN	Q-Qn	Sin recubrir
Q-Qn-AEN	-	0.0261	0.0975
Q-Qn	-	-	0.0714
Sin recubrir	-	-	-

Tabla E.13. Prueba DMS del % de humedad de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 4°C

DMS		0.5878	
	Q-Qn-AEN	Q-Qn	Sin recubrir
Q-Qn-AEN	-	0.1890	0.7510
Q-Qn	-	-	0.5619
Sin recubrir	-	-	-

Tabla E.14. Prueba DMS del %H de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C

DMS		1.4653	
	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir
Q-Qn	-	1.7492	2.6364
Q-Qn-AEN	-	-	0.8872
Sin recubrir	-	-	-

Tabla E.15. Prueba DMS del contenido de vitamina C de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 4°C

DMS		0.6587	
	Sin recubrir	Q-Qn	Q-Qn-AEN
Sin recubrir		0.5048	1.0168
Q-Qn			0.5120
Q-Qn-AEN			

Tabla E.16. Prueba DMS del contenido de vitamina C de las manzanas Q-Qn-AEN almacenadas a 25°C

DMS		0.9170	
	Q-Qn	Q-Qn-AEN	Sin recubrir
Q-Qn		0.3014	1.2155
Q-Qn-AEN			0.9141
Sin recubrir			

Tabla E.17. Prueba DMS del atributo de color evaluado en las mermeladas durante la evaluación sensorial

DMS		0.2694		
	Sin recubrir	Carnauba	Candelilla	Q-Qn
Sin recubrir		0.0700	0.4200	0.4900
Carnauba			0.3500	0.4200
Candelilla				0.0700
Q-Qn				

Tabla E.18. Prueba DMS del atributo de textura evaluado en las mermeladas durante la evaluación sensorial

DMS			0.2778	
	Carnauba	Sin recubrir	Q-Qn	Candelilla
Carnauba		0.2300	0.3000	0.5400
Sin recubrir			0.0700	0.3100
Q-Qn				0.2400
Candelilla				

Anexo F. Disposición de los residuos generados durante la presente investigación

En las Figuras F1 a F3 se presentan los diagramas de proceso de las tres etapas de la investigación señalando la disposición de los residuos generados durante las mismas y la respectiva descripción del tratamiento.

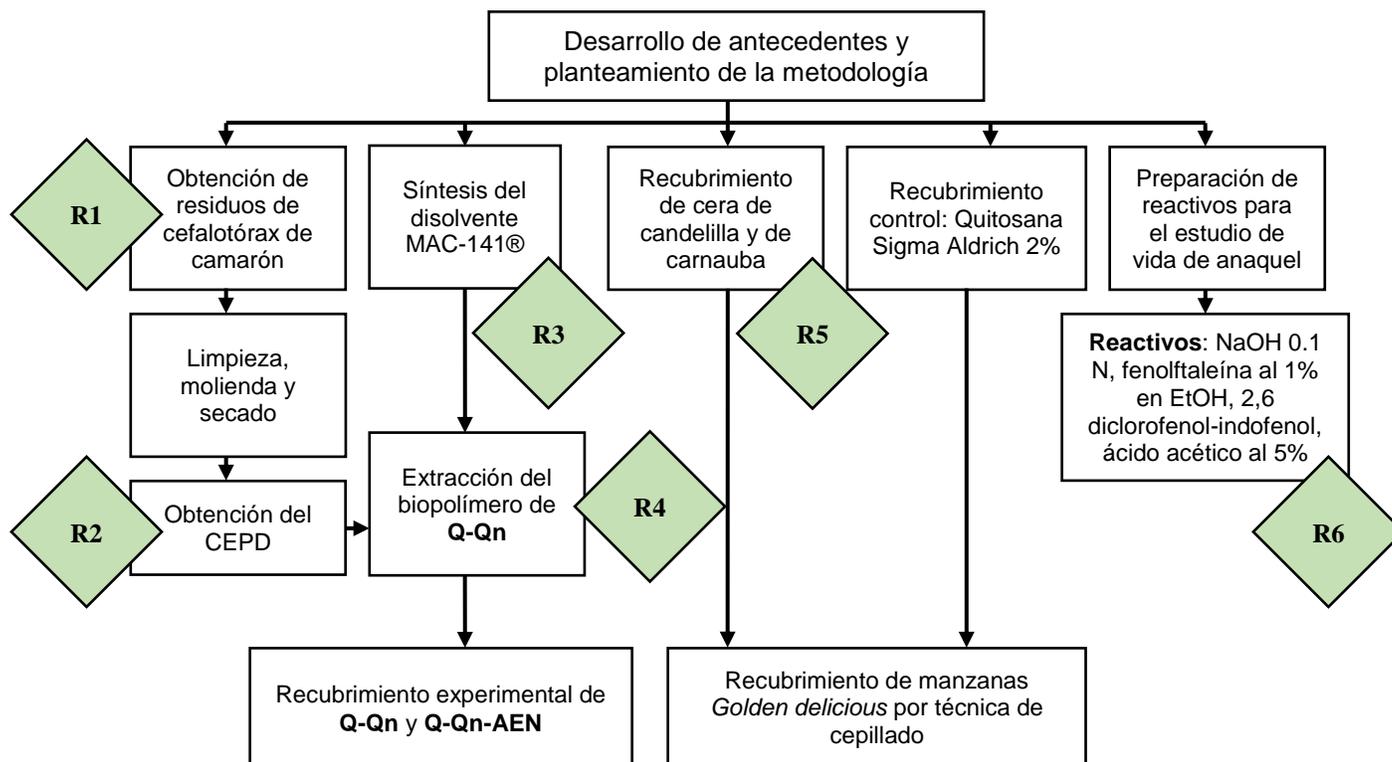


Figura F.1. Tratamiento de los residuos generados durante la primera etapa de la presente investigación

Tratamiento:

R1: El efluente del lavado de los residuos de cefalotórax y exoesqueletos de camarón contiene sales minerales, por lo que se puede desechar al drenaje. El resto de materia orgánica se dispone en la basura orgánica o emplearse en otra investigación.

R2: La parte líquida obtenida en la filtración de este proceso contiene minerales y pigmentos, por lo que se puede desechar al drenaje o emplearse en otra investigación.

R3: En este proceso se obtiene como residuo, la mezcla de metanol, agua y cloruro de calcio no solubilizado. El calcio insoluble puede ser recuperado a través de una filtración y posteriormente sometido a un secado a 80°C en una estufa convencional, el cual puede utilizarse al igual que el metanol en la elaboración de un nuevo disolvente MAC-141© (Flores-Ortega et al, 2004).

R4: El sólido obtenido en la filtración de este proceso contiene una mezcla de harina de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizado con disolvente MAC-141© que puede desecharse en la basura orgánica.

R5: El sólido obtenido en la filtración de las soluciones formadoras de los recubrimientos a base de cera de candelilla y de cera de carnauba se deposita en una bolsa para desecharse en la basura orgánica. La solución sobrante de ambos recubrimientos y que no se emplearon durante la investigación se pueden desechar al drenaje.

R6: Los residuos obtenidos en la valoración del NaOH con biftalato de potasio se encuentran neutralizados luego de la titulación, por lo que pueden desecharse al drenaje.

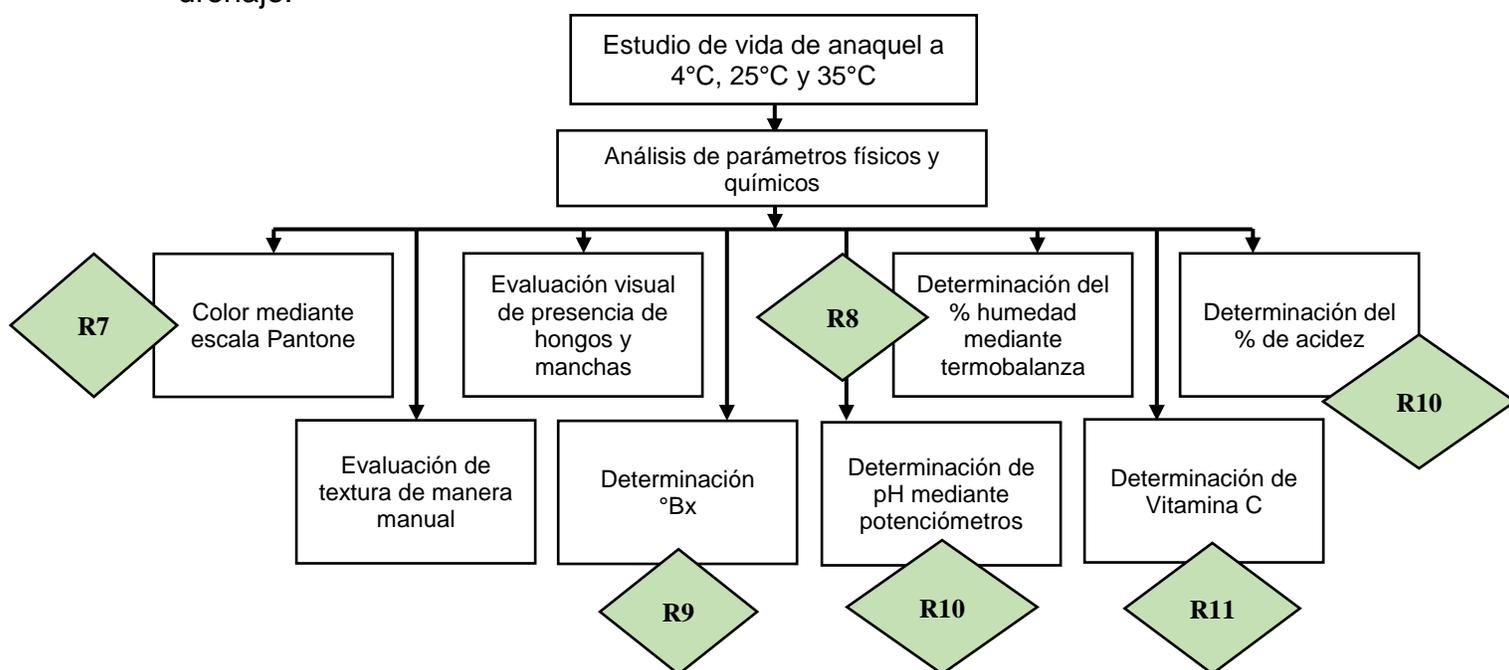


Figura F.2. Tratamiento de los residuos generados durante la segunda etapa de la presente investigación

Tratamiento:

R7: Después de evaluar el color con una escala Pantone ®, el residuo de manzana se coloca en una bolsa para su disposición en la basura orgánica.

R8: La muestra seca se coloca en una bolsa para su disposición en la basura orgánica.

R9: Después de la lectura, se enjuaga el prisma del refractómetro con agua destilada sobre ella en la tarja.

R10: La solución para determinar el pH se emplea para la determinación del % de acidez, sus productos después de la titulación están neutralizados y pueden desecharse al drenaje.

R11: El residuo de 2,6-diclorofenol-indofenol con ácido acético se trata con 1% de carbón activado y se mantiene en agitación durante 1 hora. Finalmente, se deja reposar durante 24 horas, se filtra y se neutraliza para que sea desechado al drenaje. El sedimento obtenido luego de la filtración se colecta y se envía a UGA de la FQ para llevar a cabo una incineración especializada.

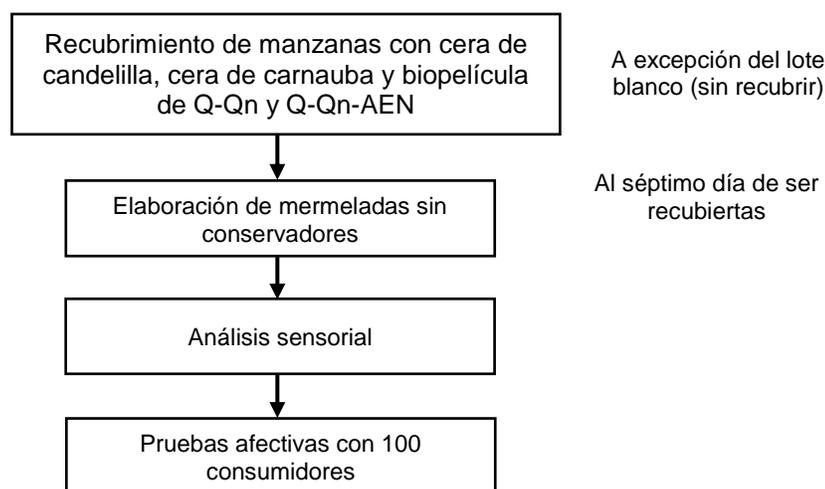


Figura F.3. Tratamiento de los residuos generados durante la tercera etapa de la presente investigación

Tratamiento:

R13: El residuo orgánico no peligroso (Mermelada sobrante) es desechado adecuadamente en la basura orgánica.

R14: Los platos, cucharas, vasos y servilletas se colocan en una bolsa para ser desechadas en la basura inorgánica. Las muestras que no se evaluaron por completo son desechadas en una bolsa para su disposición en la basura orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 1995. Method 967.21. 2,6-Dichloroindophenol Titrimetric Method. *Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry International*.
- AOAC. 2005. Method 942.15. Acidity (Titratable) of Fruit Products. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry International*. Ed. 18, Cap. 37, p.10.
- Ascacio-Valdés, J. Aguilera-Carbó, A., Martínez-Hernández, J., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar, N. 2010. *Euphorbia antisiphilitica* residues as a new source of ellagic acid. *Chemical Papers*. 64:528-532.
- Badú-Dergal, S., 2006. *Química de los alimentos*, Pearson Addison Wesley, 4ta edición, México.
- Barros, I., Guzmán, L., Tarón, A. 2015. Extracción y comparación de la quitina obtenida a partir del caparazón de *Callinectes sapidus* y *Penaeus vannameis*. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 18(1):227-234.
- Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R., Correa-Pacheco, Z., Corona-Rangel, M. 2017. "Quitosano": Un "polisacárido"¹ antimicrobiano versátil para frutas y hortalizas en poscosecha-Una revisión. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(2):103-121.
- Belitz, H. 2009. *Food Chemistry*, Springer, 4ta Edición, Berlín.
- Benichou, M., Ayour, J., Sagar, M., Alahyane, A., Elateri, I., Aitoubahou, A. 2018. Postharvest Technologies for Shelf Life Enhancement of Temperate Fruits. En: *Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits*. Mir, S., Shah, M., Mir, M., eds. Springer, Cham.
- Bosquez-Molina, E., Zavaleta-Avejar, L. 2016. New bioactive biomaterials based on chitosan. En: *Chitosan in the preservation of agricultural commodities*. Bautista-Baños, S., Romanazzi, G., Jiménez-Aparicio, A. eds. Academic Press, 33-64. Massachusetts, Estados Unidos.

¹ Esta palabra no resulta correcta ya que la quitosana no es un polisacárido (no tiene una molécula de fructosa y una de glucosa) sino un poliglúcido ya que sí tiene glucosa [nota de la asesora]

- Brecht, J., Ritenour, M., Haard, N. Chism, G. 2010. Fisiología post cosecha de los productos vegetales En: *Química de los alimentos*. Fennema, O., Samodaran, S., Parkin, K. eds. Acribia, pp. 921-972. Zaragoza, España.
- Cabrera, M. 2004. Análisis de pureza del aceite esencial de naranja. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Camelo, A. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Campos, C., Gerschenson, L., Flores, S. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6):849-875.
- Catzín, C. 2009. Procesos de solubilización/precipitación y de hidrólisis enzimática para la obtención de concentrados de proteína, a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.
- Cerón-Salazar, I., Cardona-Alzate, C. 2010. Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*. 7(13):65-86.
- CFR. 2023. Título 21. Code of Federal Regulación. [En línea] (Actualizado al 22 de diciembre de 2023). Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=18.4.1978> [Último acceso el 30 de abril de 2024].
- De-la-Cruz-Guerra, N. 2019. Evaluación de la sinergia de los recubrimientos naturales provenientes del cefalotórax de jaiba (*Callinectes sapidus*) y del cefalotórax y exoesqueletos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) sobre un fruto no climatérico, frambuesa (*Rubus idaeus*). Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- De-León-Zapata, M., Ventura-Sobrevilla, J., Salinas-Jasso, T., Flores-Gallegos, A., Rodríguez-Herrera, R., Pastrana-Castro, L. Rua-Rodríguez, M., Aguilar, C. 2018.

- Changes of the shelf life of candelilla wax/tarbutash bioactive based nanocoated apples at industrial level conditions. *Scientia Horticultura*. 231:43-48.
- Dos-Santos, R., Arge, L., Costa, S., Machado, N., De-Mello-Farias, P., Rombaldi, C., Oliveira, A. 2015. Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*. 8(2):78-88.
- Enríquez-Estrada, R. y Nava-Arévalo, J. 2016. Estudio de vida de anaquel en productos hortofrutícolas empleando recubrimientos obtenidos de exoesqueletos y cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Eum, H., Linke, M., Lee, S., Zude, M. 2009. Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. "Sapphire"). *European Food Research and Technology*. 229(3):427-434.
- Falguera, V., Quintero, P., Jiménez, A., Muñoz, J., Ibarz, A. 2011. Edible films and coatings: Structures, active function and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*. 22:292-303.
- FAOSTAT. 2022. Statistics database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Roma, Italia. [En línea] (Actualizado al 2021). Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/?#data/QC/visualize> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- Fennema, O., Samodaran, S., Parkin, K. 2010. Química de los alimentos. Acribia, 3ra Edición. Zaragoza, España.
- Fernández, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., García, A., Falcón, A. 2015. Películas y recubrimientos comestibles: Una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 24(3):52-57.
- Fernández, N., Echeverría, D., Mosquera, S., Paz, S. 2017. Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 15(2):134-141.
- Flores-Ortega, R. A. 2008. Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Tesis de doctorado, Programa de

- Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Franco-Vega, A., Reyes-Jurado, F., Cardoso-Ugarte, G., Sosa-Morales, M., Palou, E., López-Malo, A. 2016. Sweet Orange (*Citrus sinensis*) Oils. En: *Essential oils in food presevation, flavor and safety*. London, pp. 3-9.
- Gapper, N., McQuinn, R., Giovannoni, J. 2013. Molecular and genetic regulation of fruit ripening. *Plant Molecular Biology*. 82(6):575-591.
- González-O., I., Sánchez-C., A., García-S., V., Beas-R., J. Aguilar-N., J., Acatzi-S., A., Gómez-S., T., Lucas-F., B. 2014. Manual de Laboratorio de Alimentos II. Semestre 2014-2. Pub. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, pp. 40-58.
- Guerrero-Prieto, V., Trevizo-Enriquez, M., Gardea-Béjar, A., Figueroa-Valenzuela, C., Romo-Chacón, A., Blanco-Pérez, A. 2004. Identificación de levaduras epifitas obtenidas de manzana [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. doméstica (Borkh.) Mansf.] para control biológico post cosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22(2):223-230.
- Gul, K., Ahmad, M., Singh, P., Abas, A. 2018. Postharvest Biology and Technology of Apple. En: *Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits*. Gul, K., Ahmad, N., Singh, P., Abas, A. eds. Springer, pp. 223-243.
- Juárez-Cruz, J. 2019. Estudios de los recubrimientos elaborados con residuos de cefalotórax de jaiba (*Callinectes sapidus*) y del cefalotórax y exoesqueletos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) sobre un fruto climatérico: Mango (*Mangifera indica*). Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Kader, A. 2013. Postharvest technology of horticultural crops-An overview from farm to fork. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 1 (1), pp. 1–8.
- Lara, I. 2013. Bases bioquímicas y fisiológicas de la maduración. En: *Poscosecha de pera, manzana y melocotón*. Viñas, I., Recasens, I., Usall, J., Graell, J., eds. Mundi-Prensa, pp. 75-105. Madrid, España.

- Lárez-Velásquez, C. 2008. Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola*. 8(1):1-22.
- Lin, D. y Zhao, Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 6:60-71.
- Lizardi-Mendoza, J., Argüelles, W, Goycoolea, F. 2016. Chemical Characteristics and Functional Properties of Chitosan. En: *Chitosan in the preservation of agricultural commodities*. Bautista-Baños, S., Romanazzi, G., Jiménez-Aparicio, A. eds. Academic Press, pp. 3-31. Massachusetts, Estados Unidos.
- López-Reyes, J, Spadaro, D., Prella, A., Garibaldi, A., Gullino, M. 2013. Efficacy of plant essential oils on postharvest control of rots caused by fungi on different stone fruits in vivo. *J. Food Prot.* 76:631-639.
- Martínez-González, M., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M., Palomino-Hermosillo, A., López-Guzmán, G. 2017. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19):4075-4087.
- Nakamatsu, J. 2012. La quitosana. *Revista de Química PUCP*. 26(1-2):10-12.
- Ochoa, E., Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., De la Garza, H., Charles-Rodríguez, V., Aguilar, C. 2011. Evaluation of a candelilla wax-based edible coating to prolong the shelf-life quality and safety of apples. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 6(1):92-98.
- OMS. 2020. Dieta saludable. Organización Mundial de la Salud. [En línea] (Actualizado al 29 de abril de 2020). Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> [Último acceso el 30 de abril de 2024].
- Oregel-Zamudio, E., Aguilar, C., Oyoque-Salcedo, G., Angoa-Pérez, V., Mena-Violante, H. 2016. Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. *Revista Iberoamericana de Tecnología Post Cosecha*. 17(1):1-7.
- Ortega-Granados, J. A. 2011. Efecto del recubrimiento de fresas usando quitina-quitosana obtenida de cefalotórax y exoesqueleto de camarón en su vida de

- anaquel a temperatura ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$) y refrigeración (4°C). Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Pérez-Gago, M. y Krochta, J. 2002. Drying temperature effect on water vapour permeability and mechanical properties of whey protein-lipid emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:2308-2312.
- Pérez-Pérez, E. y López-Malo, A. 2011. Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*. 5(2):13-27.
- Quintero, C., Pascual F., Muñoz, H. 2010. Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*. 5:93-118.
- Ramos-García, M., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 45(28):44-57.
- Ramos, Ó., Fernandes, C., Silva, S., Pintado, M., Malcata, X. 2012. Edible films and coatings from whey proteins: A review on formulation, and on mechanical and bioactive properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 5(2):533-552.
- Rico, F., Gutiérrez, C., Díaz-Moreno, C. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de 'quitosano' y aceites esenciales en la calidad microbiológica de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. *Vitae*. 19(1):117-119.
- Ríos, J. 2016. Essential oils: What they are and how the terms are used and defined. En: *Essential oils in food preservation, flavor and safety*. London, pp. 3-9.
- Rodríguez, M., Sánchez, L. 2017. Consumo de frutas y verduras: Beneficios y retos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 25 (42):30-55.
- Rojas-Graü, M., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. 2009. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 20(10):438-447.

- Ruelas-Chacón, X., Reyes-Vega, M., Valdivia-Urdiales, B., Contreras-Esquivel, C., Montañez-Saenz, J., Aguilera-Carbó, A., Peralta-Rodríguez, R. 2013. Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 5(9):31-35.
- Sarabia-Bañuelos, P. 2011. Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: Obtención de quitina y quitosana del cefalotórax y exoesqueletos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., Aguilera-Carbó, A., Sáenz-Galindo, A., de la Garza, H., Jasso-Cantú, D., Aguilar, C. 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42(4):511–515.
- SADER. 2021. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Manzana mexicana. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [En línea] (Actualizado al 14 de septiembre de 2017). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256430/B_sico-Manzana.pdf [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SE. 1982. Norma Mexicana NMX-FF-011-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación. Secretaría de Economía. [En línea] (Actualizado al 10 de junio de 1982). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/1982/nmx-ff-011-1982.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2020].
- SE. 2003. Norma Mexicana NMX-FF-061-SCFI-2003. Productos agrícolas no industrializados para consumo humano-fruta fresca-manzana (*Malus pumila* Mill)-(*Malus domestica* Borkh). Especificaciones. (cancela a la NMX-FF-061-1993-SCFI). Secretaría de Economía. [En línea] (Actualizado al 17 de febrero de 2003). Disponible en: [133](http://www.economia-</p></div><div data-bbox=)

- [nmx.gob.mx/normas/nmx/2003/nmx-ff-061-scfi-2003.pdf](http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2003/nmx-ff-061-scfi-2003.pdf) [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SE. 2009a. NMX-F-103-NORMEX-2009. Alimentos. Determinación de grados Brix en alimentos y bebidas. Método de ensayo (prueba). Secretaría de Economía. [En línea] (Actualizado al 19 de junio de 2019). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2009/nmx-f-103-normex-2009.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SE. 2009b. Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002. Sistema General de Unidades de Medida, Modificación 2009. Secretaría de Economía. [En línea] (Actualizado al 24 de septiembre de 2009). Disponible en: <http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/2010/008scfi2002mod.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SE. 2013. NMX-F-317-NORMEX-2013. Alimentos. Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas. Método potenciométrico (Método de prueba) (cancela a la NMX-F-317-S-1978). Secretaría de Economía. [En línea] (Actualizado al 27 de agosto de 2013). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2000/seleccione.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SIAP. 2021. Atlas agroalimentario 2012-2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea] (Actualizado al 18 de noviembre de 2021). Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/panorama_siap/pag/2021/PanoramaAgroalimentario-2021 [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- Seseña, R. 2019. Estudio del cambio en las concentraciones del metanol residual en un fruto climatérico (guayabas) y en uno no climatérico (uvas verdes) que fueron recubiertos con biopolímeros de quitina-quitosana provenientes de cefalotórax de camarón. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Sierra, D., Ossa, C., Quintana, M., Ospina. 2013. Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. *Scientia et Technica*. 18(1):260-266.

- Sigma-Aldrich. 2024a. Quitina [En línea]. (Actualizado al 28 de abril de 2024). Disponible en: <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/sigma/c7170> [último acceso el 28 de abril de 2024].
- Sigma-Aldrich. 2024b. Quitosana [En línea]. (Actualizado al 28 de abril de 2024). Disponible en: <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/substance/123459012764> [último acceso el 28 de abril de 2024].
- Thewes, F., Brackmann, A., Both, V., Weber, A., de-Oliveira, R., Dos-Santos-Ferrão, T., Wagner, R. 2017. The different impacts of dynamic controlled atmosphere and controlled atmosphere storage in the quality attributes of 'Fuji Suprema' apples. *Postharvest Biology and Technology*. 130:7–20.
- Thompson, A. 2016. Fruit and Vegetable Storage Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere. Springer, pp. 25-68. Huddersfield, Reino Unido.
- Torres-Alvarez, C., Nuñez, A., Rodríguez, J., Castillo, S., Leos-Rivas, C., Báez-González, J. 2017. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of orange essential oil and its concentrated oils. *CyTA-Journal of Food*. 15(1):129-135.
- Trejo, V., Trejo, M., Pascual, S., Lira, A. 2015. Extracción de aceite esencial de eucalipto y su aplicación como agente antifúngico en un envase activo para conservación de frambuesa. *Revista Iberoamericana de Tecnología Post cosecha*. [En línea] (Actualizado al 2015). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176012.pdf> [Último acceso el 22 de noviembre del 2021].
- Valencia-Chamorro, S. y Torres-Morales, J. 2016. Recubrimientos comestibles aplicados en productos de IV y V gamma. *Revista Iberoamericana de Tecnología Post cosecha*. 17(2):162-174.
- Vázquez-Briones, M., Guerrero-Beltrán, J. 2013. Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*. 7(2):5-14.
- Velázquez-Núñez, M., Avila-Sosa, R., Palou, E., López-Malo, A. 2013. Antifungal activity of orange (*Citrus sinensis* var. Valencia) peel essential oil applied by direct addition or vapor contact. *Food Control*. 31:1-4.

- Villanueva, D. 2022. Efecto sobre la vida de anaquel de ciruelas negras (*Prunus domestica*) recubiertas con biopolímeros obtenidos de residuos de crustáceos. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Watkins, J., Mattheis, J. 2019. Apple. En: *Postharvest physiological disorders in fruits and vegetables*. Tonetto-de-Freitas, S., Pareek, S., eds. CRC Press, pp. 165-205. Boca Ratón, Estados Unidos.
- Zarazúa, V. 2021. Estudios de las concentraciones del metanol en un fruto climatérico (Pera, *Pyrus communis*) y en uno no climatérico (Zarzamora, *Rubus fruticosus*) que fueron recubiertos con biopolímeros obtenidos de residuos de crustáceos. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.