



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

“EVALUACIÓN DE LA SINERGIA DE LOS RECUBRIMIENTOS NATURALES
PROVENIENTES DEL CEFALOTÓRAX DE JAIBA (*Callinectes sapidus*) Y
DEL CEFALOTÓRAX DE CAMARÓN (*Litopenaeus vannamei*) SOBRE UN
FRUTO NO CLIMATÉRICO, FRAMBUESA (*Rubus idaeus*)”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

NEREIDA DE LA CRUZ GUERRA

DIRECTOR DE TESIS

DR.-ING. MARÍA DEL CARMEN DURÁN DOMÍNGUEZ DE BAZÚA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO 2019





Universidad Nacional
Autónoma de México



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: Dr.-Ing. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

VOCAL: QFB Agustín Reyo Herrera

SECRETARIO: M. en A. I. Landy Irene Ramírez Burgos

1er. SUPLENTE: Dra. en Ing. Marisela Bernal González

2° SUPLENTE: M. en C. Rolando Salvador García Gómez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO:

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

ASESOR DEL TEMA:

Dr.-Ing. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

SUPERVISOR TÉCNICO:

M. en C. Rolando Salvador García Gómez

SUSTENTANTE

Nereida De La Cruz Guerra

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

Nereida De La Cruz Guerra

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce a los programas de Apoyo a la Investigación y el Posgrado (PAIP 50009065 y 50009067) otorgados a la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa y al Dr. Enrique Rodolfo Bazúa Rueda para la adquisición de algunos materiales y reactivos utilizados en la tesis

Algunos de los pequeños equipos fueron adquiridos con los proyectos del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) “Apoyo a la enseñanza experimental de los laboratorios terminales de las carreras que se imparten en la Facultad de Química de la UNAM”, “Apoyo a la enseñanza experimental de las asignaturas terminales de las carreras que se imparten en la Facultad de Química de la UNAM” y “Desarrollo de material didáctico para las asignaturas ingeniería ambiental y estancia académica de la carrera de ingeniería química con base en estudios de caso” Claves EN103704, PE101709 y PE100514, respectivamente.

ÍNDICE

I. ÍNDICE DE TABLAS	X
II. ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
III. GLOSARIO DE TÉRMINOS	XVII
IV. ABREVIATURAS	XXIII
V. RESUMEN	XXV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Metas y alcances	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. El almacenamiento de los alimentos	5
2.2. Las películas comestibles y su impacto en la vida útil de frutos	5
2.3. La mezcla quitina-quitosana (Q-Qn), principalmente de fuentes naturales y su extracción mediante métodos de química verde	8
2.3.1. La mezcla quitina-quitosana (Q-Qn)	8
2.3.2. Principales fuentes	9
2.3.2.1. Importancia del camarón a nivel nacional	10
2.3.2.2. Importancia de la jaiba a nivel nacional	10
2.3.3. Extracción de quitina-quitosana mediante un método basado en la química verde	11
2.4. La mezcla quitina-quitosana aplicada como recubrimiento	12
2.5. La frambuesa como fuente de estudio en esta investigación	12
2.5.1. Aspectos generales de la frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)	14
2.5.2. Importancia de la frambuesa a nivel internacional	14

2.5.3. Importancia de la frambuesa a nivel nacional	16
2.5.4. Consumo y aporte de las frambuesas en la dieta	18
2.5.5. La maduración de las frambuesas	18
2.5.6. La frambuesa como ingrediente en la elaboración de mermeladas	20
2.6. Importancia de las técnicas fisicoquímicas empleadas	20
2.6.1. Importancia de la determinación del contenido de humedad	20
2.6.2. Importancia de la determinación del contenido de °Bx	21
2.6.3. Importancia de la determinación del pH	21
2.6.4. Importancia de la determinación del porcentaje de acidez	22
2.6.5. Importancia de la determinación del contenido de vitamina C	22
2.6.6. El color	23
2.6.6.1. Importancia del color en los alimentos	23
2.7. La química verde (Manahan, 1997)	24
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	26
3.1. Recolección de la cabeza fresca, obtención de cefalotórax de camarón y exoesqueleto de jaiba parcialmente desproteinizados y adquisición de los sujetos de estudio	28
3.2. Extracción de la mezcla quitina-quitosana (Q-Qn) a partir del cefalotórax de camarón y exoesqueletos de jaiba	29
3.2.1. Obtención de cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados (CEPD)	29
3.2.2. Elaboración del disolvente MAC-141©	30
3.2.3. Determinación de la proporción idónea CEPD:MAC-141©	30
3.2.4. Extracción de la mezcla quitina-quitosana del CEPD	32
3.3. Preparación y empleo de las soluciones control	32
3.4. Determinaciones sensoriales y fisicoquímicas	32
3.4.1. Determinación de cambios de textura	32
3.4.2. Análisis visual de presencia de hongos	33
3.4.3. Determinación del contenido de humedad (%H)	33
3.4.4. Determinación de los grados Brix (°Bx)	33
3.4.5. Determinación del valor de pH	33

3.4.6. Determinación del porcentaje de acidez (%A)	33
3.4.7. Determinación del contenido de vitamina C	34
3.4.8. Determinación de cambios de color	34
3.5. Determinación del tiempo de vida de anaquel de frambuesas	34
3.6. Pruebas de nivel de agrado con consumidores	35
3.7. Análisis estadísticos	36
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Pruebas de vida de anaquel en frambuesas	37
4.1.1. Determinación de cambios de textura	37
4.1.2. Análisis visual de presencia de hongos	40
4.1.2.A Generalidades para los análisis visuales de hongos a una temperatura de 5°C	41
4.1.2.B Generalidades para los análisis visuales de hongos a una temperatura de 25°C	41
4.1.2.C Generalidades para los análisis visuales de hongos a una temperatura de 35°C	42
4.1.3. Determinación del contenido de humedad (%H)	42
4.1.3.A Generalidades para las determinaciones de humedad a una temperatura de 5°C	44
4.1.3.B Generalidades para las determinaciones de humedad a una temperatura de 25°C	44
4.1.3.C Generalidades para las determinaciones de humedad a una temperatura de 35°C	45
4.1.4. Determinación de los grados Brix (°Bx)	46
4.1.4.A Generalidades para las determinaciones de °Bx a una temperatura de 5°C	49
4.1.4.B Generalidades para las determinaciones de °Bx a una temperatura de 25°C	50
4.1.4.C Generalidades para las determinaciones de °Bx a una temperatura de 35°C	50

4.1.5. Determinación del valor de pH	51
4.1.5.A Generalidades para las determinaciones de pH a una temperatura de 5°C	52
4.1.5.B Generalidades para las determinaciones de pH a una temperatura de 25°C	52
4.1.5.C Generalidades para las determinaciones de pH a una temperatura de 35°C	54
4.1.6. Determinación del porcentaje de acidez (%A)	54
4.1.6.A Generalidades para las determinaciones de %A a una temperatura de 5°C	56
4.1.6.B Generalidades para las determinaciones de %A a una temperatura de 25°C	57
4.1.6.C Generalidades para las determinaciones de %A a una temperatura de 35°C	58
4.1.7. Determinación del contenido de vitamina C	59
4.1.7.A Generalidades para las determinaciones de vitamina C a una temperatura de 5°C	60
4.1.7.B Generalidades para las determinaciones de vitamina C a una temperatura de 25°C	61
4.1.7.C Generalidades para las determinaciones de vitamina C a una temperatura de 35°C	61
4.1.8. Determinación de cambios de color	63
4.1.8.A Resultados de la determinación de color en frambuesas recubiertas almacenadas a una temperatura de 5°C	65
4.1.8.B Resultados de la determinación de color en frambuesas recubiertas almacenadas a una temperatura de 25°C	65
4.1.8.C Resultados de la determinación de color en frambuesas recubiertas almacenadas a una temperatura de 35°C	66
4.2. Determinación del tiempo de vida de anaquel de frambuesas	67
4.3. Evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa	68

A4.1. Determinación del contenido de humedad (%H)	88
A4.2. Determinación de los grados Brix (°Bx)	89
A4.3. Determinación del valor de pH	89
A4.4. Determinación del porcentaje de acidez (%A)	91
A4.5. Determinación del contenido de vitamina C	93
A4.6. Determinación de cambios de color	94
A5. Elaboración de mermeladas de frambuesas recubiertas	95
A6. Evaluación sensorial de mermeladas de frambuesas recubiertas	97
Apéndice B. TABLAS DE RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE FRAMBUESAS	101
Apéndice C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS	108
C1. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el análisis experimental de frambuesas almacenadas a 5°C	108
C2. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el análisis experimental de frambuesas almacenadas a 25°C	109
C3. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el análisis experimental de frambuesas almacenadas a 35°C	110
Apéndice D. TABLAS COMPARATIVAS DE DIFERENCIAS DE MEDIAS POR EL MÉTODO DE TUKEY	112
Apéndice E. LOS PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA VERDE	114
Apéndice F. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS	117
F1. Tratamiento de residuos generados en la obtención de cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados provenientes de jaiba y camarón frescos	117
F2. Tratamiento de residuos generados en la obtención del disolvente MAC-141© y de la elaboración del biopolímero Q-Qn	118

F3. Tratamiento de los residuos generados en el análisis visual de cambios de color, de presencia de hongos y de las determinaciones de cambios de textura	119
F4. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de humedad mediante la técnica de secado en horno convencional y termobalanza	120
F5. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de pH y acidez titulable	121
F6. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones del contenido de vitamina C	122
BIBLIOGRAFÍA	123

I. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Nombre	Pág.
Tabla 4.1a	Resultados de la determinación de cambios de textura en frambuesas recubiertas	39
Tabla 4.1b	Resultados del análisis visual de la presencia de hongos en frambuesas recubiertas almacenadas a temperaturas de 5, 25 y 35°C	40
Tabla 4.2	Determinación de tiempo teórico de vida de anaquel con base en la humedad de las frutas	67
Tabla A	Reactivos empleados para la elaboración del disolvente MAC-141©	82
Tabla B	Resultados de la determinación de cambios de textura en frambuesas recubiertas	101
Tabla B.1	Resultados del análisis visual de la presencia de hongos en frambuesas recubiertas	101
Tabla B.2	Resultados del contenido de humedad en las frambuesas recubiertas	102
Tabla B.3	Resultados de la determinación de grados Brix en las frambuesas recubiertas	102
Tabla B.4	Resultados de la determinación de pH de frambuesas recubiertas	102
Tabla B.5	Resultados de la determinación del % de acidez titulable de frambuesas recubiertas	103
Tabla B.6	Resultados de la determinación del contenido de vitamina C en frambuesas recubiertas	103
Tabla B.7	Cambios de coloración durante el estudio de vida de anaquel de frambuesas a 5°C	104
Tabla B.8	Cambios de coloración durante el estudio de vida de anaquel de frambuesas almacenadas a 25°C	105

Tabla B.9	Cambios de coloración durante el estudio de vida de anaquel de frambuesas almacenadas a 35°C	106
Tabla B.10	Resultados obtenidos de la evaluación sensorial de mermeladas elaboradas con frambuesas recubiertas	107
Tabla C.1	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de humedad en frambuesas (5°C)	108
Tabla C.1.1	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de °Bx en frambuesas (5°C)	108
Tabla C.1.2	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del pH en frambuesas (5°C)	108
Tabla C.1.3	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de %A en frambuesas (5°C)	108
Tabla C.1.4	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de vitamina C en frambuesas (5°C)	109
Tabla C.2	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de humedad en frambuesas (25°C)	109
Tabla C.2.1	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del pH en frambuesas (25°C)	109
Tabla C.2.2	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de %A en frambuesas (25°C)	109
Tabla C.2.3	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de vitamina C en frambuesas (25°C)	110
Tabla C.3	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de humedad en frambuesas (35°C)	110
Tabla C.3.1	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del pH en frambuesas (35°C)	110
Tabla C.3.2	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de %A en frambuesas (35°C)	110
Tabla C.3.3	Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de vitamina C en frambuesas (35°C)	111
Tabla D	Resultados del método de Tukey al 95% de confianza para	112

	datos obtenidos en la determinación de humedad en frambuesas	
Tabla D.1	Resultados del método de Tukey con un 95% de confianza para los datos obtenidos en la determinación de °Bx en frambuesas	112
Tabla D.2	Resultados del método de Tukey con un 95% de confianza para los valores obtenidos en la determinación de pH en frambuesas	112
Tabla D.3	Resultados del método de Tukey con un 95% de confianza para los valores obtenidos en la determinación de acidez en frambuesas	113
Tabla D.4	Resultados del método de Tukey con un 95% de confianza para los valores obtenidos en la determinación del contenido de vitamina C en frambuesas	113

II. ÍNDICE DE FIGURAS

Marco teórico		
Figura	Nombre	Pág.
Figura 2a	Estructura química de quitina (Sigma-Aldrich, 2015a)	9
Figura 2b	Estructura química de quitosana (Sigma-Aldrich, 2015b)	9
Figura 2.1a	Frambuesas maduras	13
Figura 2.1b	Fisiología de la frambuesa (INIA, 2009)	15
Figura 2.2	Proporción de producción de frambuesas por región (FAOSTAT, 2017)	15
Figura 2.3	Producción de frambuesa: los 5 productores principales (FAOSTAT, 2017)	16
Figura 2.4	Producción/Rendimiento de frambuesas a nivel mundial (FAOSTAT, 2017)	17
Figura 2.5	Escala de color Pantone (Pantone®, 2018)	24
Metodología		
Figura 3a	Diagrama de flujo del desarrollo experimental [Obtención de CEDP, extracción y recubrimiento de frambuesas]	26
Figura 3b	Diagrama de flujo del desarrollo experimental [Determinaciones para análisis de vida de anaquel]	27
Figura 3c	Diagrama de flujo del desarrollo experimental [Evaluación sensorial]	28
Figura 3d	Diagrama de flujo del desarrollo experimental (Obtención de CEPD)	29
Figura 3.1	Síntesis de disolvente MAC-141©	30
Figura 3.2	Determinación de la proporción idónea del camarón parcialmente desproteínizado (CEPD) empleando jaiba y camarón 50:50 y del disolvente MAC-141©	31
Figura 3.3	Almacenamiento en refrigerador a 5°C	35
Figura 3.4	Almacenamiento en charolas a 25°C	35
Figura 3.5	Almacenamiento en incubadora a 35°C	35
Resultados y discusión		
Gráfica 4.1a	Pérdida de humedad expresado en porcentaje, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C	44
Gráfica 4.1b	Pérdida de humedad expresado en porcentaje, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C	45
Gráfica 4.1c	Pérdida de humedad expresado en porcentaje, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C	46
Gráfica 4.2a	Determinación de °Bx en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C	48

Gráfica 4.2b	Determinación de °Bx en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C	48
Gráfica 4.3a	Determinación de pH en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C	53
Gráfica 4.3b	Determinación del pH en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C	53
Gráfica 4.3c	Determinación de pH en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C	55
Gráfica 4.4a	Determinación de la acidez titulable expresada en porcentaje de ácido cítrico, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C	56
Gráfica 4.4b	Determinación de la acidez titulable expresada en porcentaje de ácido cítrico, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C	57
Gráfica 4.4c	Determinación de la acidez titulable expresada en porcentaje de ácido cítrico, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C	59
Gráfica 4.5a	Pérdida de vitamina C en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C	61
Gráfica 4.5b	Pérdida de vitamina C en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C	62
Gráfica 4.5c	Pérdida de vitamina C en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C	63
Figura 4	Equilibrio de las estructuras de la antocianina en solución acuosa (Horbowicz et al., 2008)	64
Gráfica 4.6a	Comparación del nivel de preferencia de consumo de mermeladas de frambuesa por consumidores	69
Gráfica 4.6b	Comparación del nivel de preferencia de mermeladas de frambuesa con bases en los atributos evaluados por consumidores	70
Figuras de apéndices		
Figura A.1	Escafocerito (señalado con flecha) y diente rostral (señalado con círculo) presente en la cabeza del camarón (ICTIO-TERM, 2013)	76
Figura A.1.1	Diagrama de flujo del desarrollo experimental (Obtención de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados)	77
Figura A.1.2	Obtención de hojuelas de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados	78

Figura A.1.3	Extensión de hojuelas de camarón en charolas para su secado en horno de convección a 60°C por 18h	78
Figura A.1.4	Tamizado de harina de camarón empleando el Tamiz 80	78
Figura A.1.5	Secado de los exoesqueletos de jaiba	79
Figura A.1.6	Tamizado de las harinas de jaiba	80
Figura A.1.7	Harina tamizada de jaiba	80
Figura A.2	Técnica de elaboración de disolvente MAC-141© [Enríquez y Nava, 2016]	81
Figura A.2.1	Cloruro de calcio empleado como reactivo en la elaboración de disolvente MAC-141©	82
Figura A.2.2	Equipo de reflujo para la elaboración del disolvente MAC-141©	83
Figura A.2.3	Determinación de la proporción idónea de CEPD (jaiba y camarón 50:50) y de disolvente MAC-141©	84
Figura A.2.4	Diagrama de flujo del desarrollo experimental (Obtención de la mezcla del polímero quitina-quitosana a partir del CEPD)	85
Figura A.3	Frambuesas recién recubiertas con biopelícula de Q-Qn	86
Figura A.3.1	Eliminación de recubrimiento excedente en lotes de frambuesa	87
Figura A.3.2	Frambuesas sin recubrimiento (Lote Blanco)	87
Figura A.3.3	Lotes (Qn 1.5%, Q-Qn y Blanco) destinados a almacenamiento de 5°C	87
Figura A.3.4	Lotes (Qn 1.5%, Q-Qn y Blanco) destinados a almacenamiento de 25°C	87
Figura A.3.5	Lotes (Qn 1.5%, Q-Qn y Blanco) destinados a almacenamiento de 35°C	87
Figura A.4	Bolsas empleadas en la obtención de zumo de frambuesa	88
Figura A.4.1	Termobalanza empleada en determinaciones del contenido de humedad	89
Figura A.4.2	Preparación de muestras para la determinación de pH	91
Figura A.4.3	Muestras de zumo de frambuesa para la determinación de pH	91
Figura A.4.4	Muestra sobre filtro neutro para la determinación de color	94
Figura A.5	Obtención y selección de frambuesas para la elaboración de mermeladas	95
Figura A.5.1	Diagrama de flujo del desarrollo experimental (elaboración de mermeladas)	96
Figura A.5.2	Cocción de fruta para elaboración de mermelada	97
Figura A.5.3	Control de temperatura en la elaboración de mermelada	97
Figura A.5.4	Mermeladas elaboradas con las frambuesas en estudio	98
Figura A.6	Diagrama de flujo del desarrollo experimental (evaluación sensorial)	98
Figura A.6.1	Muestras para evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa	99
Figura A.6.2	Evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa con consumidores	99
Figura A.6.3	Cuestionario aplicado a consumidores para la evaluación de mermeladas elaboradas con frambuesas recubiertas con diferentes biopelículas	100
Figura F.1	Tratamiento de residuos generados en la obtención de cefalotórax y	117

	exoesqueletos parcialmente desproteinizados provenientes de jaiba y camarón frescos	
Figura F.2	Tratamiento de residuos generados en la obtención del disolvente MAC-141© y de la elaboración del biopolímero Q-Qn	118
Figura F.3	Tratamiento de los residuos generados en el análisis visual de cambios de color, de presencia de hongos y de las determinaciones de cambios de textura	119
Figura F.4	Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de humedad mediante la técnica de secado en termobalanza	120
Figura F.5	Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de pH y acidez titulable	121
Figura F.6	Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones del contenido de vitamina C	122

III. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Término	Significado
Acidez	Cantidad de ácido libre en diferentes matrices (alimentarias)
Ácido acético glacial	Ácido monoprótico cuya fórmula molecular es $C_2H_4O_2$, éste posee una masa molecular de 60.05 g/mol, y se encuentra en un estado líquido con un punto de ebullición de 117°C y un punto de congelación de 16.2°C. Este ácido es incoloro y presenta un aroma característico
Ácido L-ascórbico	Es un ácido conocido como Vitamina C, cuya fórmula molecular es $C_6H_8O_6$, presenta una masa molecular de 176.12g/mol y en forma pura es un cristal incoloro, inodoro, cuyo punto de fusión se encuentra en un intervalo de 190 a 194°C
Alimento	Cualquier órgano, tejido o secreción que contiene cantidades apreciables de nutrimentos biodisponibles, cuyo consumo en cantidades y formas habituales es inocuo y atractivo a los sentidos
Alimento perecedero	Alimento que suele comenzar una descomposición de forma sencilla y requiere de condiciones especiales de proceso, conservación, almacenamiento y transporte para preservar su composición o características fisicoquímicas y sensoriales, ya que su tiempo de “vida” es corto.
Bayas	Según el diccionario de la RAE, la palabra viene del francés <i>baie</i> . 1. f. Tipo de fruto carnoso con semillas rodeadas de pulpa; p. ej., el tomate y la uva. 2. f. Planta de la familia de las liliáceas, de raíz bulbosa y hojas radicales, que son estrechas y cilíndricas. El bohordo, de diez a doce centímetros de altura, produce en su extremidad multitud de florecitas de color azul oscuro. Según las redes internacionales son una enorme cantidad de frutillas que vienen de diferentes tipos de plantas desde rosáceas, zarzas, morales y moreras. Desde los

	<p>arándanos, los capulines, las cerezas, las moras, las zarzamoras, fresas y, el objeto de esta investigación, las frambuesas. Sus nombres científicos varían dependiendo de su origen pero todas comparten su valor nutritivo: Arándano o <i>Vaccinium myrtillus</i>; frambuesa o <i>Rubus idaeus</i>; <i>Morus nigra</i>, <i>Rubus fruticosus</i>, <i>Rubus ulmifolius</i>, <i>Morus alba</i> (mora de la morera o mora blanca), <i>Morus nigra</i> (mora del moral o mora negra), <i>Morus rubra</i> (mora «roja»); <i>Rubus caesius</i> (zarza pajarrera), <i>Rubus chamaemorus</i> (mora de los pantanos), <i>Rubus fruticosus</i> (zarzamora), <i>Rubus glaucus</i> (mora andina o mora de Castilla), <i>Rubus spectabilis</i> (mora naranja), <i>Rubus ulmifolius</i>(zarzamora o mora), fresas (<i>Fragaria annanasa</i>)</p>
Biftalato de potasio	<p>Compuesto químico cuya fórmula molecular es $C_8H_5KO_4$, posee una masa molecular de 204.22 g/mol, es un sólido blanco que es utilizado como patrón primario para la estandarización de soluciones en titulaciones ácido-base y realizar determinaciones de concentraciones reales en soluciones básicas</p>
Biopelículas comestibles	<p>Conocidas en inglés como “<i>Edible coatings</i>” son matrices transparentes continuas, comestibles y delgadas, que se estructuran alrededor de un alimento con el fin de preservar su calidad y servir de empaque. Son elaboradas con diferentes clases de biopolímeros como proteínas, lípidos y polisacáridos, los cuales pueden presentar ciertos beneficios</p>
Biopolímero	<p>Macromoléculas presentes en los seres vivos</p>
Blanco	<p>Término usado en el presente trabajo como referencia a aquellos lotes de frambuesas que no fueron sometidas a ningún tipo de tratamiento “control” o al recubrimiento experimental obtenido de cefalotórax y exoesqueletos de jaiba y camarón (Q-Qn)</p>
Cefalotórax	<p>Segmento del cuerpo de arácnidos y crustáceos conformada por la unión de la cabeza y el tórax</p>

Cloruro de calcio	Compuesto químico inorgánico, cuya fórmula es CaCl_2 y su masa molecular es de 110.98 g/mol, se encuentra en estado sólido de color blanco, y su punto de fusión es de 772°C
Color	Es la sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda
Control	Término usado en el presente trabajo que se refiere a aquellos lotes de frambuesas sometidos a un recubrimiento de quitosana comercial de la marca Sigma Aldrich a una concentración de 1.5% para ser comparados contra el recubrimiento experimental (Q-Qn) y un “blanco”
Crustáceo	Se refiere a los artrópodos que poseen dos pares de antenas, cuerpo cubierto por un caparazón, que es generalmente calcificado, y cuya respiración es generalmente a través de branquias
2,6-Diclorofenol Indofenol (2,6-DI)	Reactivo para laboratorio con fórmula molecular $\text{C}_{12}\text{H}_6\text{Cl}_2\text{NNaO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, masa molecular de 290.08 g/mol, cuyo aspecto es en forma de polvo verde oscuro inodoro
Dieta	Conjunto de alimentos y platillos que se ingieren durante el consumo habitual cada día, los cuales constituyen la base de la alimentación
Drupa	Fruto carnoso de forma redondeada que tiene en su interior solamente una semilla
Estudios de vida de anaquel	Estudios sobre el periodo de tiempo en que un producto alimenticio mantiene una adecuada calidad para el productor y consumidor, además de presentar características aceptables para la legislación vigente (como microbiológicas y sensoriales) a una temperatura dada; durante este estudio deben evaluarse distintas vías de deterioro del producto
Evaluación sensorial	Es la disciplina que se encarga de caracterizar a los alimentos a través de los cinco sentidos empleando métodos analíticos y/o

	afectivos
Expansinas	Familia de proteínas no enzimáticas de la pared celular vegetal. Las paredes celulares de las plantas son los materiales que forman la base de muchos productos comerciales, desde la madera, el papel, los textiles, etc., hasta agentes espesantes y formadores de películas y de explosivos. La pared celular es excretada por cada célula en la planta formando una red de fibras de gran fuerza y flexibilidad. Los pastos al germinar producen polen y también expansinas que “aflojan” las paredes de la célula materna para ayudar a la penetración del estigma por el tubo del polen. La acción de las expansinas tiene implicaciones misteriosas para la estructura de la pared celular vegetal. La reciente explosión de secuencias de genes y datos de su expresión dan nuevas pautas para tratar de comprender las funciones biológicas de las expansinas (Cosgrove, 2000)
Extracción	Separación y obtención de componentes específicos encontrados dentro de una matriz, aprovechando las diferencias de solubilidad mediante el empleo de disolventes u otros métodos
Fenolftaleína	Sustancia empleada como indicador de pH de fórmula molecular: $C_{20}H_{14}O_4$, con masa molecular de 318.32 g/mol que en disoluciones ácidas permanece incoloro y en disoluciones básicas toma un color rosado
Frambuesa	Fruto comestible proveniente del frambueso, de color rojo más oscuro que el de la fresa, olor suave y sabor agridulce
Fruto no climatérico	Fruto que se caracteriza por carecer de climaterio típico, su patrón de respiración permanece prácticamente constante una vez cortadas de la planta o el árbol
Grado Brix	Unidad empleada para designar el contenido de sólidos solubles determinados mediante el uso del refractómetro
Maduración	Término empleado para englobar todos los cambios a los que el

	fruto se enfrenta hasta completar su crecimiento
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 en recipientes herméticamente cerrados y procesados térmicamente
Patrón primario	Es la solución que posee una concentración conocida
pH	Es una medida de la concentración del ion hidronio en solución, cuyo valor está dado por la expresión: $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$
Post-cosecha	Etapa que ocurre después de la cosecha que, generalmente, es anterior al consumo y posterior a la cosecha
Pruebas de nivel de agrado	Técnicas empleadas para evaluar la aceptación o rechazo de un producto por parte de un consumidor potencial
Química verde	Término empleado para describir el desarrollo, diseño y uso de técnicas en procesos que eviten o disminuyan daños ambientales
Quitina	Polímero que constituye el material principal del que está formado el revestimiento exterior del cuerpo de algunos seres vivos, cuya fórmula lineal es $(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{NO}_5)_n$ y es insoluble en agua
Quitosana	Polímero de aminopolisacáridos usado en biopelículas para el recubrimiento de alimentos, obtenido de forma industrial a través de la desacetilación de la quitina
Ralentización	Acción y efecto de disminuir la rapidez con la que se ejecuta un proceso u operación
Subproducto	Sustancia resultante de un proceso de producción o extracción, o cualquier operación, cuya reutilización es segura, sin transformación previa, el cual, generalmente, posee menor valor o carece de éste
Tasa de respiración	Rapidez del cambio metabólico de un producto hortofrutícola
Viscosidad	Propiedad de un fluido que mide la resistencia a su movimiento

Zumo de fruta	Líquido de las hierbas, flores, frutas u otros organismos semejantes, que se saca exprimiéndolas o majándolas
---------------	---

Nota: Esta tesis usa el punto decimal (DOF, 2009)

IV. ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
A	Porcentaje de acidez
AOAC	Siglas en inglés de la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (<i>Association of Official Analytical Chemists: AOAC</i>)
ASLT	Siglas en inglés de pruebas aceleradas de vida de anaquel (<i>Accelerated Shelf-Life Testing</i>)
°Bx	Grado Brix
°C	Grado Celsius
CDMX	Ciudad de México
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, parte de la SAGARPA ahora SADER
CEPD	Cefalotórax y exoesqueleto de camarón y jaiba parcialmente desproteinizados
DDA	Grado de desacetilación de la quitina por sus siglas en inglés
DPV	Déficit de presión de vapor
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés, <i>Food and Agriculture Organization</i>)
g	Unidad de masa en gramos
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Chile
kg	Unidad de masa en kilogramos
L	Unidad de volumen en litros
MAC-141©	Disolvente compuesto por metanol, agua y cloruro de calcio en una proporción molar 1:4:1, con capacidad de extracción de la mezcla quitina-quitosana de los cefalotórax y exoesqueletos de jaiba y camarón
mg	Unidad de masa para los miligramos
mL	Unidad de volumen para los mililitros

NMX	Norma Mexicana (opcional)
NOM	Norma Oficial Mexicana (obligatoria)
pH	Potencial de hidrógeno
PG	Enzima poligalacturonasa
PME	Enzima pectinmetilesterasa
Qn 1.5%	Quitosa comercial Sigma Aldrich a una concentración de 1.5% en agua destilada acidulada con 2% de ácido ascórbico
Q-Qn	Mezcla quitina-quitosa obtenida de los cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados de jaiba y camarón
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, parte del poder ejecutivo federal del actual gobierno mexicano
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, parte del poder ejecutivo federal del gobierno mexicano hasta el sexenio anterior
SE	Secretaría de Economía, parte del poder ejecutivo federal del gobierno mexicano
SEGOB	Secretaría de Gobernación, parte del poder ejecutivo federal del gobierno de México
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de México
Ton	Toneladas
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USDA	Departamento de Agricultura de los EE.UU.

V. RESUMEN

El empleo de recubrimientos comestibles como parte del tratamiento postcosecha que se realiza en frutos se ha incrementado con la actividad comercial, debido a las ventajas de preservación y alargamiento de vida útil que estos confieren a los alimentos. El uso de polímeros con base en quitina y quitosana han presentado beneficios de su empleo como recubrimientos, aunado a que su obtención es a partir de residuos de crustáceos (cefalotórax de camarón y/o jaiba) cuyo valor es bajo o nulo. Dado lo anterior, en el presente trabajo se emplearon técnicas sensoriales (atributos de color, textura, olor, detección visual de presencia de hongos) y fisicoquímicas (determinación de °Bx, contenido de humedad, determinación de pH, porcentaje de acidez y contenido de vitamina C) en el estudio del comportamiento de frambuesas (*Rubus idaeus*) recubiertas por 2 tipos de biopelículas (recubrimiento empleado como control de quitosana Sigma-Aldrich a una concentración de 1.5% (Qn 1.5%) y el recubrimiento experimental quitina-quitosana (Q-Qn) proveniente de cefalotórax y exoesqueletos de jaiba y camarón en una relación (50:50), además de un lote sin recubrir (Blanco) durante un periodo de 21 días de almacenamiento. El almacenamiento de los lotes de frambuesas se realizó bajo diferentes condiciones de temperatura, propias de las pruebas aceleradas de vida de anaquel que se realizan generalmente en productos alimenticios. Para ello, se incluyeron condiciones idóneas, típicas y adversas, mediante temperaturas de 5, 25 y 35°C, respectivamente. El recubrimiento experimental en estudio Q-Qn obtenido de cefalotórax y exoesqueletos de jaiba y camarón presentó algunos beneficios al ser empleado en frambuesas, como lo es su actividad antifúngica que evitó que se detectara visualmente la presencia de hongos en el 100% de los frutos que fueron recubiertos con esta biopelícula durante los 21 días de experimentación. Finalmente, se realizó una evaluación sensorial con la participación de 50 jueces no entrenados con la elaboración de mermeladas con los distintos lotes de frambuesas en estudio, los cuales evaluaron atributos de color, aroma, textura y sabor y, aunque los consumidores prefirieron la mermelada elaborada con

frambuesas recubiertas con quitosana comercial (Qn 1.5%), también determinaron que no se detectó resabio alguno proveniente de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón en la mermelada elaborada con frambuesas recubiertas con quitina-quitosana (Q-Qn), lo que abre una posibilidad de estudiar la implementación del recubrimiento experimental en distintas concentraciones en la aplicación de biopelículas a frambuesas, así como en la elaboración y evaluación de las mermeladas elaboradas con dichos frutos con la finalidad de obtener una mayor aceptación de atributos sensoriales.

Palabras clave: Recubrimientos naturales, quitina, quitosana, jaiba (*Callinectes sapidus*), camarón (*Litopenaeus vannamei*), frambuesa (*Rubus idaeus*)

1.1. Planteamiento del problema

Los cambios en el estilo de vida que la gente experimenta en los últimos años, así como su mayor conciencia de la importancia de ingerir alimentos saludables, han causado un incremento en el consumo de alimentos listos para su consumo, en especial de frutas mínimamente procesadas (García et al., 2011). Debido a los estilos de vida cada vez más acelerados, los consumidores no se dan el tiempo suficiente para preparar sus alimentos, por lo que buscan saciar su apetito con alimentos preparados listos para su consumo. Las frutas han resultado ser una alternativa ante esta problemática (Bierhals et al., 2011).

La industria alimentaria se enfrenta a retos cada vez mayores para lograr alargar la vida útil de sus productos, utilizando otras tecnologías que permita evitar la introducción de aditivos químicos para mantener sus características nutrimentales, fisicoquímicas y organolépticas. Tal es el caso de la industria frutícola en donde se desea disminuir las pérdidas post cosecha lo más posible, especialmente en frutos de alto costo y que requieren de un mayor cuidado en su manejo y durante su almacenamiento, como es el caso de las frambuesas. Al paso del tiempo, se han desarrollado tecnologías y tratamientos post-cosecha que han sido empleados en frutos, entre los que destacan los recubrimientos con películas comestibles (Pérez-Pérez y López-Malo, 2011).

La implementación de recubrimientos comestibles de bajo costo resulta beneficiosa para los productores ya que representa una menor pérdida y una mayor calidad en sus productos. Por otra parte, también resulta atractivo para el consumidor adquirir productos frescos o “mínimamente procesados” que no han sido tratados con productos de riesgo para la salud. Sin embargo, el hecho de que las frutas con un procesamiento mínimo se consuman crudas, obliga a extremar buenas condiciones de manipulación y a aplicar otras técnicas que permitan cierta inactivación microbiana (Zhan et al., 2011).

La importancia actual de los recubrimientos con películas comestibles se debe en gran medida al bajo costo que representan en comparación con otros tratamientos postcosecha, así como a su compatibilidad con el ambiente, ya que dichos recubrimientos suelen ser elaborados a partir de biopolímeros, tales como proteínas, polisacáridos, lípidos o mezclas de los anteriores, aprovechando las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre ellos (Quintero et al., 2010), otorgando protección de daños físicos, químicos y biológicos, aumentando la calidad a los productos recubiertos (Han et al., 2004a).

La quitosana es uno de los polímeros destacados que han sido empleados en la elaboración de biopelículas comestibles, derivado de la quitina que es un componente principal de las conchas de crustáceos, ya que recubrimientos elaborados con quitosana han presentado buenas propiedades mecánicas y permeabilidades selectivas al CO₂ y O₂, mejorando así la calidad y prolongando la vida útil de las frutas frescas (Djioua et al., 2010). Por otra parte, la industria acuícola produce grandes cantidades de subproductos provenientes de crustáceos como lo son el camarón y la jaiba, siendo estos mínimamente aprovechados al no ser comestibles y son depositados generalmente en cuerpos de agua generando contaminación en ríos, lagunas y en tiraderos municipales.

En esta investigación se manejó un fruto no climatérico, la frambuesa (*Rubus idaeus*), una fuente importante de vitamina C, antioxidantes y minerales, pero de manipulación y almacenamiento delicado, así como de vida de anaquel corta. La frambuesa es de gran importancia a nivel nacional ya que la producción y exportación de este fruto ha ido en aumento en los últimos años, lo que ha reflejado un mayor interés productivo hacia este cultivo agrícola (SAGARPA, 2016). Por ello, se propuso el uso de los residuos de camarón y de jaiba para que, mediante la separación de la quitina del resto de sus componentes y tras su conversión a su derivado desacetilado con una mayor solubilidad, la quitosana, se pudieran preparar las biopelículas y aplicarlas directamente sobre un fruto no

climatérico, que posee generalmente una corta vida de anaquel (Andrade-P. et al., 2007; Bezerra-de-Aquino et al., 2015; Lárez-Velásquez, 2008).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la sinergia de los recubrimientos de quitina-quitosana (Q-Qn) obtenidos de los cefalotórax de jaiba y camarón sobre un fruto no climatérico (frambuesas, *Rubus idaeus*) y su posterior caracterización empleando pruebas de vida de anaquel y sensoriales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la proporción más adecuada de harina de cefalotórax de camarón y jaiba (50:50) y disolvente MAC-141© para la elaboración de biopelículas que se empleen para el recubrimiento de frambuesas.
- Determinar la vida de anaquel evaluando las características físicas y sensoriales de las frambuesas recubiertas con las películas de quitina-quitosana provenientes del cefalotórax de camarón, sometidas a tres diferentes condiciones de temperatura (5, 25 y 35°C).
- Evaluar la existencia de diferencias significativas entre las características presentadas por frambuesas recubiertas por películas de quitina-quitosana (Q-Qn) con un control de quitosana comercial (Q-SA) y un blanco de frambuesas sin recubrimiento, empleando para ello un análisis estadístico de varianza con un nivel de confianza de 95%, de los datos obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados (porcentaje de humedad, grados Brix, pH, porcentaje de acidez, y contenido de vitamina C).
- Evaluar el efecto de los recubrimientos sobre los atributos sensoriales (color, aroma, textura y sabor) de las mermeladas elaboradas con un lote de frambuesas recubiertas con la biopelícula de quitina-quitosana (Q-Qn), un lote control de frambuesas recubiertas con quitosana comercial disuelta en agua acidulada con ácido ascórbico al 2% a una concentración de 1.5%

(Qn 1.5%) y un lote blanco de frambuesas sin recubrir mediante pruebas de nivel de agrado.

1.3. Hipótesis

Se espera que las frambuesas recubiertas con los biopolímeros derivados de los subproductos de jaiba y camarón presenten una vida de anaquel más prolongada sin perder las características sensoriales, en relación con las frambuesas sin recubrimiento en las distintas temperaturas de almacenamiento bajo estudio.

1.4. Meta y alcances

El presente trabajo tiene como meta el aprovechamiento de los subproductos de camarón y jaiba (cefalotórax y exoesqueletos) para la elaboración de biopelículas que permitan otorgar mayor calidad y tiempo de vida de anaquel a frutos de vida de anaquel corta y manejo delicado como las frambuesas, empleando como técnica de extracción de química verde el uso del disolvente MAC-141©.

Esta investigación no contempla la implementación de distintas técnicas de recubrimiento de frutos y aplicación de biopelículas, ni la realización de pruebas microbiológicas sobre los frutos evaluados. La presencia de hongos se llevó a cabo únicamente mediante un análisis visual; sin embargo, se considera de importancia llevar a cabo en próximas investigaciones análisis microbiológicos ya que se observó un declive en la carga microbiana de los frutos que fueron recubiertos con biopelículas de quitina-quitosana y su control de quitosana comercial en comparación con los frutos sin recubrimiento.

2.1. El almacenamiento de los alimentos

Se entiende por alimento toda sustancia elaborada, semielaborada o bruta, que se destina para consumo humano (FAO, 2018). El daño a la calidad de los alimentos, como son las frutas mínimamente procesadas, presenta un aumento durante su procesamiento, debido a la ruptura del tejido vegetal por daños mecánicos. Por ejemplo, durante las operaciones de pelado y cortado, se pueden acelerar los procesos fisiológicos naturales, ya que esa ruptura desencadena procesos bioquímicos y físicos que pueden provocar la degradación de color, textura, sabor y aroma del producto, así como alteraciones de origen microbiano disminuyendo su vida útil. Las frutas con procesamiento mínimo se consumen crudas, lo que obliga a extremar buenas condiciones de manipulación aplicando otras técnicas que permiten cierta inactivación microbiana (Zhan et al., 2011).

La implementación de recubrimientos comestibles como método de conservación de frutos ha sido tema de estudio debido a los múltiples beneficios que proporcionan, disminuyendo el aumento de daños postcosecha.

2.2. Las películas comestibles y su impacto en la vida útil de frutos

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo (Lin y Zhao, 2007). El uso de recubrimientos comestibles en frutas se basa en algunas características como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo u opacidad), su efecto frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua y a microorganismos, así como a su aceptabilidad sensorial, entre otros (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013), de tal manera que la implementación de éstos en frutas frescas y mínimamente

procesadas, ha permitido mantener la calidad y prolongar su vida útil (Lin y Zhao, 2007).

El beneficio que ofrece el uso de películas comestibles en frutas es la de proporcionar protección física y mecánica, retardar la deshidratación, evitar la oxidación de los componentes del fruto, disminuir la tasa de respiración, así como también evitar la pérdida de aroma y el deterioro microbiano, además de mejorar la calidad visual del fruto durante su almacenamiento y comercialización. Dichos recubrimientos comestibles, pueden elaborarse por medio de biopolímeros, tales como proteínas, polisacáridos, lípidos o mezclas de los anteriores (Han et al., 2004b). Dentro de la lista de estos biopolímeros se destaca la quitosana, de la cual se han observado diferentes propiedades benéficas al usarse en el campo de la agricultura por su actividad bactericida, fungicida y, sobre todo, por su capacidad formadora de películas y su relativa inocuidad (Lárez-Velásquez, 2008).

Aplicar recubrimientos comestibles sobre frutas a partir de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, disminuye su tasa respiratoria, retrasa la pérdida de masa mediante la deshidratación y retrasan la pérdida de firmeza y pigmentación causada por microorganismos. Además, estos recubrimientos inhiben el pardeamiento enzimático y las reacciones metabólicas asociadas con la maduración conservando las características sensoriales de los frutos y retrasando su maduración, incrementando su vida útil. Lo anterior es posible gracias a que los recubrimientos proporcionan una barrera semi-permeable a los gases y al vapor de agua, además de actuar como portadores de ingredientes funcionales como agentes antimicrobianos y antioxidantes (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Dicha barrera crea una atmósfera modificada en el interior de los frutos, reduciendo la velocidad de transpiración y retrasando el proceso de senescencia (Eum et al., 2009).

Generalmente, estos recubrimientos son aplicados por inmersión, aspersion, nebulización y mediante cepillos, seguido de un secado con aire caliente (Barreiro-Méndez y Sandoval-Briceño, 2006). Cabe resaltar que el espesor de los

recubrimientos comestibles es un parámetro importante, ya que afecta directamente las propiedades biológicas y la vida útil de la fruta cubierta. La eficacia del recubrimiento depende principalmente del control de la difusión de los componentes del revestimiento, la cual se ve afectada por el espesor de la película (Kroachta et al., 1994). Por ello, a medida que el espesor del recubrimiento aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella. En consecuencia, la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con la superficie inferior de la película, se incrementa (McHugh et al., 1993).

La creación de dicha barrera también puede llevar al incremento en desórdenes asociados con una alta concentración de CO₂ o una baja concentración de O₂, a causa de la modificación de la atmósfera interna del fruto. Esto afecta parámetros sensoriales (Quintero et al., 2010), como son la inducción indirecta de cambios en el sabor de la fruta debido al retraso de la maduración (Jafarizadeh et al., 2012). Cuando es muy gruesa puede llevar al desarrollo de sabores desagradables (Silva et al., 2012).

Dentro de las principales ventajas del uso de recubrimientos comestibles en la protección y conservación de alimentos se encuentra la formación de dicha barrera sobre la superficie del fruto, modificando la composición gaseosa interna, lo cual disminuye la tasa de respiración y, por lo tanto, prolonga la vida postcosecha del producto (Pérez y Báez, 2003), al crear una atmósfera modificada entre la película y la superficie de las frutas que prolonga la degradación de pigmentos a causa de la ausencia de CO₂ y, como consecuencia, el desarrollo de colores indeseables (Pérez-Guzmán et al., 1999).

De igual forma, los recubrimientos proporcionan a la fruta una mayor estabilidad durante el transporte y almacenamiento, pueden ser consumidos con la fruta ya que se elaboran utilizando materiales considerados como seguros (*Generally Recognized as Safe, GRAS*, por sus siglas en inglés) controlan el desarrollo microbiano y cambios fisiológicos y fisicoquímicos, extendiendo así la vida útil del

fruto entero o con un mínimo de procesamiento (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Los materiales utilizados en las formulaciones con las que generalmente se elaboran los recubrimientos comestibles son biopolímeros que pueden ser acarreadores de diferentes aditivos, tales como antimicrobianos, antioxidantes, nutracéuticos y agentes aromatizantes obtenidos de productos naturales (Ayana y Turhan, 2010; Campos et al., 2011). Estos materiales son biodegradables, por lo que reducen su impacto al ambiente (Du et al., 2011).

2.3. La mezcla quitina-quitosana (Q-Qn), principalmente de fuentes naturales y su extracción mediante métodos de química verde

2.3.1. La mezcla quitina-quitosana (Q-Qn)

La quitina (Figura 2a) es un polisacárido natural. Es el segundo biopolímero natural más abundante en el mundo, después de la celulosa. Es el componente primario de exoesqueletos de artrópodos, incluyendo cangrejos, camarones y langostas, así como de algunos hongos (Wu et al., 2012). La quitosana (Figura 2b) es un polímero natural derivado de la desacetilación de la quitina [poli-(1→4)-β-N-acetil-D- glucosamina], polisacárido catiónico de alta masa molecular que exhibe propiedades antibacterianas y actividad antifúngica. Generalmente, los recubrimientos elaborados a partir de quitosana presentan buenas propiedades mecánicas y permeabilidades selectivas al CO₂ y al O₂, por lo que este polímero es utilizado para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de frutas frescas (Djioua et al., 2010).

En su forma natural, la quitina se presenta parcialmente desacetilada. La diferencia entre la quitina y la quitosana es, de hecho, arbitraria, ya que las formas completamente acetiladas o desacetiladas no existen en la naturaleza ni como productos finales de un proceso. Por ello, en la práctica, al polímero que presenta mayor grado de acetilación se le denomina quitina y al más desacetilado quitosana. Sin embargo, ya que no existe un criterio único para discriminar a la quitina de la quitosana, la mayoría de los investigadores diferencian a la quitosana y a la quitina atendiendo a su solubilidad (Cartaya et al., 2009), siendo la

quitosana soluble en ácido acético cuando el grado de desacetilación (DDA) es mayor al 40% (Wu et al., 2012).

La quitosana con masas moleculares elevadas no es tóxica. Es un agente bioactivo con efectos anti-fúngicos e incide en los mecanismos de defensa en tejidos de plantas de utilidad alimentaria. Se ha estudiado esta actividad fungicida en estudios *in vitro* e *in vivo* y la inhibición de hongos por la quitosana es de gran importancia considerando la concentración que es adicionada (Bautista-Baños et al., 2006). El principio es que la quitosana altera la síntesis de ciertas enzimas fúngicas e induce cambios morfológicos, alteraciones estructurales y desorden de la célula del hongo (Sarabia-Bañuelos, 2011).

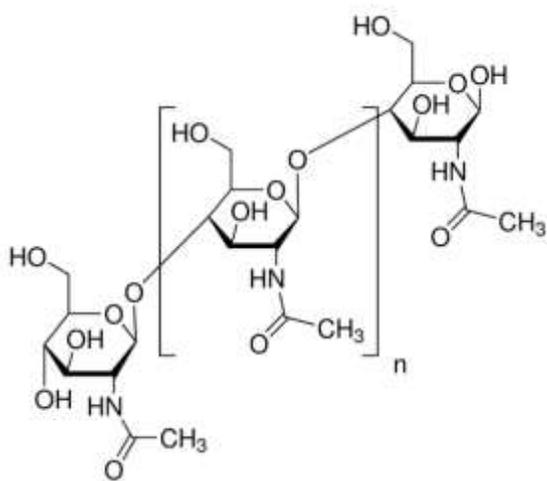


Figura 2a. Estructura química de la quitina

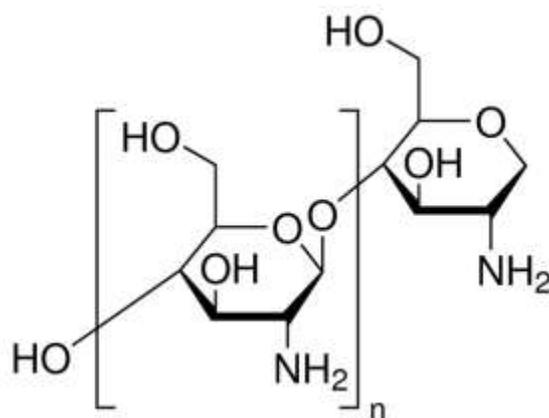


Figura 2b. Estructura química de la quitosana

[Tomadas de Sigma-Aldrich (2015a,b)]

2.3.2. Principales fuentes

La quitosana puede encontrarse naturalmente, mezclada con la quitina, en exoesqueletos de cangrejos, jaibas, langostas y camarones. De igual forma, se puede encontrar en el cefalotórax de camarón (Andrade-P. et al., 2007), el cual es considerado como un subproducto al no ser comestible (Carranco-Jauregui, 2002). El cefalotórax junto con el abdomen y el telson conforman el cuerpo entero del camarón. De estos tres constituyentes, la parte comestible (abdomen)

corresponde al 55% de la masa del mismo. Por lo tanto, el 45% restante del camarón se conforma del cefalotórax (Catzín-Yupit, 2009), cuya composición química contiene proteínas (44.7%), cenizas (26.3%), fibra cruda (20.7%), grasa cruda (5.2%) y el resto de otros hidratos de carbono, donde la mezcla quitina-quitosana (Q-Qn) se encuentra en una proporción del 14 al 17% (Flores-Ortega, 2004).

2.3.2.1. Importancia del camarón a nivel nacional

La producción de camarón en México aumentó durante los últimos años, teniendo un aumento en la producción en términos reales de 223 mil 965 toneladas de camarón a nivel nacional en 2016, por lo que este crustáceo se ubicó como el segundo producto pesquero en importancia del país, ubicando a México como el séptimo productor de camarón a nivel mundial (SAGARPA, 2018). Tiene un valor de producción anual de 18 mil millones de pesos en el 2017 (SIAP, 2017a).

Al haber una gran producción de este crustáceo, sumado a la producción de jaiba, se tiene que la cantidad de subproductos generados también es elevada. Estos pueden ser aprovechados extrayendo de ellos una mezcla de quitina-quitosana mediante técnicas de química verde. Los extractos pueden actuar como recubrimientos naturales sin generar sustancias peligrosas al ambiente para recubrir frambuesas destinadas al consumo nacional o a la exportación y de esta manera aumentar su vida útil.

2.3.2.2. Importancia de la jaiba a nivel nacional

La producción de jaiba en México aumentó a partir del año 2012, teniendo una producción de 51 mil toneladas en el año 2016 y ubicando este producto pesquero en el séptimo lugar nacional en volumen y en el noveno en valor con 684 millones de pesos. Sinaloa es la entidad de mayor producción de este crustáceo con 24 mil toneladas, seguido por Campeche, Sonora y Tamaulipas (CONAPESCA, 2018).

La pesquería de jaiba es relevante para la estabilidad social y económica de las zonas costeras del Océano Pacífico y del Golfo de México, así como una alternativa para los pescadores artesanales de camarón cuando éste se encuentra en periodo de veda (CONAPESCA, 2018).

2.3.3. Extracción de quitina-quitosana mediante un método basado en la química verde

Las materias primas empleadas en este proyecto experimental fueron, tanto exoesqueletos de jaiba, como exoesqueletos y cefalotórax de camarón. Estos subproductos fueron empleados como fuentes de quitina-quitosana y, de esta manera, poder reaprovechar estos subproductos del mar, tomando en consideración que poseen características importantes, ya que son comestibles, no tóxicos para el ser humano además de ser biodegradables en el ambiente.

La obtención de quitina-quitosana proveniente de los cefalotórax y de los exoesqueletos de jaiba y camarón suele llevarse a cabo mediante el empleo de ácidos y álcalis fuertes, los cuales logran descalcificar y desproteínizar esta materia orgánica, la cual es secada obteniendo la quitina (Andrade-P. et al., 2007).

Sin embargo, con la finalidad de llevar a cabo un proceso de extracción que reduzca riesgos a la salud y al ambiente se empleó una técnica de extracción basada en la química verde, a través del uso del disolvente MAC-141©, el cual fue patentado en los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM (Flores-Ortega et al., 2004). Este disolvente ha sido evaluado demostrándose su efectividad, fundamentando la extracción en la solubilización de las proteínas en la solución saturada de cloruro de calcio a través de la formación del complejo quitina-sal de calcio para, posteriormente, llevarse a cabo la re-distribución hidrófoba e hidrofílica del polímero cambiando su estructura y logrando así la extracción de quitina-quitosana (Flores-Ortega, 2008).

2.4. La mezcla quitina-quitosana aplicada como recubrimiento

La quitina es un polímero formado por unidades repetidas de N-acetil-D glucosamina unidos por enlaces β -1,4 que, al ser desacetilada, da la formación de poli-D-glucosamina, la cual es más soluble en comparación de la quitina favoreciendo la formación de películas con capacidad antimicrobiana (Mourad et al., 2014). La quitosana, como es comúnmente llamado este polímero, ha sido empleada en la elaboración de biopelículas aplicadas como recubrimientos de distintos tipos de frutas. Se ha comprobado que estas biopelículas mejoran la conservación de los alimentos, al actuar como barreras protectoras para la humedad, el oxígeno y la luz (Mourad et al., 2014, Ortega-Granados, 2011), los cuales son factores que influyen en la calidad de los alimentos.

En varios estudios, el uso de estas películas elaboradas con biopolímeros evita la pérdida de masa, retrasa cambios en la coloración, y disminuye la acidez titulable y el pH durante el almacenamiento. Además, las películas mejoran la calidad de la textura en la fruta congelada y descongelada (Han et al., 2004a,b). Otro estudio ha encontrado efectos benéficos en cuanto al contenido de vitamina C y al decaimiento del crecimiento de hongos en fresas y en frambuesas recubiertas (Zhang y Quantick, 1998).

Por ello, las propiedades de las mezclas de quitina y quitosana y de la quitosana sola las hacen buenas candidatas para diseñar nuevas tecnologías de envasado antimicrobiano activo para mejorar la calidad, seguridad y prolongar la vida útil de los alimentos perecederos (Enríquez y Nava, 2016; Fernandez-Saiz et al., 2009).

2.5. La frambuesa como fuente de estudio en esta investigación

De acuerdo con la NMX-FF-132-SCFI-2018 (SE, 2018), en el mercado nacional e internacional se distingue a la frambuesa como una fruta de receptáculo carnoso, ovado, succulento y fragante, de la familia de las rosáceas, de género y especie *Rubus spp* (Figura 2.1a). La fruta es altamente valorada por su sabor y alto contenido de componentes potencialmente importantes para la salud y,

generalmente, es comercializada en fresco para su consumo directo o y también es utilizada como materia prima para la elaboración de otros productos terminados.



Figura 2.1a. Frambuesas maduras [Imagen capturada por la autora del presente trabajo]

En México, para su comercialización la NMX-FF-132-SCFI-2018 (SE, 2018) las clasifica por su grado de calidad en categoría Extra, Categoría I y Categoría II donde, como requisito mínimo para todas las categorías indicadas, las frambuesas deben: a) estar frescas, sanas, enteras, bien desarrolladas, de consistencia firme y no sobre-maduras; b) presentar forma, sabor, color y olor característicos de la variedad; c) estar libres de defectos críticos (defectos que afectan la apariencia, calidad e inocuidad del fruto); d) estar libres de humedad exterior anormal, salvo la condición consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica; y e) estar libres de cualquier olor o sabor extraño.

La frambuesa (*Rubus idaeus*) cuenta con propiedades benéficas. Posee una gran cantidad de fibra y es fuente importante de vitamina C, ácido cítrico, ácido elágico, antioxidantes y algunos minerales de importancia como el potasio, magnesio y calcio. Debido a sus características morfológicas, su manipulación y conservación es muy delicada, y su vida de anaquel es muy corta, de 3 a 5 días. Durante la última década, la producción de frambuesa ha ido en aumento, lo que refleja un mayor interés productivo hacia este cultivo agrícola (SIAP, 2016), así como una oportunidad para aplicar nuevas herramientas de conservación de frutos, como lo

son las biopelículas de quitina. Por ello, se plantea la opción de alargar su vida de anaquel mediante el recubrimiento de este fruto, empleando biopelículas de quitina-quitosana, elaboradas con subproductos de la industria acuícola, otorgando así un mayor tiempo de conservación y una disminución de los daños sobre sus características sensoriales.

2.5.1. Aspectos generales de la frambuesa (*Rubus idaeus*)

Es un arbusto de tallo subterráneo, corto, cuyos frutos son frutillas convexas, rugosas; con forma parecida a la de una piña, siendo comúnmente de color rojo o amarillo, cada fruto tiene un pelo de color amarillo oro. Prefiere suelos de textura franco-arenosa profunda, con un pH de 5.5 a 6.5 y la precipitación adecuada para su crecimiento es de 700 a 900mm anuales (SAGARPA, 2017).

El fruto está compuesto por numerosas drupas pequeñas y redondeadas, que contiene cada una de ellas una semilla, agrupándose en un pequeño receptáculo cónico llamado hipanto (Figura 2.1b). La frambuesa es un fruto no climatérico, por lo que se cosecha en su estado de madurez de consumo. Su tasa de respiración es alta y varía de 24 a 200 mg CO₂/kg/h entre 0 y 2°C, respectivamente. Además, el calor emitido durante el almacenamiento de la fruta es muy alto (1.083 a 1.528 kcal/d a 0°C y 1.889 a 2.361 kcal/d entre 4 y 5°C). Estos hechos, sumados a que el fruto de la frambuesa se desprende del receptáculo, hacen que la fruta sea de vida corta, cuya temperatura de almacenaje no debe ser menor a -1°C, ya que ese es el punto de congelación de la frambuesa (INDAP, 2005).

La principal enfermedad que ataca a las frambuesas es la pudrición gris, causada por *Botrytis cinerea*. Este hongo aún sigue creciendo a 0°C, sin embargo, su crecimiento a esta temperatura es muy lento (INIA, 2013).

2.5.2. Importancia de la frambuesa a nivel internacional

De acuerdo con datos de la FAO, la producción de frambuesa a nivel mundial en el año 2017 fue de 813 mil toneladas, teniendo un área destinada a la cosecha de

frambuesa de 118 mil hectáreas. La región con una mayor producción de frambuesa es el continente europeo, produciendo un 66.4% de la producción mundial, seguido del continente americano con un 31.4%, dejando en tercer lugar al continente asiático con un porcentaje del 2% (Figura 2.2) (FAOSTAT, 2017).

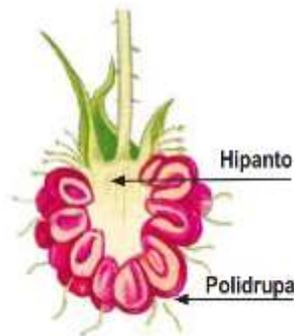


Figura 2.1b. Fisiología de la frambuesa [Tomado de INIA (2009)]

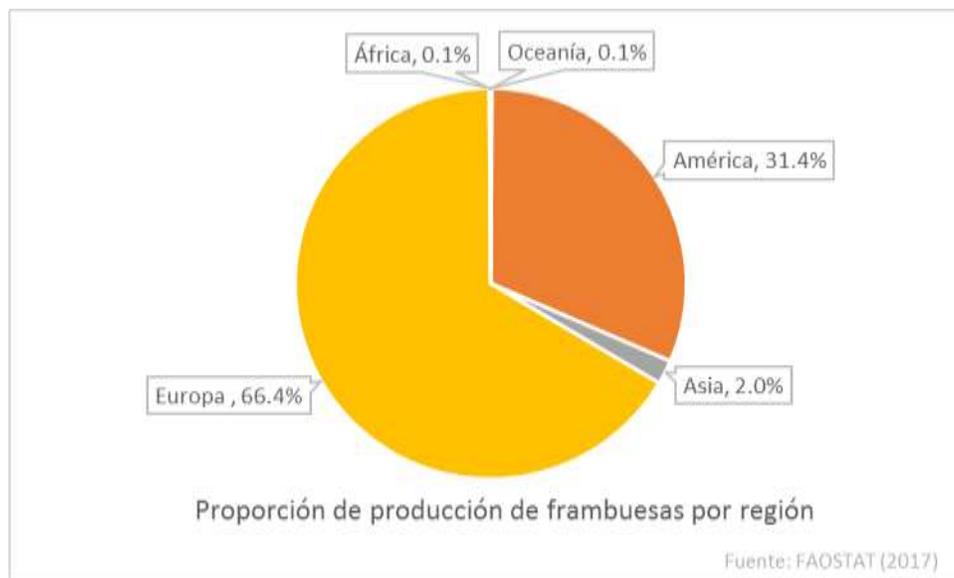


Figura 2.2. Proporción de producción de frambuesas por región (FAOSTAT, 2017)

Los principales países productores de frambuesa, en el año 2017, fueron la Federación de Rusia, México, Serbia, EE.UU. y Polonia (Figura 2.3), siendo la Federación de Rusia el país que ocupa la primera posición, seguido de México, que es el principal productor de frambuesa en el continente americano.

La frambuesa ha aumentado su importancia comercial en los últimos años, ya que es un fruto muy valorado y muy poco producido en algunos continentes, como es el caso del continente asiático, que se ha convertido en un punto relevante de importación de la frambuesa y, a su vez, en un nuevo destino de exportación de este fruto para los principales países productores.

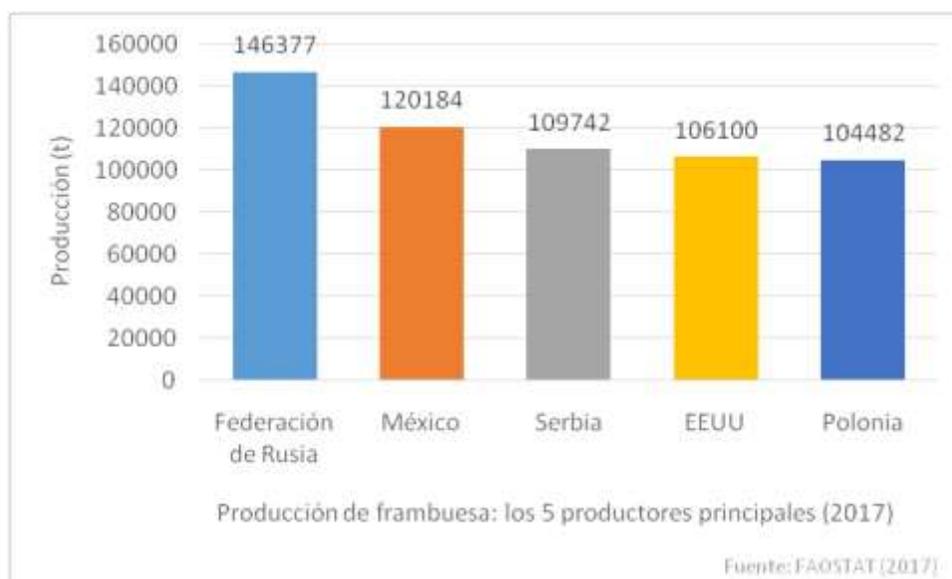


Figura 2.3. Producción de frambuesa: los 5 países productores principales (FAOSTAT, 2017)

2.5.3. Importancia de la frambuesa a nivel nacional

Durante la última década, en México, la producción de frambuesa ha ido en aumento, al igual que el área territorial destinada para este fin (Figura 2.4). En el año 2017, México produjo 120 mil toneladas de frambuesa provenientes de un área cosechada de 6390 hectáreas, de acuerdo con datos de la FAO. Siendo ya en ese año, el segundo país con mayor producción de frambuesa a nivel mundial, superado únicamente por la Federación de Rusia, convirtiéndose de este modo en el principal país productor de este fruto en el continente americano, superando a productores importantes como lo son Estados Unidos y Chile (FAOSTAT, 2017).

A nivel estatal, la producción de frambuesa se realiza en ocho entidades federativas siendo ellas: Baja California, Colima, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán y Puebla. Las tres principales entidades

productoras y que aportaron más del 98 por ciento del volumen nacional en 2015 fueron Jalisco con 38 mil 192 toneladas; Baja California, nueve mil 941 toneladas, y Michoacán, seis mil 180 toneladas (SAGARPA, 2016).



Figura 2.4. Producción/Rendimiento de frambuesas en México (FAOSTAT, 2017)

En lo que se refiere a las exportaciones, éstas se ubicaron en 508.3 millones de dólares, debido a que la frambuesa fue comercializada en 25 destinos internacionales (SAGARPA, 2016). La frambuesa forma parte de las frutillas llamadas “*berries*”, y gracias a la lista de beneficios para la salud, productividad y desarrollo del campo, México se ha convertido en uno de los principales productores mundiales de “*berries*”. Chile, Canadá, Estados Unidos, Países Bajos, Japón y Reino Unido son los principales países de destino de las exportaciones de frutillas mexicanas. Por otro lado, las exportaciones de frambuesa y arándano que Jalisco hace a la Península Arábiga también han dejado claro el liderazgo nacional (FIRCO, 2017) y, a partir del 2015, también se comenzaron a exportar a China frutillas procedentes de los campos de cultivo de Jalisco y Michoacán, principales productores y exportadores y reconocidos por la alta calidad, sanidad e inocuidad (SADER, 2015). El 65% del volumen de producción de “*berries*” mexicanas se canaliza al mercado exterior, para su exportación, y el resto se destina al consumo nacional (SIAP, 2017b). El crecimiento de este sector agroalimentario resulta

beneficioso para familias y pequeños agricultores, al igual que para medianos y grandes productores, ya que la industria de “*berries*” genera el quinto producto de mayor captación de divisas en el país, con un valor comercial de más de 900 millones de dólares anuales (SADER, 2015).

2.5.4. Consumo y aporte de las frambuesas en la dieta

La frambuesa es un fruto que suele consumirse en fresco, aunque también puede consumirse en forma de conservas caseras e industriales o como fruto congelado (SIAP, 2016). Tienen un aporte calórico bajo, de 52 kcal por cada 100 g de esta fruta (USDA, 2018), por lo que es un fruto que puede incluirse fácilmente en distintos tipos de dieta.

La frambuesa se compone aproximadamente de un 85.75% de agua, 1.2% de proteína, 0.65% de lípidos y un 11.94% de hidratos de carbono totales, de los cuales el 54.4% corresponden a fibra cruda y el resto a glúcidos propios de la fruta (USDA, 2018). Además, son fuente de antioxidantes, minerales como potasio, fósforo, calcio y magnesio y vitaminas como ácido ascórbico (vitamina C), con un contenido de 26.2 mg de vitamina C por cada 100 g de frambuesas (USDA, 2018), proporcionando así el 43.7% de la ingesta diaria recomendada (IDR) de esta vitamina para la población mexicana que, de acuerdo con la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, es de 60 mg/d (SEGOB, 2010).

2.5.5. La maduración de la frambuesa

La maduración es por definición la transformación desde un estado incomedible a otro que ofrece la calidad y características organolépticas deseables de un órgano fisiológicamente maduro de una planta (Watkins, 2008).

La frambuesa es un fruto no climatérico como ya se mencionó. Por lo tanto, debe ser cosechado cercano a madurez de consumo (INIA, 2013). MacKenzie (1979) afirmó que la fuerza de separación de la fruta declina paulatinamente con el avance de la madurez por aumento de volumen de los espacios intercelulares y

desintegración de las células en los haces vasculares. Estos frutos poseen una alta tasa respiratoria y son altamente perecibles (INIA, 2013). Mitcham et al. (2007) señalaron que las frambuesas son frutos con tasas de respiración ($\text{mL CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$) de 12, 49 y 100 a 0, 10 y 20°C , respectivamente, y de etileno de 0.1-1.0 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$ a 5°C . La respiración puede ser un factor importante en la pérdida de humedad de los frutos debido al intercambio gaseoso que implica (Yirat-Becerra et al., 2009). Este alto metabolismo respiratorio sumado a las características morfológicas propias del fruto (tamaño pequeño, presencia de cavidad interna y epidermis delgada) hacen que la frambuesa sea un fruto de muy corta vida de postcosecha, siendo esta inferior a 2 semanas. Las principales causas de deterioro son deshidratación, pérdida de firmeza, pérdida de apariencia y pérdida de calidad sensorial. La tasa de producción de etileno es baja, y las frambuesas no responden a la aplicación de etileno exógeno (INIA, 2013), por lo que no es recomendable emplear este método en estos frutos.

Durante la maduración, también ocurren cambios en la coloración de las frambuesas. Zheng y Hrazdina (2010) describen que en el momento del comienzo de la coloración sube el etileno producido por las drupas y por el receptáculo hasta cuando se produce la abscisión de pétalos, una forma característica de la fruta climatérica, aunque la respiración declina hasta la plena madurez y la síntesis de etileno es baja durante la maduración como sucede con los frutos no climatéricos. Wang et al. (2009) afirmaron que la fruta cosechada con color rosado (50% de madurez) desarrolla la misma calidad al madurar después que la fruta cosechada con 100% de color. Warmund y Nonnecke (1993) señalaron que después de cosechadas las frambuesas aumentan la intensidad en su coloración, mientras que Freeman (2011) describió que luego de la refrigeración el color de las cerezas dulces es más oscuro y el contenido de antocianinas, así como la capacidad antioxidante totales son mayores que en la fruta fresca o congelada.

Hay otros cambios que ocurren durante la maduración de la frambuesa, en cuanto al contenido de ácidos titulables. Sjulín et al. (1986) señalaron que la

concentración de estos declina con la maduración de la fresa, más a mayor temperatura, constituyendo un índice de ella, apropiado para determinar el momento de la cosecha mecánica. También señalaron que las pectinas son bajas en la fresa (0.1-1%) y la protopectina es hidrolizada durante el ablandamiento del fruto, en mayor proporción en variedades blandas, siendo la xilosa el glúcido neutro predominante de las paredes celulares, que disminuye durante la maduración. Sin embargo, Ochmian et al. (2008) afirman que la aspersion con ascorbato de titanio o con quitosana aumenta la firmeza de las zarzamoras aumentando así, mediante el empleo de estas técnicas, la calidad de la fruta.

2.5.6. La frambuesa como ingrediente en la elaboración de mermeladas

De acuerdo con la Norma para las confituras, jaleas y mermeladas CXS 296-2009 del Codex Alimentarius (FAO, 2017), una mermelada sin frutos cítricos, como es el caso de la mermelada de frambuesa, se define como un producto preparado por cocimiento de fruta(s) entera(s), en trozos o machacadas mezcladas con productos alimentarios que confieren un sabor dulce hasta obtener un producto semi-líquido o espeso/viscoso. Este producto deberá elaborarse de tal manera que la cantidad de fruta utilizada como ingrediente en el producto terminado no deberá ser menor al 30% (FAO, 2017).

2.6. Importancia de las técnicas fisicoquímicas empleadas

Para la realización del presente trabajo se ejecutaron distintas técnicas fisicoquímicas y sensoriales, las cuales tienen propósitos específicos en el estudio de la calidad del fruto y de los productos elaborados a partir de este. A continuación, se describen algunas de ellas.

2.6.1. Importancia de la determinación del contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad en un fruto es indicativa de cambios que ocurren en el mismo. La pérdida de humedad en un fruto está relacionada con la humedad ambiental, la temperatura de almacenamiento, el daño de tejido, el contenido de sólidos presentes y cambios en la textura del fruto, entre otros. Dado

que para fines del presente trabajo se emplearon temperaturas de almacenamiento distintas y adversas, como es el caso de una temperatura superior a la temperatura ambiente, es de importancia conocer cómo cambia el contenido de humedad en un fruto sometido a distintas temperaturas y con un recubrimiento de quitina-quitosana empleando un lote control y uno blanco.

2.6.2. Importancia de la determinación del contenido de °Bx

Los grados Brix (°Bx) son una medida del índice de refracción de disoluciones de sacarosa, en este caso de una disolución al 1% (Gil-Hernández, 2010). Los grados Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en un jugo o pulpa expresados en porcentaje de sacarosa y están compuestos por los glúcidos reductores y no reductores y por los ácidos orgánicos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en los jugos de las células de una fruta. Este índice está estrechamente ligado al estado de madurez de un fruto, pues valores de °Bx elevados, indican un alto contenido de glúcidos provenientes de una degradación de carbohidratos complejos (Trejo-Ramírez et al., 2015).

Los sólidos solubles tienen importancia por estar formados de compuestos orgánicos que, en gran medida, determinan el sabor, los colores y, en general, la calidad de las frutas y se ven influenciados por algunos factores externos, entre los cuales predominan la temperatura y la luminosidad (Bautista, 1987). El contenido de sólidos solubles aumenta hasta alcanzar un máximo y después se mantiene o disminuye cuando avanza la maduración (Navarrete, 2009).

2.6.3. Importancia de la determinación del pH

El valor del pH puede ser un reflejo de la acidez de la fruta aunque no se empleó con un fin cuantitativo, sino con uno cualitativo. Considerando que el valor de la acidez disminuye debido al uso de los ácidos orgánicos de la fruta durante la respiración (Mercado-Silva et al., 1998) es consistente el incremento del pH como indicador de la degradación del fruto (Enríquez y Nava, 2016), la medición de pH se traduce en conocer el ion hidrógeno que es de utilidad para la conservación de

alimentos y en el deterioro de estos, ya que pueden presentarse cambios debido a la acción enzimática y al desarrollo de microorganismos. La intensidad de estos cambios dará como resultado una marcada concentración del ion hidrógeno (Navarrete, 2009). El pH es una medida que puede ser susceptible de amortiguación debido a los jugos presentes en la fruta (Gélvez-Torres, 1998). Es por ello que es importante considerar el valor de la acidez empleando una técnica volumétrica como el porcentaje de acidez (Enríquez y Nava, 2016).

2.6.4. Importancia de la determinación del porcentaje de acidez

El valor de la acidez se debe principalmente a los ácidos orgánicos presentes en la fruta (Baldwin, 2008). Sjulín y Robbins (1987) señalaron que la concentración de ácidos titulables declina con la maduración de la fresa, más a mayor temperatura. Constituye un índice de ella y también es apropiado para determinar el momento de cosecha (Gil-Salaya, 2012). Al ser la acidez un indicador del metabolismo del fruto en estudio es importante llevar a cabo esta determinación, ya que la caída del valor de la acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico es reflejo del envejecimiento del fruto (Enríquez y Nava, 2016). Esto puede brindar información sobre la capacidad de los recubrimientos para retardar dicho envejecimiento al comparar frutos recubiertos con frutos sin recubrir.

2.6.5. Importancia de la determinación del contenido de vitamina C

La frambuesa es un fruto del cual se presume un alto contenido de vitamina C. En comparación con el contenido de otros frutos, el contenido de vitamina C es importante al ser un nutrimento que presenta acciones inmunológicas, antioxidantes, favorece la formación y conservación del colágeno que, además, actúa contra la aterosclerosis (Cardero-Reyes et al., 2009). Al ser un fruto apreciado por su contenido nutricional, es de importancia preservarla durante el mayor tiempo posible, aún después de tratamientos postcosecha. Es por ello que, dada su importancia, en el presente trabajo se realizó la determinación del contenido de vitamina C en los frutos bajo estudio.

2.6.6. El color

2.6.6.1. Importancia del color en los alimentos

El color de un alimento es un parámetro indispensable que repercute en su compra pues, a partir de la apariencia y del aspecto que éste presente al consumidor, se definirá la adquisición o no del mismo. Es por ello, que muchos productores de alimentos y bebidas emplean el color como un parámetro de calidad. Bajo ciertas circunstancias se puede determinar de forma cuantitativa o cualitativa con diferentes técnicas. Estas técnicas pueden llegar a depender de diferentes condiciones, tales como: la iluminación, el ángulo de observación, el fondo, las dimensiones geométricas o bien del observador (Jeantet y Croguennec, 2006).

El color de un fruto en la maduración puede cambiar, debido a que sobre éste actúan diferentes vías metabólicas, algunas de las cuales pueden iniciar procesos de degradación. Ejemplo de lo anterior es la actividad enzimática de las clorofilasas, la cual termina afectando el color verde de los frutos durante la maduración, al mostrar otros colores presentes generados a partir de compuestos tales como las antocianinas, carotenoides, flavonoides, etc. (Jackson y Looney, 2003). Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides y están presentes en la naturaleza en forma de pigmentos hidrosolubles en flores, frutos, bayas y hojas con grandes variedades de estructuras químicas, siendo característica de cada material y atributo específico para la caracterización del mismo (Aguilera et al., 2011). Son un grupo de pigmentos que dan lugar a los colores de azules a rojos en muchas flores y frutos, siendo de interés por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, ya que pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos, y por su implicación en la salud humana a través de diferentes vías. Adicionalmente, estas sustancias poseen un valor agregado por su capacidad antioxidante y citotóxica.

Santa Cruz (2011) y Grisebach (1982) señalaron que las antocianinas se encuentran en todo el tejido de las frambuesas, pero mayoritariamente cerca de la piel, y el cambio de tonalidad en la sobremadurez refleja un aumento de concentración. Por su parte, Warmund y Nonnecke (1993), señalaron que las frambuesas aumentan la intensidad colorante aún después de ser cosechadas.

Existen distintos métodos tanto cuantitativos como cualitativos para la determinación del color y uno de los métodos cualitativos es la comparación visual con escalas de colores establecidas, como es el caso del empleo de la escala Pantone® (Figura 2.5).



Figura 2.5. Escala de color Pantone® (Pantone®, 2018)

2.7. La química verde (Manahan, 1997)

En general, se habla de química verde cuando se procura eliminar o reducir la generación de sustancias peligrosas. Generalmente, es a través del desarrollo, diseño y aplicación de técnicas para lograr ese objetivo. Además de la reducción de la generación de residuos y subproductos, la química verde (*Green Chemistry*) puede impactar sobre otros ámbitos que beneficien al ambiente. Anastas y Warner (1998), generaron los doce principios de la química verde (Véase Apéndice E), aunque antes de ellos Manahan (1997) ya había establecido el decálogo de la química ambiental o química verde (Enríquez y Nava, 2016; Manahan, 1997).

Para la finalidad de la presente investigación, se llevó a cabo la extracción de la mezcla de quitina-quitosana (Q-Qn) a partir de exoesqueletos y de cefalotórax de crustáceos empleando para ello una mezcla elaborada mediante los preceptos de la química verde, la mezcla MAC (1:4:1)©. Esta mezcla contiene en su formulación metanol, agua y cloruro de calcio en una relación molar 1:4:1, respectivamente. Fue elaborada, evaluada y patentada en los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental por Flores-Ortega y colaboradores (2004).

Dado lo anterior, en el presente proyecto se utilizó este disolvente para recubrir frambuesas frescas y alargar la vida de anaquel de las mismas, manteniendo sus características organolépticas aún después del tratamiento postcosecha.

En las Figuras 3a y 3b se señala, de manera general, la estrategia experimental empleada. En la Figura 3a, se observan las técnicas de obtención del cefalotórax de camarón parcialmente desproteínizado, señaladas por Flores-Ortega (2008) y Sarabia-Bañuelos (2011) y adaptada al empleo de cefalotórax de camarón y exoesqueletos de jaiba parcialmente desproteínizados (CEDP) (Mendoza-Pérez, 2014). En la Figura 3b se pueden observar las modificaciones realizadas para fines de este trabajo; la extracción de la mezcla quitina-quitosa (Q-Qn) a partir del CEPD y el recubrimiento, en este caso de frambuesas, señalado por Ortega-Granados (2011) para productos hortofrutícolas. En el Apéndice A, Apartados A.1 y 2 se presentan las metodologías seguidas. En el Apartado A.3 se señala la elaboración de la disolución control basada en quitosana comercial Sigma-Aldrich disuelta en agua acidulada con ácido ascórbico al 2%. Así mismo se muestra la forma de recubrir los frutos.

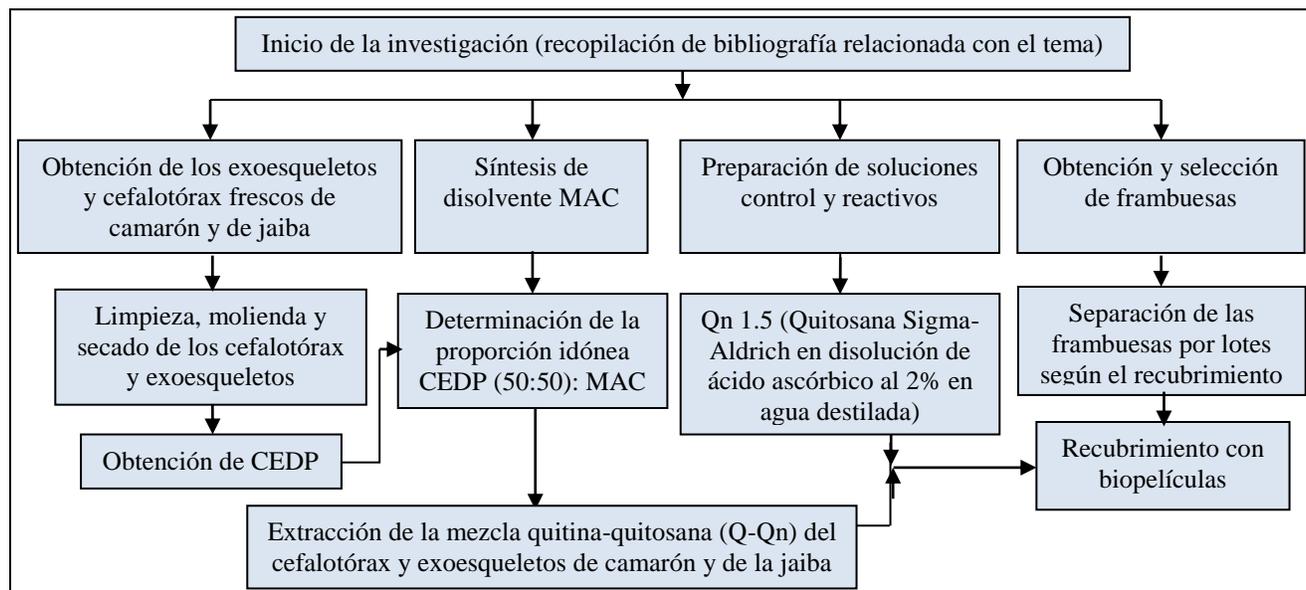


Figura 3a. Diagrama de flujo del desarrollo experimental [Obtención de CEDP, extracción y recubrimiento de frambuesas]

En la Figura 3b se muestran las determinaciones realizadas a partir de las muestras, las cuales se encuentran avaladas por las metodologías establecidas por la AOAC (2000) o *Association of Official Analytical Chemists*, por sus siglas en inglés) o en la normativa mexicana. En los Apartados A.4 y A.5 se describen las metodologías seguidas, así como la elaboración de las mermeladas.

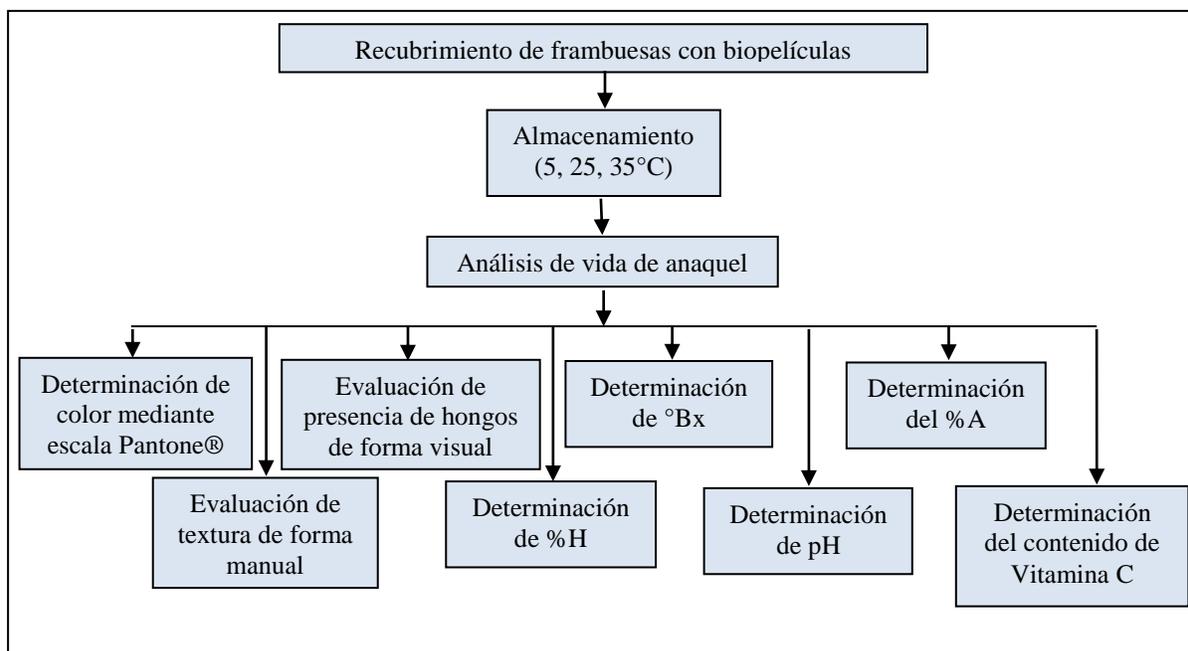


Figura 3b. Diagrama de flujo del desarrollo experimental [Determinaciones para análisis de vida de anaquel]

En la Figura 3c se muestra la metodología empleada en la evaluación sensorial con jueces no entrenados, en la que fueron comparadas las tres mermeladas elaboradas con frambuesas tratadas con el recubrimiento bajo estudio (Q-Qn 1:50), control con el recubrimiento comercial (Qn 1.5%) y las frambuesas sin tratamiento (blanco).

Al igual que para el caso de las determinaciones fisicoquímicas del análisis de vida de anaquel, en el Apéndice A, en el Apartado A6 se explican de manera detallada cada una de las metodologías empleadas, así como sus posibles modificaciones con respecto de la fuente original.

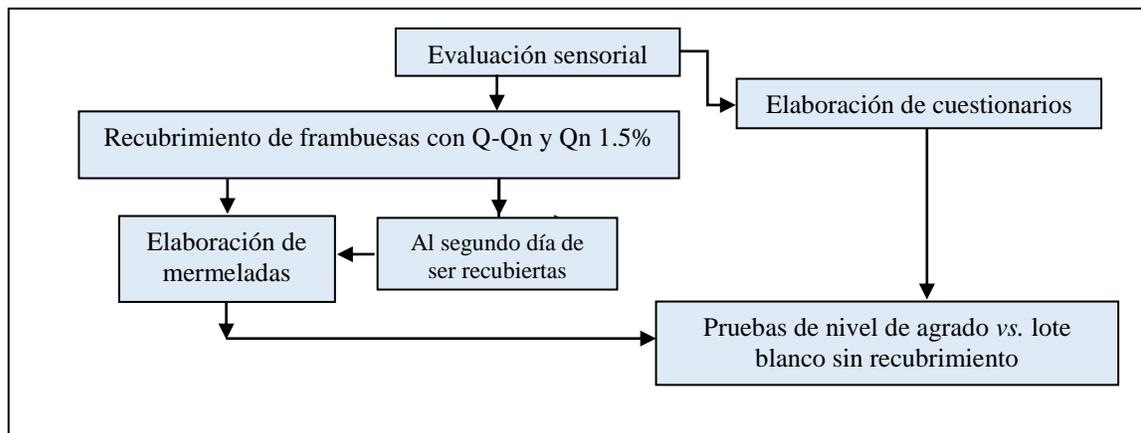


Figura 3c.Diagrama de flujo del desarrollo experimental [Evaluación sensorial]

3.1. Recolección de la cabeza fresca, obtención de cefalotórax de camarón y exoesqueleto de jaiba parcialmente desproteinizados y adquisición de los sujetos de estudio

Los cefalotórax y exoesqueletos de camarón y exoesqueletos de jaiba parcialmente desproteinizados fueron obtenidos en el área de pescados y mariscos de La Nueva Viga en la Central de Abastos de la Ciudad de México (CDMX). Una vez recolectados se transportaron a los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA).

Posteriormente, se realizó la remoción de detritus, limpieza y secado de los exoesqueletos y cefalotórax de camarón y jaibas, llevando a cabo la técnica señalada por Sarabia-Bañuelos (2011) para el caso del camarón y la técnica señalada por Mendoza-Pérez (2014) para el caso de la jaiba, las cuales son precisadas en el Apéndice A: Apartados A.1.1 y A.1.2.

Las frambuesas empleadas en el presente trabajo experimental fueron adquiridas en domos con una masa de alrededor de 170g cada una, en la tienda de autoservicio Walmart Copilco, en el área de frutas y verduras donde se encontraban en refrigeración entre 4 y 6°C.

3.2. Extracción de la mezcla quitina-quitosana (Q-Qn) a partir del cefalotórax de camarón y de los exoesqueletos de jaiba

3.2.1. Obtención de cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados (CEPD)

Para la realización de este punto, se tomó como base lo descrito por Flores-Ortega (2008), ya que describe que al licuarse con agua, gran parte de los componentes del cefalotórax de camarón son eliminados. Estos componentes, como nutrimentos inorgánicos, proteínas, grasas y pigmentos, se pueden emplear en otras fases de la investigación. Sin embargo, para fines del presente trabajo se realizaron modificaciones, tales como licuar en base húmeda y secar sobre papel absorbente y no en una relación 1:2 en masa como lo señala dicha técnica.

Inicialmente se realizó una molienda en un molino metálico para proceder con un secado en estufa a una temperatura de 60°C durante 18 h y así retirar la humedad restante. Posteriormente, se realizó una molienda en licuadora para disminuir el tamaño de partícula obtenido durante la primera molienda, seguido de un tamizado en un tamiz No. 80 (tamaño de partícula de 180 µm), para finalmente obtener cefalotórax y exoesqueletos de camarón y de jaiba parcialmente desproteinizados, llevando a cabo la técnica anteriormente descrita (Figura 3d) de manera independiente para jaiba y para camarón.

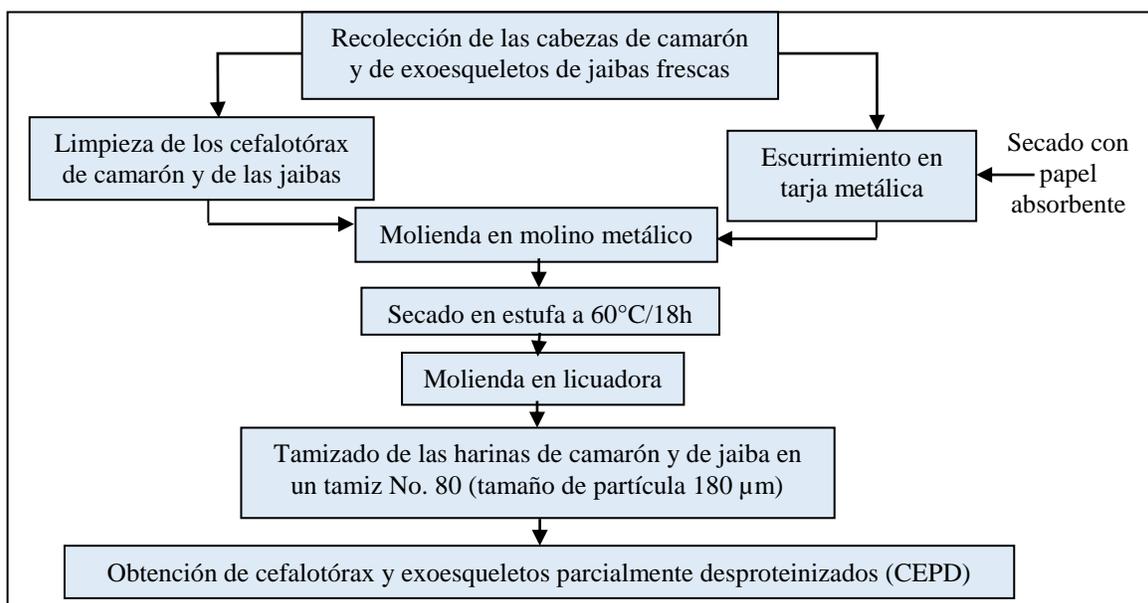


Figura 3d. Diagrama de flujo del desarrollo experimental (obtención de CEPD)

3.2.2. Elaboración del disolvente MAC-141©

La metodología para la elaboración del disolvente MAC-141© propuesta por Flores-Ortega (2004, 2008) y mejorada por Ortega-Granados (2011) se basa en la capacidad que presenta la mezcla de metanol-agua-cloruro de calcio en relación molar 1:4:1 para la extracción de quitina (Figura 3.1). Está fundamentada en el hecho de que el calcio conforma un complejo entre la quitina y la sal de calcio al romper los puentes de hidrógeno de la quitina, aunado a la capacidad de las moléculas de metanol para redirigir las zonas hidrofóbicas del polisacárido lejos del disolvente (Flores-Ortega, 2008). Sin embargo, para los fines de este trabajo, la técnica fue modificada y descrita en el diagrama de proceso (Figura A.2) del Apéndice A, Apartado A2.1.



Figura 3.1. Síntesis de disolvente MAC-141©
[Imagen capturada por la autora del presente trabajo]

3.2.3. Determinación de la proporción idónea CEPD: MAC-141©

La determinación de la proporción idónea de CEPD:MAC-141© se llevó a la cabo partiendo de tres proporciones propuestas con base en trabajos realizados anteriormente con cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados de camarón (CPD) y del disolvente MAC-141© únicamente.

Para los fines del presente trabajo, se realizó una mezcla 50:50 (m/m) de cefalotórax y exoesqueleto de camarón parcialmente desproteínizado con exoesqueletos de jaiba parcialmente desproteínizados. Las proporciones con que se trabajó fueron 1:5, 1:50 y 1:100 (m/m) de CEPD (50:50) y disolvente MAC-141©, respectivamente. La metodología empleada fue la señalada por Sarabia-Bañuelos (2011), retomada por Ortega-Granados (2011) y Enríquez y Nava (2016). Las modificaciones en cuanto a proporciones y compuestos que se llevaron a cabo durante esta fase experimental se detallan en el Apéndice A, Apartado A2.2.

La técnica consistió en realizar la mezcla de CEPD y disolvente MAC-141© en proporciones de 1:5, 1:50 y 1:100(m/m) (Fig. 3.2). Las mezclas se mantuvieron en reposo durante un lapso de 48 h para, posteriormente, ser filtradas y vertidas en frascos de vidrio que fueron colocados destapados dentro de un desecador con agua, empleándolo como cámara de humidificación. Las pruebas realizadas a las tres muestras se llevaron a cabo de manera sensorial, mediante la vista y el tacto, para determinar la proporción idónea de CEPD y del disolvente MAC-141© para la elaboración de biopelículas.



Figura 3.2. Determinación de la proporción idónea de CEPD (jaiba y camarón 50:50) y del disolvente MAC-141©

3.2.4. Extracción de la mezcla quitina-quitosana del CEPD

Una vez determinada la proporción idónea de CEPD y del disolvente MAC-141©, se realizó la mezcla y se mantuvo en reposo durante 48 h, para proceder con la misma metodología que se llevó a cabo con las muestras tratadas para dicha determinación. Posteriormente, se filtró y vertió en un contenedor de vidrio que se colocó dentro de un desecador con agua.

3.3. Preparación y empleo de las soluciones control

Para tener referentes durante el empleo del recubrimiento experimental elaborado a partir de CEPD y MAC-141©, se requirió el uso de un recubrimiento comercial empleado como recubrimiento control (elaborado con quitosana comercial de la marca Sigma-Aldrich). La selección de disolventes y solutos se realizó con base en lo señalado por Ortega-Granados (2011) y descrito por Enríquez y Nava (2016). El recubrimiento experimental (Q-Qn) se elaboró en una proporción de 1:50 (m/m) de CEPD y MAC-141©, mientras que el recubrimiento control (Qn 1.5%) se preparó usando una solución de ácido ascórbico al 2% como disolvente y quitosana comercial de la marca Sigma-Aldrich en una concentración de 1.5% m/v. Ambos recubrimientos se aplicaron respectivamente en lotes de frambuesas mediante la técnica conocida como cepillado (Véase Apéndice A, Apartado A3.1 y A3.2) y, adicionalmente, se preparó un lote de frambuesas sin recubrimiento alguno, señalado como “blanco” en la presente investigación.

3.4. Determinaciones sensoriales y fisicoquímicas

3.4.1. Determinación de cambios de textura

Las determinaciones de cambios de textura en frambuesas se realizaron de manera manual, empleando el tacto para definir cualitativamente la dureza presentada por cada una de las muestras, ubicándolas dentro de una de las tres categorías (blando, firme o duro) con las que se analizó esta cualidad. Se llevó a cabo la misma técnica para todos los lotes a lo largo del tiempo de estudio.

3.4.2. Análisis visual de presencia de hongos

La presencia de hongos se determinó únicamente mediante un análisis visual, señalando ausencia de estos en aquellas ocasiones donde no fue perceptible visualmente la aparición de estructuras ni cambios en textura o coloración característicos de la presencia de hongos en frambuesas.

3.4.3. Determinación del contenido de humedad (%H)

El contenido de humedad de las muestras de frambuesas se determinó a través del método de la termobalanza modificada descrito por Enríquez y Nava (2016) con base en lo propuesto por González-O. y colaboradores (2014) (Ver Apéndice A, Apartado A4.1) (SE, 1982).

3.4.4. Determinación de los grados Brix (°Bx)

Estas determinaciones se llevaron a cabo usando un refractómetro ATAGO-ATC-1 con una escala de 0-90%, empleando la metodología señalada en la NMX-F-103-NORMEX-2009 (SE, 2009) que se describe con mayor amplitud en el Apéndice A, Apartado A4.2.

3.4.5. Determinación del valor de pH

La determinación del valor de pH en las muestras de frambuesa se llevó a cabo empleando un potenciómetro de la marca Orión 720-A7, siguiendo la técnica “Determinación de pH en alimentos. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas”, señalada en la NMX-F-317-NORMEX-2013 (SE, 2013) (Apéndice A, Apartado A4.3).

3.4.6. Determinación del porcentaje de acidez (%A)

Siguiendo la metodología descrita en la Norma Mexicana: (MNX-FF-011-1982). “Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas”, la determinación del porcentaje de acidez se

realizó mediante una titulación con hidróxido de sodio al 0.1N, usando fenolftaleína como indicador (Véase Apéndice A, Apartado A4.4).

3.4.7. Determinación del contenido de vitamina C

Para determinar el contenido de vitamina C, se realizó una titulación con 2,6-Diclorofenol-Indofenol (2,6-DI) previamente valorada, y se empleó una alícuota de 10mL de muestra acondicionada con antelación (Véase Apéndice A, Apartado A4.5), la titulación se lleva a cabo y es detenida hasta que es notorio el vire de color y el tono rosado tenue permanece en el medio de reacción por al menos 10 segundos, registrando posteriormente el volumen de 2,6-DI gastado (AOAC, 2000).

3.4.8. Determinación de cambios de color

Existen distintas técnicas de determinación de color en alimentos, sin embargo, en el presente trabajo, se llevó a cabo la determinación de color de frambuesas mediante la comparación con la escala de color impresa Pantone®. Cabe mencionar que esta determinación generalmente es considerada subjetiva, ya que depende del observador la asignación de un código de color para cada muestra tratada. En el Apéndice A, Apartado A4.6 se describe con amplitud la técnica completa.

3.5. Determinación de condiciones de temperatura para pruebas de vida de anaquel de frambuesas

Generalmente en las pruebas aceleradas de vida de anaquel (*ASLT*), por sus siglas en inglés), se pretende estimar la caducidad de un producto que de otra manera sería muy tardado obtener. Es por ello que dichos experimentos se llevan a cabo de manera general bajo tres condiciones denominadas: condiciones idóneas, típicas y adversas (Enríquez y Nava, 2016).

Las frambuesas en este estudio fueron almacenadas bajo tres condiciones distintas de temperatura: a 5°C en un refrigerador doméstico (Figura 3.3), a 25°C

manteniéndolas sobre charolas a la temperatura ambiente presente en el laboratorio (Figura 3.4) y a 35°C dentro de una incubadora de marca ECOSHELL-9052 (Figura 3.5). Se separaron en lotes de 55 frutos de acuerdo con el tipo de recubrimiento correspondiente para las tres condiciones de almacenamiento.



Figura 3.3. Almacenamiento en refrigerador a 5°C



Figura 3.4. Almacenamiento en charolas a 25°C



Figura 3.5. Almacenamiento en incubadora a 35°C

Figuras 3.3 a 3.5 [Imágenes capturadas por la autora del presente trabajo]

3.6. Pruebas de nivel de agrado con consumidores

Se llevó a cabo la elaboración de mermeladas de frambuesa con los distintos lotes, mediante las cuales se realizaron pruebas de análisis sensorial (de nivel de agrado). Estas pruebas con consumidores se hicieron con el fin de detectar alguna diferencia significativa entre atributos como color, aroma, textura y sabor de mermeladas elaboradas con frambuesas de las diferentes muestras (un lote blanco, un lote control con frambuesas recubiertas con quitosana comercial y un lote sometido al recubrimiento experimental de Q-Qn). Para estas evaluaciones se utilizaron escalas hedónicas de cinco puntos (Severiano et al., 2012), las cuales se citan en Navarro-da-Silva et al. (2013) y presentan algunos beneficios al momento de realizar pruebas de nivel de agrado, como la facilidad de uso, el poder discriminativo, la validez y confiabilidad de las respuestas arrojadas, entre otros

(Enríquez y Nava, 2016). La evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa tuvo lugar en el vestíbulo del Edificio A de la FQ-UNAM con la colaboración de jueces no entrenados (alumnos de la FQ) (Véase Apéndice A, Apartado A6), a quienes se les presentó un cuestionario que se aprecia en el Apéndice A, Apartado A6, Figura A.6.3.

3.7. Análisis estadísticos

Se realizaron análisis estadísticos empleando el programa Statgraphics® (Figura 3.6) para el tratamiento de datos. La elaboración de análisis de varianza (*ANOVA* por sus siglas en inglés) se realizó con un nivel de significancia de 0.05. Los factores a evaluar fueron los recubrimientos (3 condiciones) y el tiempo (7 días) y las variables dependientes fueron los parámetros evaluados durante el estudio de vida de anaquel de las frambuesas, realizándose para cada temperatura (5, 25 y 35°C) una tabla de análisis de varianza por cada uno de los parámetros evaluados (%H, °Bx, pH, %A y Vitamina C).

4.1. Pruebas de vida de anaquel en frambuesas

4.1.1. Determinación de cambios de textura

En frutas, el ablandamiento del tejido está relacionado con cambios en la estructura de la pared celular. Estos cambios generalmente ocurren debido a la degradación y solubilización de la pectina y, adicionalmente, a la acción de las enzimas, que resultan en la modificación de la estructura de la pared celular. Por ejemplo, el papel principal de la protopectinasa en la descomposición de macromoléculas tales como la celulosa, la hemicelulosa y el almidón resultan en el ablandamiento de las paredes celulares disminuyendo la fuerza cohesiva que mantiene unidas a las células, lo cual lleva a una disminución en la firmeza de la fruta (Chitarra y Chitarra, 2005).

Existen distintas enzimas presentes en las frambuesas, las cuales contribuyen al ablandamiento durante la maduración del fruto, como son las galactosidasas (β -galactosidasa), las cuales liberan galactosa de las cadenas laterales, produciéndose cierto ablandamiento (Sozzi, 2009), con una mayor porosidad de las paredes celulares, y la pectinmetilesterasa, que desesterifica la homogalacturona en frutas, como en este caso las frambuesas (Goulao, 2010). Debido a que las frambuesas son frutos no climatéricos, es decir, que no continuarán madurando luego de ser desprendidas de la planta, éstas deben ser cosechadas una vez alcanzada su madurez comercial, prácticamente cuando estén listas para su consumo. Aún, cuando algunas enzimas permanezcan activas después de la cosecha, la influencia de éstas en el cambio de textura del fruto es mínima durante el tiempo en que son almacenadas para su estudio. Sin embargo, la turgencia de las células es un factor importante a considerar, ya que contribuye en gran medida a la firmeza de las frutas. Para que las células se mantengan turgentes, la pérdida de agua desde las vacuolas hacia el apoplasto debe ser evitada o minimizada, con transpiración controlada (Ghiani et al., 2011). Por otra

parte, una piel íntegra y de poca transpiración ejerce presión hacia las células internas elevando su turgencia y, por el contrario, si la piel pierde agua fácilmente deja de ejercer presión y las células pierden agua lo que, sumado a la formación de espacios intercelulares grandes, contribuye a la blandura (Ghiani et al., 2011).

En la Tabla 4.1a se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado un análisis manual de la textura de frambuesas recubiertas y de un lote sin recubrir (blanco) almacenadas a distintas temperaturas (5, 25 y 35°C). La tendencia general para las frambuesas para las tres temperaturas de almacenamiento fue comenzar presentando cierta firmeza, para después sentirse una textura blanda y, finalmente, endurecerse. Esto ocurrió a causa de la pérdida de agua que presentaron las frutas, ya que al inicio del seguimiento se tuvo una mayor cantidad de agua al interior, lo que otorgó una mayor firmeza; pero conforme avanzó el tiempo, la pérdida de agua transcurrió y los tejidos comenzaron a ablandarse, hasta que terminaron por contar con una cantidad mínima de humedad y un alto contenido de sólidos, lo cual provocó que las frambuesas terminaran por endurecerse y reducir su tamaño.

Comparando los recubrimientos empleados con el blanco, las frambuesas a las que no se les adicionó ningún recubrimiento fueron las que presentaron una mayor firmeza, al menos al inicio del almacenamiento. Esto pudo deberse a que la aplicación de los recubrimientos se realizó mediante la técnica de cepillado, lo cual afectó a la textura de las frambuesas recubiertas, ya que como la piel de las frambuesas es muy delicada, quizás se pudo haber dañado parcialmente la piel durante este proceso.

Las frambuesas recubiertas con Q-Qn 1:50 se endurecieron más rápidamente que las recubiertas con el biopolímero comercial de Qn al 1.5% y que las que no fueron recubiertas (blanco) y que fueron almacenadas a 5 y a 25°C, lo cual indicó que el recubrimiento de Q-Qn 1:50 no logró formar una barrera protectora más eficiente contra la liberación de agua que con lo sucedido con el recubrimiento de

Qn al 1.5%, al ser comparadas con los lotes de frutos que no tuvieron ningún recubrimiento (blancos) y que su endurecimiento fue más lento.

Tabla 4.1a. Resultados de la determinación de cambios de textura en frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Tiempo (días)	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	Firme	Blando	Blando	Firme	Blando	Blando	Firme	Blando	Blando
4	Firme	Blando	Blando	Blando	Blando	Blando	Duro	Duro	Duro
7	Firme	Blando	Blando	Blando	Duro	Blando	Duro	Duro	Duro
11	Firme	Blando	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
14	Blando	Blando	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
18	Blando	Duro	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
21	Blando	Duro	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro

Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (Control)

Al realizar una comparación de las temperaturas de almacenamiento a las que se sometieron las frambuesas, se encontró que, a mayor temperatura, más rápida fue la pérdida de agua en los frutos y, por tanto, también el endurecimiento. Esto ocurrió debido a que mientras más elevada fue la temperatura de almacenamiento, los tejidos se ablandaron y liberaron agua más fácilmente (Gil, 2012).

Como se mencionó anteriormente, uno de los factores a considerar entre las causas de la modificación de textura de las frambuesas es la actividad enzimática, ya que el aumento de la actividad de enzimas como la pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) podrían haber influido en la caída de la firmeza inicial presentada; Antunes et al. (2006) encontraron un aumento en la actividad de las enzimas pectinolíticas, en especial de la PME, que se tradujo en una pérdida de la firmeza con el transcurso del tiempo en moras, independientemente de la variedad y de las condiciones de conservación, por lo que, al ser éstas y las frambuesas frutos muy parecidos podría ser esto también uno de los factores que contribuyeron a los cambios de textura en los frutos bajo estudio.

En el caso de las frambuesas almacenadas a una temperatura de 5°C, de manera general la textura pasó de ser firme a blanda pero no llegaron al endurecimiento. Esto pudo deberse también a que la baja temperatura redujo la actividad de las enzimas pectinolíticas, y de esta manera, el proceso de ablandamiento se frenó tal como lo menciona Diley (1970).

4.1.2. Análisis visual de la presencia de hongos

En la Tabla 4.1b se aprecian los resultados obtenidos del análisis visual sobre la presencia de hongos en las frambuesas recubiertas sometidas a distintas temperaturas de almacenamiento; siendo en las frambuesas tratadas con el recubrimiento de Q-Qn 1:50 en donde no se observó la presencia de hongos a ninguna temperatura de almacenamiento; mientras que, tanto en el lote blanco, como en las frambuesas recubiertas con el recubrimiento de Qn 1.5% (Control, C) almacenadas a las temperaturas de 5 y 25°C, se detectaron presencia de hongos.

Tabla 4.1b. Resultados del análisis visual de la presencia de hongos en frambuesas recubiertas almacenadas a temperaturas de 5, 25 y 35°C

T	5°C			25°C			35°C		
Tiempo (Días)	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
7	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
11	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
14	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
18	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
21	Presencia	Ausencia	Presencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Donde: Blanco: sin recubrimiento, Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50, Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (Control)

Anteriormente se ha observado que los recubrimientos con quitosana presentan propiedades benéficas al usarse en el campo de la agricultura por su actividad bactericida, fungicida, además de presentar una relativa inocuidad (Lárez-Velásquez, 2008). Sin embargo, al comparar entre ambos recubrimientos de quitosana, se obtuvo que el recubrimiento obtenido experimentalmente posee una

mayor actividad fungicida que el recubrimiento comercial Qn-1.5% Sigma-Aldrich usado como control.

4.1.2.A Generalidades para análisis visual de presencia de hongos en frambuesas almacenadas a una temperatura de 5°C

Comparando los tres lotes de frambuesas en estudio que fueron almacenados a una temperatura de 5°C, se encontró que en aquellas frambuesas que no fueron recubiertas (lote blanco) se detectó visualmente la presencia de hongos a partir del día siete de estudio, mientras que para las frambuesas recubiertas con quitosana comercial (Qn 1.5%) la presencia de hongos se detectó hasta el día 21, en cambio en las frambuesas recubiertas con Q-Qn 1:50 (el recubrimiento experimental) no se observó presencia de hongos. Esto indicó que a una temperatura de refrigeración de 5°C el recubrimiento experimental de quitina-quitosana (Q-Qn 1:50) fungió como un buen protector del fruto contra la presencia de hongos, permitiendo así que el tiempo de vida de anaquel de las frambuesas no disminuyera a causa de una contaminación fúngica.

4.1.2.B Generalidades para el análisis visual de presencia de hongos en frambuesas almacenadas a una temperatura de 25°C

En el caso de los lotes almacenados a una temperatura de 25°C, la identificación visual de la presencia de hongos en las frambuesas se presentó a partir del día cuatro de estudio tanto en el lote empleado como blanco como en el lote de frambuesas recubiertas con Qn 1.5%. Es decir, los frutos se mantuvieron inocuos menos tiempo que los sometidos a temperatura de refrigeración. Y en el lote de frambuesas recubiertas con Q-Qn 1:50, ocurrió lo mismo que en el almacenamiento a 5°C, no se detectó presencia de hongos. Esto parece indicar que independientemente de la temperatura a la que se sometan los frutos, el recubrimiento experimental Q-Qn 1:50 presenta cualidades que impiden la contaminación por hongos. Esta sería una ventaja de su aplicación como recubrimiento de frambuesas ya que permite contribuir a alargar la vida de anaquel de los frutos mostrando mejores resultados que, incluso, los

recubrimientos comerciales como el empleado en este estudio como control (Qn 1.5%).

4.1.2.C Generalidades para análisis visual de presencia de hongos en frambuesas almacenadas a una temperatura de 35°C

En frambuesas, los hongos que comúnmente se presentan son *Botrytis cinerea*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Rhizopus* y levaduras. Sin embargo, el más común es el primero, *Botrytis cinerea* (Tournas y Katsoudas, 2005). Este hongo es encargado de causar la enfermedad conocida como pudrición gris y aún a una temperatura de 0°C sigue creciendo. Sin embargo, el crecimiento a esta temperatura es muy lento (INIA, 2013), la producción de esporas aumenta junto con la duración de humedad libre y ocurre en un rango amplio de temperaturas, con la temperatura idónea de 15 a 22°C (Nunes et al., 2005), por lo que a temperaturas altas como 35°C donde la humedad relativa del aire es baja *Botrytis cinerea* difícilmente puede atacar al fruto, lo que respalda los resultados obtenidos en la presente investigación.

En la incubadora se almacenaron lotes con frambuesas sin recubrir (blanco), frambuesas recubiertas con quitosana comercial (Qn 1.5%) y frambuesas recubiertas con quitina-quitosana (Q-Qn 1:50), con 55 frutos cada uno. En ninguno de los tres lotes se observó la presencia de hongos, por lo que se dedujo que a esta temperatura los recubrimientos no fueron los factores que determinaron la presencia o ausencia de hongos, sino la temperatura misma a la que se almacenaron los lotes y la influencia de esta en la humedad relativa del aire que se tuvo durante el almacenamiento.

4.1.3. Determinación del contenido de humedad (% H)

En las frambuesas, luego de ser cosechadas y ser desprendidas de la planta, se indujo un estado de estrés, lo cual provoca daños celulares y fisicoquímicos en el fruto. Este es un factor que favorece la pérdida de agua y que afecta a su vez la textura y apariencia del fruto, ya que el manejo de estos frutos es muy delicado.

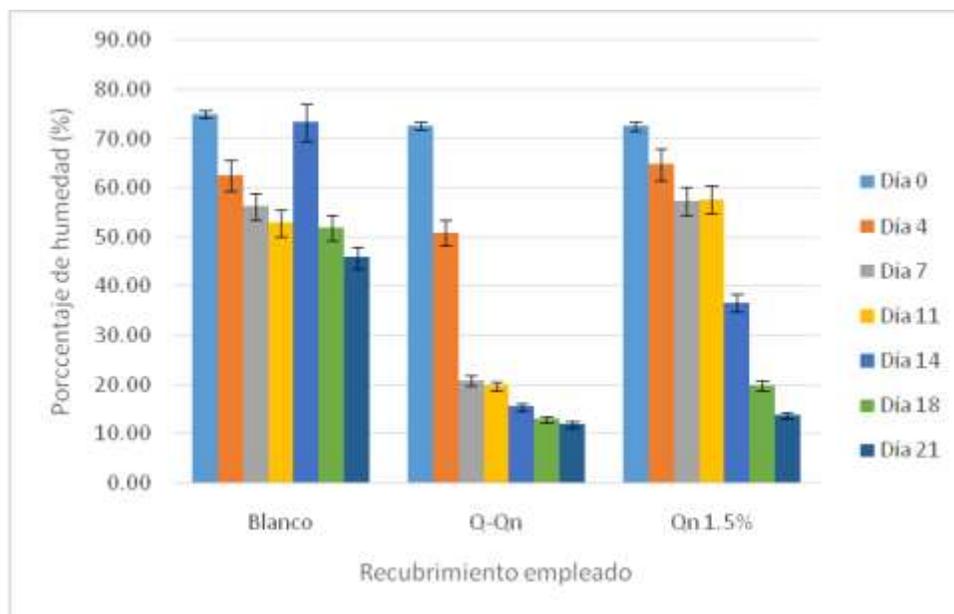
Es por ello, que los recubrimientos que permitieron conservar por más tiempo la humedad de los frutos, que para el caso de las frambuesas, la literatura señala un contenido de 85.75% de agua en frutos frescos (USDA, 2018), fueron capaces de preservar la textura de las frambuesas sometidas a un proceso de recubrimiento, presentando una menor pérdida de agua y una mejor conservación de la misma.

De los datos de la determinación del contenido de humedad en las frambuesas se obtuvo una diferencia significativa a un $\alpha=0.05$ (Apéndice C, Tablas C.1.0, C.2.0 y C.3.0) entre todos los lotes (blanco, Q-Qn y Qn al 1.5% como control) y el tiempo desde el día 0 hasta el término de la vida de anaquel bajo condiciones de almacenamiento de 5 y 25°C. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre los tipos de recubrimientos empleados bajo las condiciones de 35°C. Lo anterior fue atribuido a la forma en que se llevó a cabo el recubrimiento de los frutos, (la aplicación de los recubrimientos mediante la técnica de cepillado), la cual careció de un proceso repetible (reproducibilidad) a nivel de laboratorio bajo las condiciones en que se llevó a cabo el estudio (el recubrimiento se distribuyó manualmente y esto pudo haber generado cambios en la cantidad adicionada del mismo) lo cual promovió que fueran únicas para cada frambuesa (superficie heterogénea de frambuesas).

En la Tabla D (Véase Apéndice D), se muestran los resultados obtenidos mediante el cálculo de la diferencia de medias a través del método de Tukey con respecto a las condiciones de almacenamiento de 25 y 35°C. Con los resultados mostrados, se concluyó que, a 5°C, el recubrimiento de Q-Qn 1:50 fue ineficiente debido a que presentó una mayor pérdida de humedad con respecto al lote blanco y, para las condiciones de almacenamiento de 25 y 35°C, al no presentarse diferencias entre las medias de los tres lotes (blanco, Q-Qn 1:50 y Qn al 1.5% usado como control), no se observaron efectos significativos de la aplicación de los recubrimientos (Ver Gráficas 4.1a, 4.1b y 4.1c).

4.1.3.A Generalidades para las determinaciones de humedad a una temperatura de 5°C

Para el almacenamiento a 5°C, el lote que presentó la menor pérdida de humedad en comparación con el lote blanco fue el recubierto con Qn al 1.5% usado como control (Gráfica 4.1a), permitiendo que las frambuesas mantuvieran por más tiempo el agua libre hasta el día once.



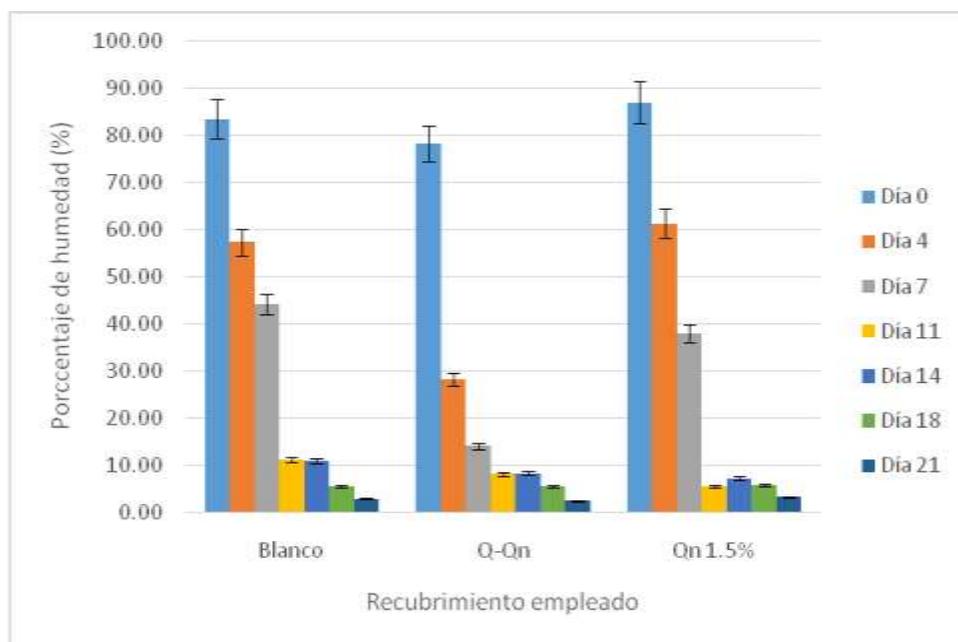
Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50;
Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.1a. Pérdida de humedad expresada en porcentaje, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C

4.1.3.B Generalidades para las determinaciones de humedad a una temperatura de 25°C

Con los resultados obtenidos durante el estudio (Apéndice B, Tabla B.2), se observó que en la condición de almacenamiento a 25°C (temperatura ambiente) hubo una mayor pérdida de agua libre en todos los lotes comparados con las frambuesas almacenadas a 5°C. Los lotes almacenados a 35°C presentaron aún una mayor pérdida de agua libre en menos de cinco días. Es decir, en frambuesas almacenadas a esta temperatura, independientemente del tipo de recubrimiento a

las que fueron sometidas (o no, en el caso del lote blanco), presentaron una caída en el contenido de humedad a partir del inicio del tiempo de estudio. Por tanto, la adición de recubrimientos no representó realmente un beneficio tecnológico respecto a la disminución de la pérdida de humedad a esta temperatura (Gráfica 4.1b).



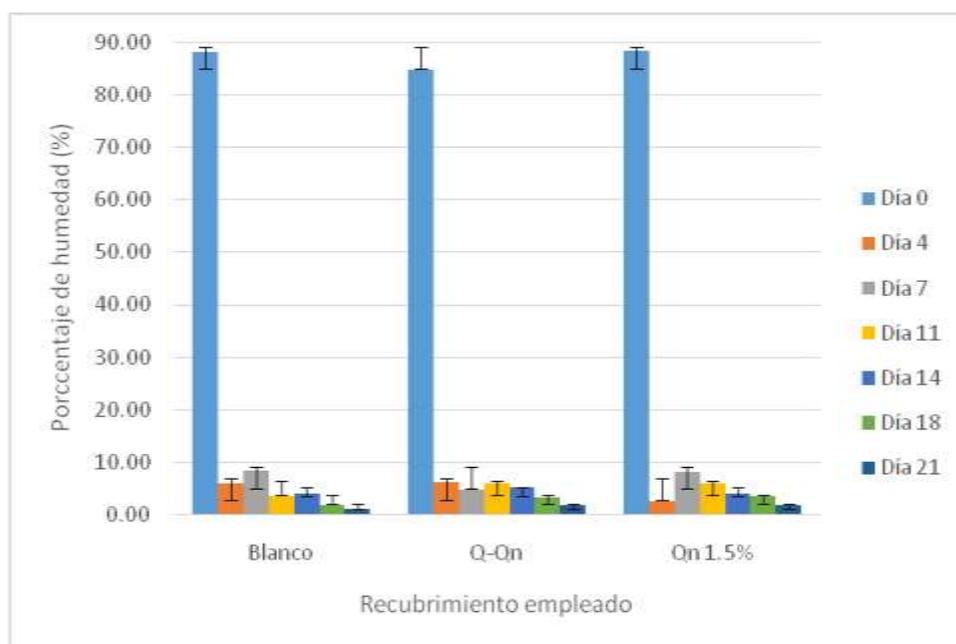
Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50;
Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.1b. Pérdida de humedad expresada en porcentaje, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C

4.1.3.C Generalidades para las determinaciones de humedad a una temperatura de 35°C

Para el caso de los lotes almacenados a 35°C, no se presentaron diferencias entre los recubrimientos ya que la caída del contenido de humedad al inicio del estudio permitió mantener en los días posteriores una humedad relativa dentro de la incubadora igual para los tres lotes (blanco, Q-Qn 1:50 y Qn al 1.5% como control), lo cual permitió tener una atmósfera de trabajo más controlada en cuanto a humedad, disminuyendo las diferencias entre los recubrimientos.

Cabe resaltar que los lotes de frambuesas almacenados a esta temperatura presentaron una mayor pérdida de humedad que las almacenadas a temperaturas inferiores. Un factor importante que influyó en esta marcada diferencia es que las pérdidas de masa están vinculadas al déficit de presión de vapor (DPV) donde a temperaturas más elevadas, 35°C en este caso, se produce una mayor diferencia entre el ambiente (pobre en vapor de agua) y los frutos (saturados en vapor de agua) (Gráfica 4.1c). Para alcanzar el equilibrio, el fruto pierde vapor de agua y, por consiguiente, se manifiesta la deshidratación ya que el agua que se pierde no puede ser repuesta (Chitarra y Chitarra, 2005).



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50;
Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.1c. Pérdida de humedad expresada en porcentaje, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C

4.1.4. Determinación de los grados Brix (°Bx)

Los grados Brix indican el contenido total de sólidos disueltos (glúcidos o sales) en 100 g de un líquido (SE, 2009). En la literatura se ha encontrado que el contenido

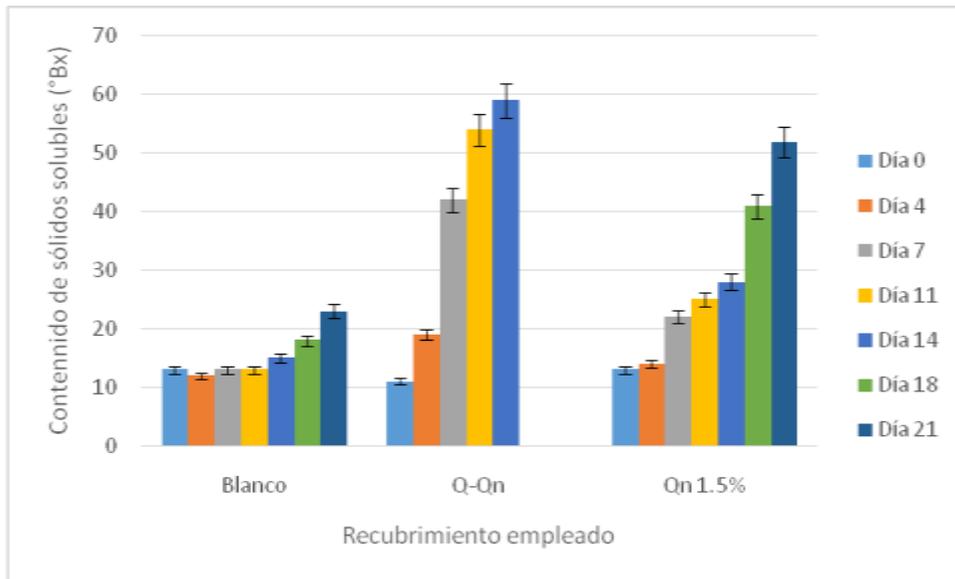
mínimo de sólidos solubles recomendado para la cosecha en frambuesas es de 8°Bx (Kader, 1998). Del total de 14% de los sólidos generalmente, un 9% es soluble, los glúcidos reductores glucosa y fructosa (1.5-4%) y el ácido cítrico (2%) (Green, 1971). La concentración de cada uno de los glúcidos es del orden de 2.0g/100g y la xilosa es el glúcido neutro predominante de las paredes celulares, que disminuye durante la maduración a causa de su hidrólisis (Gross, 1984).

Las frambuesas, al ser un fruto no climatérico, después de ser cosechadas apenas siguen madurando de forma lenta y no tienen cambios bruscos en su aspecto y composición. El aumento en °Bx también se puede deber a que como maduran lentamente la protopectina en las paredes celulares hidroliza a pectinas solubles (Navarrete, 2009) y, conforme ocurren las distintas etapas de madurez, hay un mayor número de glúcidos hidrolizados presentes en las frambuesas. Esto provoca un aumento del contenido de sólidos solubles (Walsh et al., 1983) y esto puede explicar lo observado en el presente estudio.

Los valores de la determinación del contenido de sólidos solubles totales se muestran en el Apéndice B, Tabla B.3 y los valores promedio de dichos resultados se muestran en las Gráficas 4.2a y 4.2b para dos de las tres condiciones de temperatura en estudio.

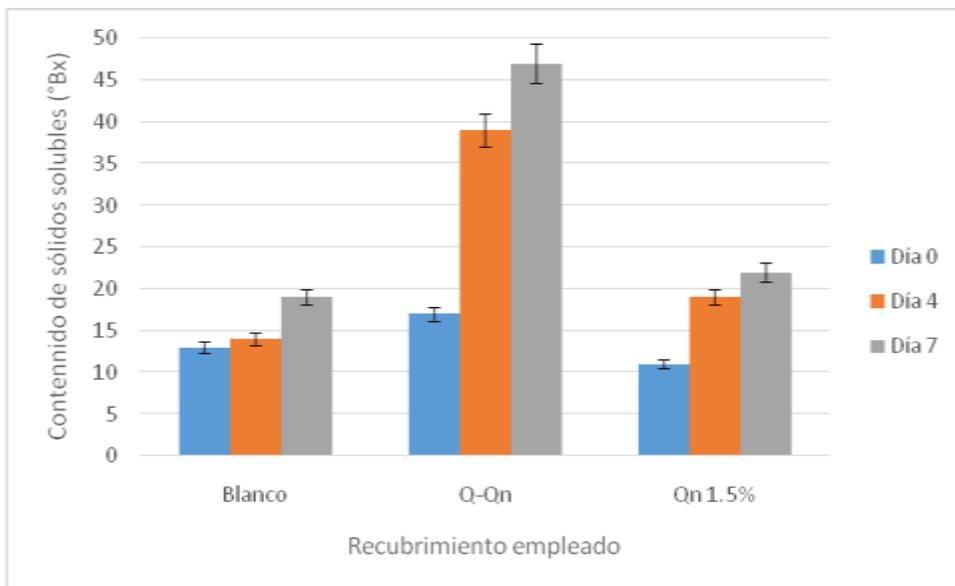
De los datos experimentales provenientes de los diferentes lotes se obtuvieron lecturas de alrededor de 13°Bx del día cero y se observó una tendencia general al aumento del contenido de sólidos solubles de °Bx como se aprecia en las Gráficas 4.2a y 4.2b.

Independientemente del tratamiento y la temperatura de almacenamiento, los °Bx en las frambuesas presentaron un aumento probablemente vinculado a la degradación de las pectinas teniendo en cuenta que las pectinas forman parte de los compuestos medidos al evaluar los sólidos solubles totales (Chitarra y Chitarra, 2005).



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50;
 Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.2a. Determinación de °Bx en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50;
 Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.2b. Determinación de °Bx en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas 25°C¹

¹ No se determinó este parámetro todos los días de análisis (sólo días 0, 4 y 7) debido a la deshidratación de las muestras

Para el caso de los lotes de frambuesas sometidos a 25°C, la determinación de °Bx únicamente pudo llevarse a cabo hasta el día siete y, para los almacenados a 35°C, sólo pudo realizarse la primera lectura, ya que la concentración de sólidos presentes (glúcidos) en las frambuesas después de esas lecturas sobrepasó el máximo intervalo de medición del refractómetro empleado a causa de la deshidratación de las frambuesas, no siendo posible determinar la concentración de sólidos solubles después de esas lecturas. Sin embargo, en la Tabla B.3 (Véase Apéndice B) se muestran los datos obtenidos para los lotes sometidos a las tres temperaturas bajo estudio (5°C, 25°C y 35°C), en donde se pudo observar que se tuvo un aumento de °Bx más rápido para el caso de los lotes de frambuesas recubiertas con Q-Qn al 1:50 para las tres condiciones de temperatura, por lo que se determinó que el recubrimiento con Q-Qn al 1:50 fue el que permitió una menor absorción de agua por el recubrimiento y mayor pérdida de humedad del fruto, concentrando más los sólidos solubles presentes en las frambuesas.

4.1.4.A Generalidades para las determinaciones de °Bx a una temperatura de 5°C

Para el caso de los lotes almacenados a la temperatura de 5°C, se observó una diferencia significativa entre el tipo de recubrimientos empleados y también entre el tiempo de estudio (Véase Apéndice C, Apartado C1, Tabla C.1.1). Esto fue debido a que hubo una disminución de humedad entre los lotes conforme fue avanzando el tiempo y con esto una mayor concentración de glúcidos en el fruto. Perkins-Veazie y Collins (1996) también encontraron que las moras luego de 7 días a 2°C, presentaban un aumento en el contenido de sólidos solubles totales. Según los autores, además de la ocurrencia de la degradación de los materiales de la pared celular, el aumento fue consecuencia de la pérdida de masa, ya que por la deshidratación de los frutos los sólidos solubles totales estaban más concentrados. El aumento observado en la presente investigación también puede

explicarse por este hecho, al tratarse de frutos y temperaturas muy parecidas a las del estudio realizado.

En la Tabla D.1 (Véase Apéndice D) se aprecian los resultados mediante el cálculo de diferencia de medias a través del método de Tukey de acuerdo con la condición de almacenamiento a 5°C y, junto con los resultados obtenidos (Gráfica 4.2a), se concluye que a esta temperatura de almacenamiento el recubrimiento de Q-Qn fue el que tuvo la menor capacidad de ralentizar el daño celular o la hidrólisis de glúcidos y otros compuestos. Esto, aunado a la menor capacidad de retener humedad en el fruto y a que el remanente de CaCl₂ presente en el disolvente empleado para la obtención de este recubrimiento pudo haber sido solubilizado en las gotas de jugo provenientes de la presión manual que se ejerció a las frambuesas que fueron empleadas para determinar el contenido de sólidos solubles, provocó una diferencia en el aumento del contenido de sólidos solubles (glúcidos) alta a partir del séptimo día, con respecto del resto de los lotes.

4.1.4.B Generalidades para las determinaciones de °Bx a una temperatura de 25°C

En los frutos almacenados a una temperatura de 25°C también se obtuvieron valores distintos entre los recubrimientos empleados (Véase Apéndice B, Tabla B.3), siendo los frutos recubiertos con Q-Qn al 1:50 los que presentaron una concentración mayor de sólidos solubles totales comparados con el resto de los lotes. Lo anterior es atribuible a varios factores, como son la adición de sales provenientes del recubrimiento empleado y la pérdida de humedad de los frutos. De acuerdo con los datos arrojados por el presente estudio, a esta temperatura, los frutos tratados con este recubrimiento presentaron una mayor pérdida de humedad justamente en los siete primeros días de estudio (días en los que fue posible realizar la medición de °Bx a estas muestras) que el lote blanco y el lote tratado con Qn 1.5%, lo que sin duda, contribuyó a una mayor concentración de sólidos solubles en los frutos.

Como se puede observar en la Gráfica 4.2b, el lote recubierto con quitosana comercial (Qn 1.5%) también presentó los niveles más altos de °Bx que el lote de frambuesas sin recubrimiento (Blanco). Por tanto, se concluye que la adición de un recubrimiento, independientemente de si es de la mezcla quitina-quitosana 1:50 (Q-Qn) o quitina comercial (Qn 1.5%) contribuyó al aumento de concentración de sólidos solubles totales en frutos de frambuesa.

4.1.4.C Generalidades para las determinaciones de °Bx a una temperatura de 35°C

En el caso de las muestras almacenadas a una temperatura de 35°C, la pérdida de humedad en los frutos se llevó a cabo rápidamente, concentrando los sólidos solubles totales tanto que únicamente se pudo llevar a cabo la primera lectura de °Bx. Esto fue sin importar el tipo de recubrimiento al que se sometió el lote ya que los valores sobrepasaron la escala de medida del refractómetro utilizado y la deshidratación impidió la obtención de jugo para realizar la determinación de los °Bx.

4.1.5. Determinación del valor de pH

Las frambuesas comerciales que se encuentran en el punto de madurez comercial presentaron un valor de pH de 3.2-3.7 de acuerdo con lo encontrado en la literatura (Wageningen, 2017). Al inicio del estudio de vida de anaquel las frambuesas presentaron valores de pH cercanos al valor mencionado. Sin embargo, durante las lecturas posteriores, la tendencia general para los lotes almacenados a las tres temperaturas del estudio fue de incremento (Gráficas 4.3a, b y c). Trejo-Ramírez y colaboradores (2015) quienes trabajaron también con frutos de frambuesa señalaron que, a pesar de las diferentes temperaturas de almacenamiento, el pH tendió a incrementarse conforme transcurrieron los días de almacenamiento. Las frutillas al ir sufriendo su proceso normal de madurez debido a sus procesos fisiológicos cambian sus características fisicoquímicas disminuyendo el porcentaje de acidez y, por consiguiente, aumentando el pH.

Esto también modifica sus características organolépticas a causa de estos cambios, como son el color y la apariencia (Trejo-Ramírez et al., 2015). Los resultados obtenidos en el presente trabajo coincidieron con esos resultados, señalando ser un indicador de la calidad de los frutos al inicio del estudio. Adicionalmente, se dio una idea del tiempo de vida de anaquel de los mismos.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los lotes de frambuesas recubiertas con Q-Qn almacenados a 5, 25 y 35°C (Véase Apéndice B, Tabla B.4), se puede decir que este recubrimiento fue el que logró mantener una menor variación del pH de las frambuesas, en comparación con el lote blanco o el recubierto con Qn al 1.5% usado como control. Las Tablas C.1.2, C.2.1 y C.3.1 (Véase Apéndice C) presentan los datos del análisis estadístico.

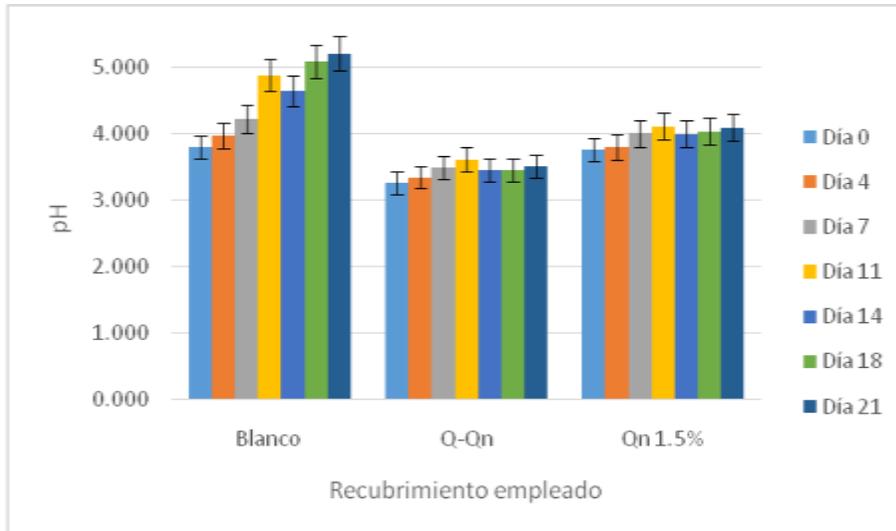
4.1.5.A Generalidades para las determinaciones de pH a una temperatura de 5°C

En los lotes de frambuesas almacenados a una temperatura de 5°C, recubiertas tanto con la mezcla quitina-quitosana 1:50 (Q-Qn) como con quitina comercial (Qn 1.5%) se obtuvieron valores de pH inferiores comparados con los valores obtenidos en las muestras almacenadas a las temperaturas de 25 y 35°C. Esto pudo deberse a que, junto con el efecto de la temperatura sobre la actividad de las enzimas, pudo existir también un efecto del pH, factor que también influye sobre la actividad enzimática. Dicho efecto, también vinculado a la menor respiración, determinó un menor consumo de los ácidos orgánicos (Trejo-Ramírez et al., 2015).

4.1.5.B Generalidades para las determinaciones de pH a una temperatura de 25°C

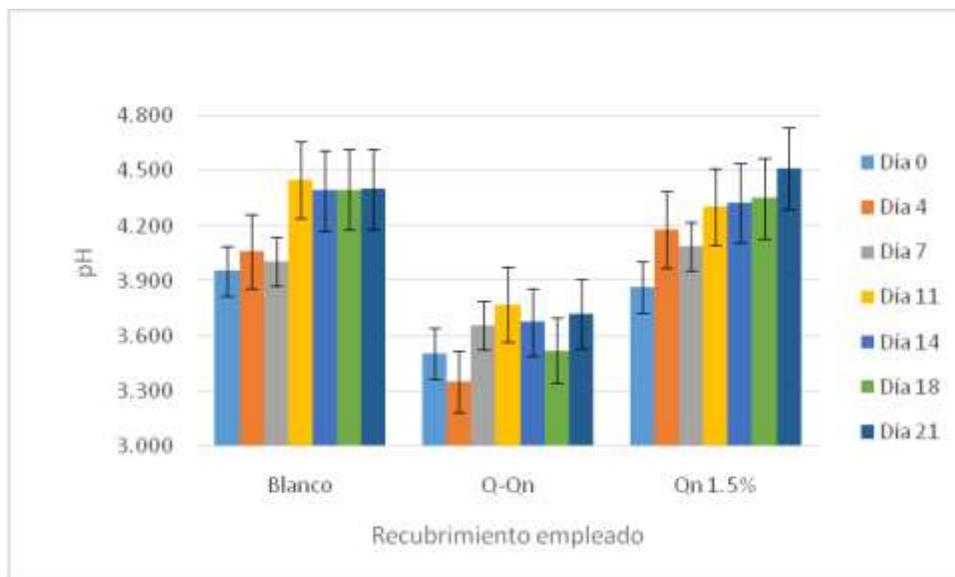
Los valores de pH de las muestras almacenadas a 5°C para el caso de los lotes tratados con recubrimientos, se mantuvieron sin grandes variaciones durante el tiempo de estudio. En los frutos almacenados a la temperatura de 25°C, se

observó de manera general un aumento significativo en estos valores durante todo el periodo de conservación (Gráfica 4.3b).



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.3a. Determinación de pH en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.3b. Determinación de pH en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C

El aumento en los valores de pH es un indicador de una caída en la acidez total, que está relacionada con la actividad respiratoria como se mencionó anteriormente y, en el caso de la frambuesa, fue bastante más evidente, ya que los frutos tienen un bajo contenido de glúcidos (Souza, 2007).

Con base en el análisis estadístico, se encontró una diferencia significativa entre el lote recubierto con quitina-quitosana (Q-Qn) y el resto de los lotes (Véase Apéndice C, Tabla C.2.1), presentando valores de pH inferiores a los obtenidos de las muestras recubiertas con quitina comercial (Qn 1.5%) y de las muestras sin recubrimiento (blanco).

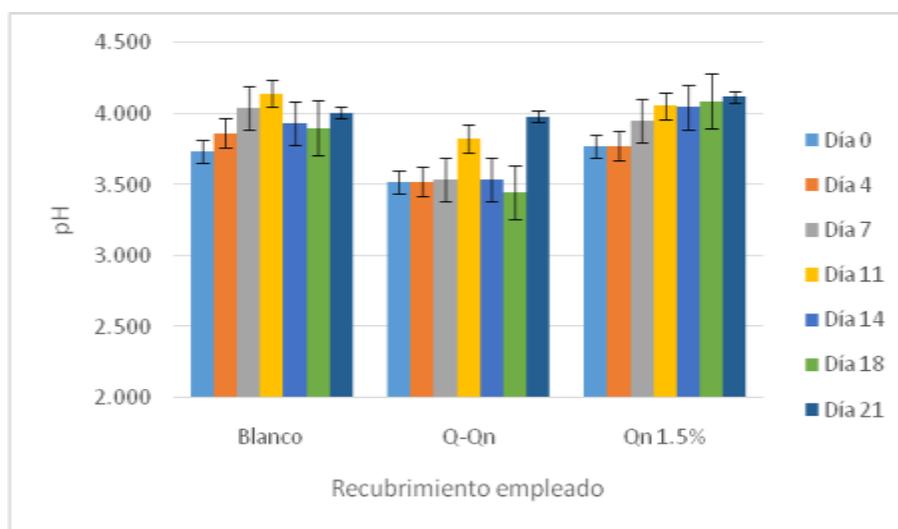
4.1.5.C Generalidades para las determinaciones de pH a una temperatura de 35°C

Trejo-Ramírez et al. (2015), como resultado de su estudio con frutos de frambuesa, señalaron que cuando la temperatura es más elevada, la mayor actividad respiratoria determina un mayor consumo de los ácidos orgánicos responsables de la acidez total de los frutos, tal como fuera observado en este trabajo a una temperatura de almacenamiento de 35°C (Gráfica 4.3c). Resultados similares fueron encontrados por Ancos et al. (1999), donde al igual que en el presente trabajo experimental se observó una tendencia al aumento en los valores de pH al paso de los días independientemente del tipo de recubrimiento con que se trató el lote o si no se llevó a cabo el recubrimiento de los frutos. Al igual que en el análisis estadístico realizado a los lotes almacenados a 25°C, se encontró una diferencia significativa entre el lote de frambuesas recubiertas con quitina-quitosana (Q-Qn) y el resto de los lotes, lo que se tradujo como una influencia por parte del recubrimiento en la disminución del pH independientemente de si el almacenamiento se realiza a una temperatura de 25 o 35°C.

4.1.6. Determinación del porcentaje de acidez (% HA)

El ácido cítrico es el que se encuentra mayoritariamente en las frambuesas, la concentración de ácidos totales generalmente es alta y éstos son componentes

del sabor de la fruta. La degradación de dichos ácidos orgánicos ocurre por respiración o por conversión de éstos en azúcar, disminuyendo así durante la maduración (Ulrich, 1970). Es así como la concentración de ácidos titulables declina con la maduración de la frambuesa, más a una temperatura mayor y constituye un índice de ella (Mason 1974; Sjulín y Robbins, 1987).

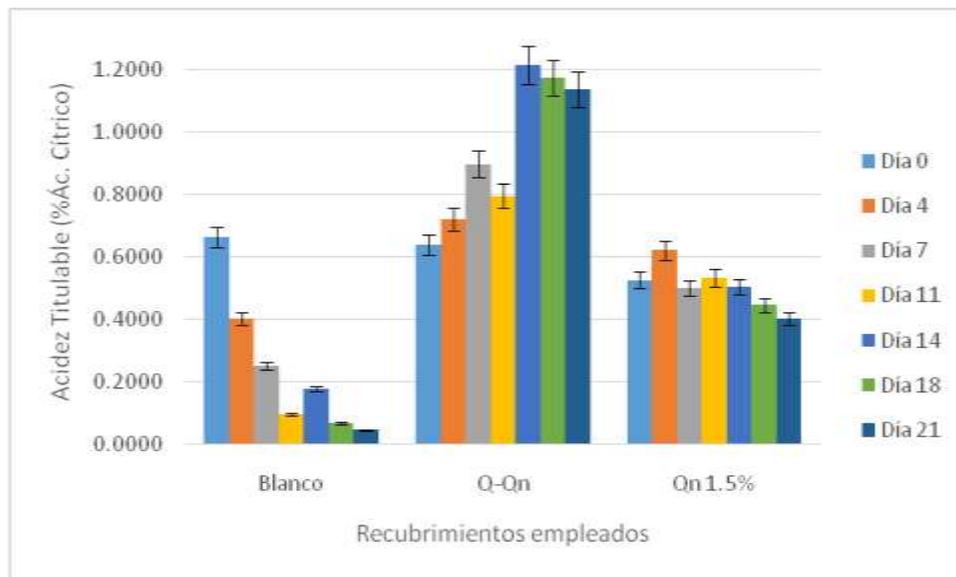


Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosa 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosa Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.3c. Determinación de pH en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C

En la Tabla B.5 (Véase Apéndice B) se presentan los resultados de acidez titulable obtenidos durante el estudio de vida de anaquel. En esta se puede observar que las frambuesas recubiertas con quitina-quitosa 1:50 (Q-Qn) presentaron un aumento de acidez titulable en el caso de los lotes almacenados a 5 y 25°C. Esto resulta contradictorio si se compara con los resultados obtenidos para pH. Sin embargo, este aumento de acidez titulable puede atribuirse a la falta de detección visible del cambio de coloración al momento de la realización de las determinaciones ya que, debido al color de los frutos estudiados, la detección visual del vire de color en el punto de equivalencia de la titulación se dificultaba, lo que pudo haber provocado falsos positivos al momento de realizar estas pruebas.

En las Gráficas 4.4a, b y c puede apreciarse la disminución de la acidez en los distintos lotes de frambuesas recubiertas con Qn al 1.5% y en los lotes blanco; siendo más notorio el declive de acidez en los lotes almacenados a 35°C.



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.4a. Determinación de la acidez titulable expresado en porcentaje de ácido cítrico, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C

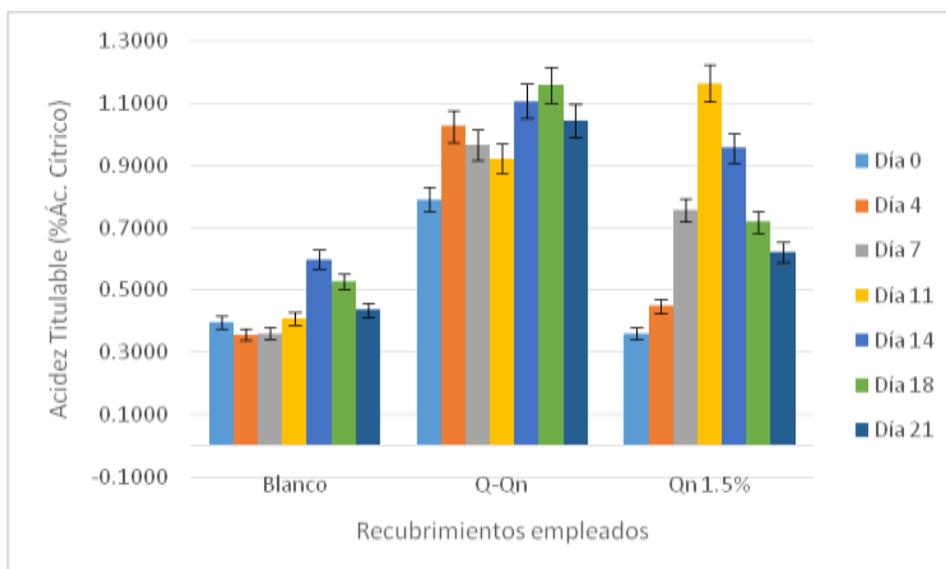
4.1.6.A Generalidades para las determinaciones del porcentaje de acidez (% HA) a una temperatura de 5°C

La disminución de la acidez se puede atribuir al uso de ácidos orgánicos como sustratos respiratorios y como esqueleto de carbono para la síntesis de nuevos compuestos durante la maduración. Fan et al. (2009), en las muestras almacenadas a una temperatura de 5°C, obtuvieron valores de acidez más altos en frutos recubiertos que en frutos sin recubrir (blanco). Esto fue debido a que los recubrimientos comestibles ralentizan la frecuencia respiratoria y retrasan la utilización de los ácidos orgánicos en las reacciones enzimáticas (Trejo-Ramírez et al., 2015), provocando así que los niveles de acidez en el fruto difieran en menor medida en frutos recubiertos que en frutos sin recubrir.

De igual forma, mediante el análisis estadístico se determinó que hubo una diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos empleados y el lote blanco a un valor $\alpha \geq 0.05$ (Véase Apéndice C, Tabla C.1.3 y Apéndice D, Tabla D.3).

4.1.6.B Generalidades para las determinaciones del porcentaje de acidez (% HA) a una temperatura de 25°C

En el caso de las muestras almacenadas a una temperatura de 25°C, al término del estudio de vida de anaquel se encontró que sí hubo diferencias significativas, mediante tablas de análisis de varianza (ANOVA) (Véase Apéndice C, Tabla C.2.2), con un nivel de confianza del 95% entre los valores de acidez total obtenidos (Gráfica 4.4b).



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.4b. Determinación de la acidez titulable expresado en porcentaje de ácido cítrico, en lotes de frambuesas recubiertas almacenadas a 25°C

En la Tabla D.3 se muestran los resultados obtenidos mediante el cálculo de la diferencia de medias a través del método de Tukey respecto con la condición de almacenamiento a 25°C (Véase Apéndice D).

Con base en los resultados de la Tabla D.3, se concluye que bajo la condición de almacenamiento a 25°C hubo diferencia significativa entre los tres lotes bajo estudio, observándose variaciones en la tendencia de cambio de los valores de acidez (Gráfica 4.4b) conforme avanzó el tiempo del estudio. El lote de frambuesas recubiertas con la mezcla quitina-quitosana (Q-Qn) presentó valores de acidez más altos en su mayoría en comparación con los valores obtenidos de los otros lotes, lo cual indica que este recubrimiento logró ralentizar procesos metabólicos que disminuyen en gran medida la acidez del fruto. En los frutos pertenecientes a este lote (Q-Qn) no se observó presencia de hongos mediante el análisis visual. Por otro lado, los lotes: blanco y Qn 1.5% fue perceptible visualmente la presencia de hongos a partir del día 4 de estudio. Esto, aunado a los valores de pH obtenidos respectivamente, fue un indicativo de que el recubrimiento experimental (Q-Qn) provee una ventaja en la conservación de los frutos en comparación con el resto de los lotes.

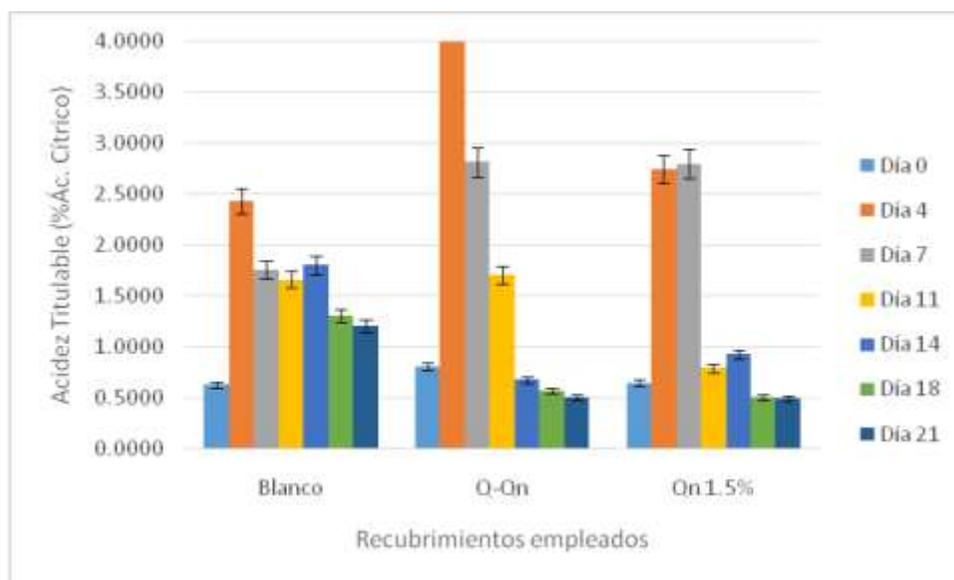
4.1.6.C Generalidades para las determinaciones del porcentaje de acidez (%A) a una temperatura de 35°C

Trejo-Ramírez et al. (2015) menciona que la acidez se encuentra significativamente relacionada con el pH. Esto se debe a que a medida que el pH se incrementa, la acidez disminuye. Con el aumento de la maduración se observó un descenso uniforme del contenido de la acidez total titulable, lo cual indicó que se están utilizando los ácidos del fruto como substrato de respiración. Esto es debido a que los ácidos, en comparación con los carbohidratos, contienen, por cada átomo de C y de H, más átomos de O₂ y así, la liberación de CO₂ es mayor que la toma de O₂.

Dicho comportamiento pudo observarse en la Gráfica 4.4c, donde hubo un aumento en los valores de acidez de los lotes almacenados a 35°C durante las primeras lecturas realizadas. Esto pudo deberse a la adición de los recubrimientos, en el caso de los lotes Q-Qn y Q-SA 1.5% usado como control. A

partir del día 7 se observó una tendencia en la disminución de la acidez en los tres lotes bajo estudio.

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico realizado (Véase Apéndice C, Tabla C.3.2 y Apéndice D, Tabla D.3), no se encontraron diferencias significativa entre los tres tratamientos realizados, por lo que se concluye que a una temperatura de 35°C de almacenamiento es posible observar la correlación pH-acidez debido a que no hubo una mayor influencia por parte de los recubrimientos empleados. Es decir, su aplicación no representó una ventaja tecnológica en esta condición de almacenamiento en lo que corresponde a la acidez total.



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.4c. Determinación de la acidez titulable expresado en porcentaje de ácido cítrico, en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C

4.1.7. Determinación del contenido de vitamina C

Las frambuesas son frutos considerados como muy buenas fuentes de vitamina C (Mullen et al., 2002). Sin embargo, la vitamina C al ser sensible a la oxidación, a la luz y al calor es muy fácil que se degrade. En las Gráficas 4.5a, 4.5b y 4.5c se puede apreciar cómo, para todos los lotes, almacenados a las distintas

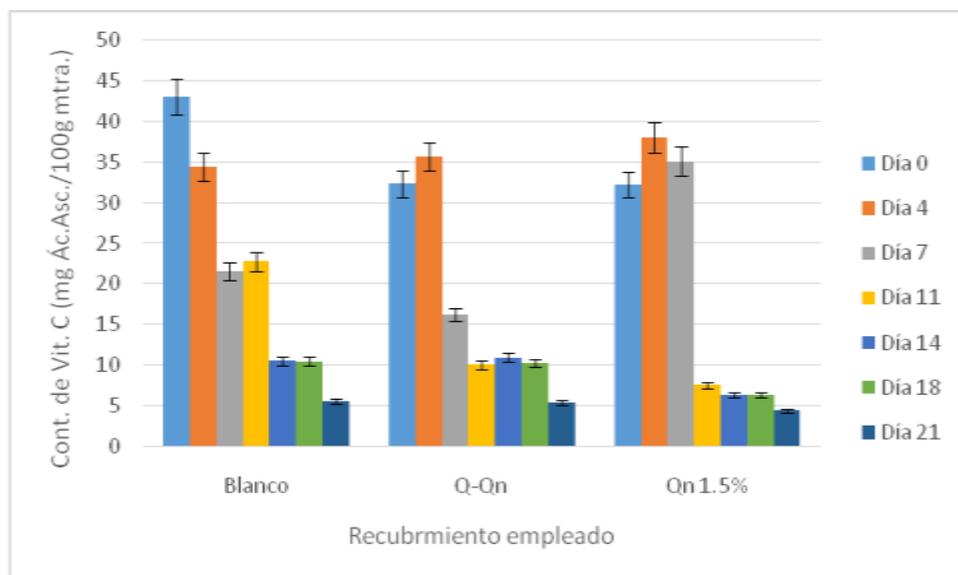
temperaturas de estudio (5, 25 y 35°C), se obtuvo una disminución en la concentración de vitamina C. Esto se atribuye en gran parte a que el daño mecánico, la descomposición y el envejecimiento promueven la ruptura de la pared celular y liberan enzimas de degradación como la polifenol oxidasa y la ascorbato oxidasa, que son responsables de la oxidación del ácido ascórbico (Mokady et al., 1984).

Al comparar los lotes sometidos a temperaturas de 5 y 25°C, se observó que las frambuesas recubiertas con Q-Qn 1:50 fueron las que tuvieron una pérdida de vitamina C menor comparadas con las que presentaron los demás lotes (blanco y Qn 1.5%), lo cual indicó que este recubrimiento fue más eficiente en retardar la pérdida de vitamina C que el recubrimiento de Qn al 1.5% usado como control y el blanco. Las Tablas C.1.4 y C.2.3 muestran los resultados del análisis estadístico (Véase Apéndice C).

4.1.7.A Generalidades para las determinaciones de vitamina C a una temperatura de 5°C

De acuerdo con los datos obtenidos del análisis estadístico, se determinó que no hubieron diferencias significativas entre los tipos de tratamientos empleados en el presente estudio en cuanto al contenido de vitamina C (Véase Apéndice D, Tabla D.4). De manera general se observó una tendencia a la disminución del contenido de este nutrimento; sin embargo, se presentaron valores en donde se incrementó el valor de manera inusual. Este fue el caso de los datos obtenidos en el día cero y el día cuatro de estudio, donde el contenido de mg de ácido ascórbico (Vitamina C) supera en gran medida el valor del contenido de vitamina C en frambuesas que, de acuerdo con lo señalado en la literatura, es de 26.2 mg de Vitamina C por cada 100 g de frambuesas (USDA, 2018). Esta variación pudo deberse a que en esos puntos el contenido de vitamina C fue menor al detectable por el método volumétrico empleado, lo que provocó que se sobreestimara el vire al momento de realizar la lectura. En el caso del lote recubierto con quitosana comercial al 1.5% (Qn 1.5%) también pudo haber influido en dichas variaciones la adición del ácido

ascórbico empleado en la acidulación del agua en la que se solubilizó la quitosana.



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

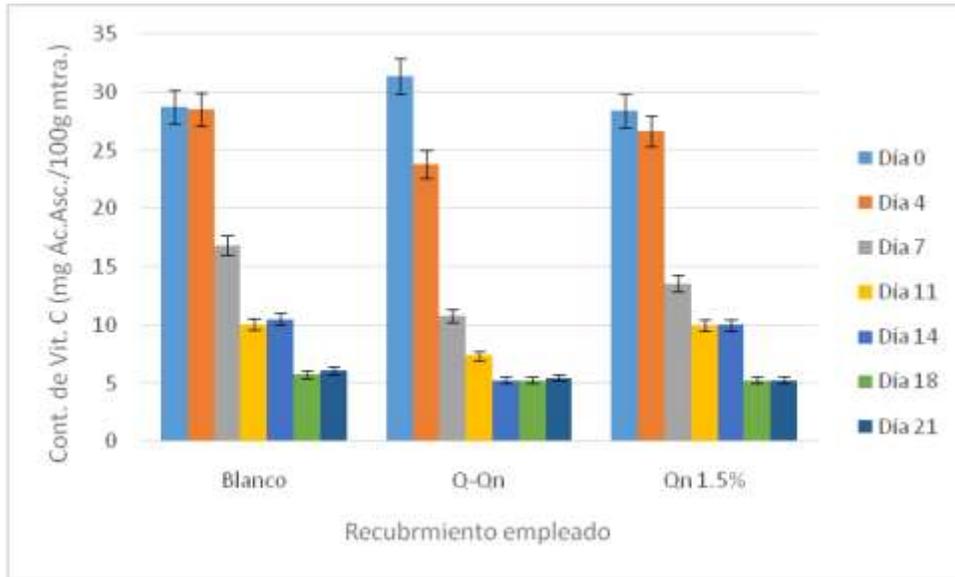
Gráfica 4.5a. Pérdida de vitamina C en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 5°C

4.1.7.B Generalidades para las determinaciones de vitamina C a una temperatura de 25°C

En el caso de los resultados obtenidos de las muestras almacenadas a 25°C, los valores del contenido de vitamina C fueron más bajos en su mayoría, lo que indica una influencia de la temperatura de almacenamiento y no del tratamiento al que se sometieron las muestras. De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis estadístico se concluyó que no hubieron diferencias entre las medias de los tratamientos bajo estudio (Véase Apéndice D, Tabla D.4).

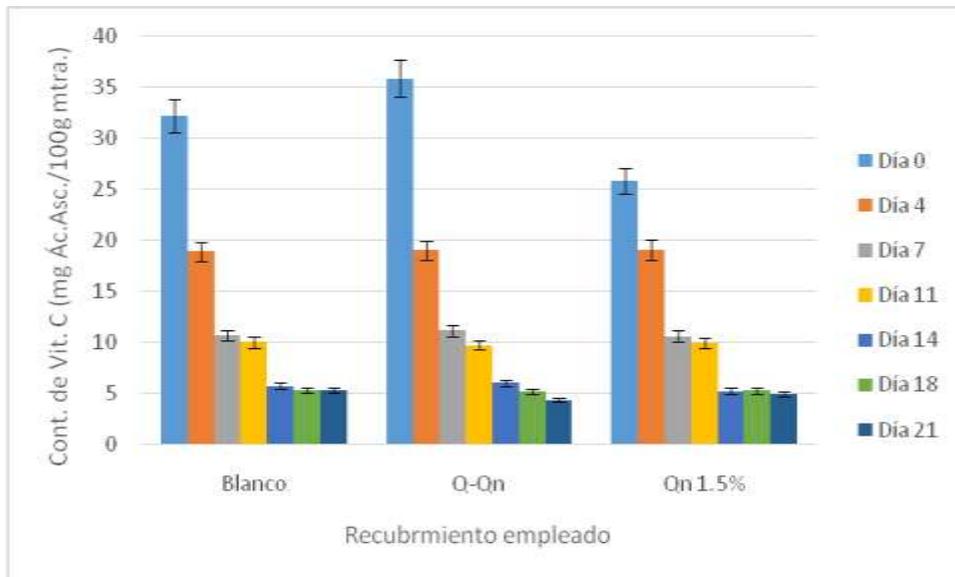
4.1.7.C Generalidades para las determinaciones de vitamina C a una temperatura de 35°C

El contenido de ácido ascórbico cayó de manera significativa luego de 2 días de conservación en los frutos almacenados bajo las 3 diferentes temperaturas siendo más notorio en el caso de los frutos almacenados a 35°C.



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.5b. Pérdida de vitamina C en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 25°C



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráficas 4.5c. Pérdida de vitamina C en los diferentes lotes de frambuesas recubiertas y almacenadas a 35°C

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, puede haber sido utilizado por los frutos para protegerse del daño oxidativo generado por esa situación de estrés inicial causado por la exposición a una temperatura adversa (Smirnoff, 1999), que en este caso fue de 35°C.

4.1.8. Determinación de cambios de color

La pigmentación del fruto es un parámetro sensorial que resulta de vital importancia preservar, pues es la primera impresión que ejerce un producto sobre el consumidor. Como ya se ha mencionado, el cambio de color en el fruto es causado por la síntesis, acumulación y degradación de pigmentos (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Las antocianinas, que son las responsables de impartir el color a las frambuesas, son: mono, di o triglicósidos (glucosa, ramnosa y xilosa) de cianidina (principalmente) y de pelargonidina (Jennings y Carmichael, 1980; Tulio y Antares, 2008) encontrándose en todo el tejido de las frambuesas, pero mayoritariamente, cerca de la piel (Grisebach, 1982); el cambio de tonalidad en la sobremadurez refleja un aumento de concentración. Los ácidos sinápico y ferúlico ejercen un efecto de copigmentación con el glucósido y el soforósido de cianidina, especialmente cuando la proporción es 100:1, la temperatura es baja y el pH es 4.0 (Sun et al., 2010).

Después de cosechadas las frambuesas aumentan la intensidad del color (Warmund y Nonnecke, 1993), y el aumento en la concentración de antocianinas continúa. Es por eso que durante el estudio de vida de anaquel se presentaron cambios en la coloración de los lotes de frambuesas estudiados. En las Tablas B.7, B.8 y B.9 (Véase Apéndice B) se pueden apreciar fotografías de los cambios de coloración ocurridos. Para el caso de los lotes de frambuesas recubiertas con Q-Qn los tonos pasaron de un rojo a morado manteniendo siempre una coloración más rojiza que las frambuesas del lote blanco en las tres temperaturas, mientras que las frambuesas que fueron recubiertas con Qn 1.5% pasaron de una

coloración rojiza a morada, presentando tonalidades cafés durante las últimas lecturas del estudio.

En solución acuosa, las antocianinas existen en cuatro diferentes formas en equilibrio (Figura 4): la base quinoidal, el catión flavilio, el carbinol o pseudobase y la chalcona (Guzmán et al., 2010), y los cambios de coloración en frambuesas, dependen en gran medida al desplazamiento del equilibrio que ocurre con las antocianinas.

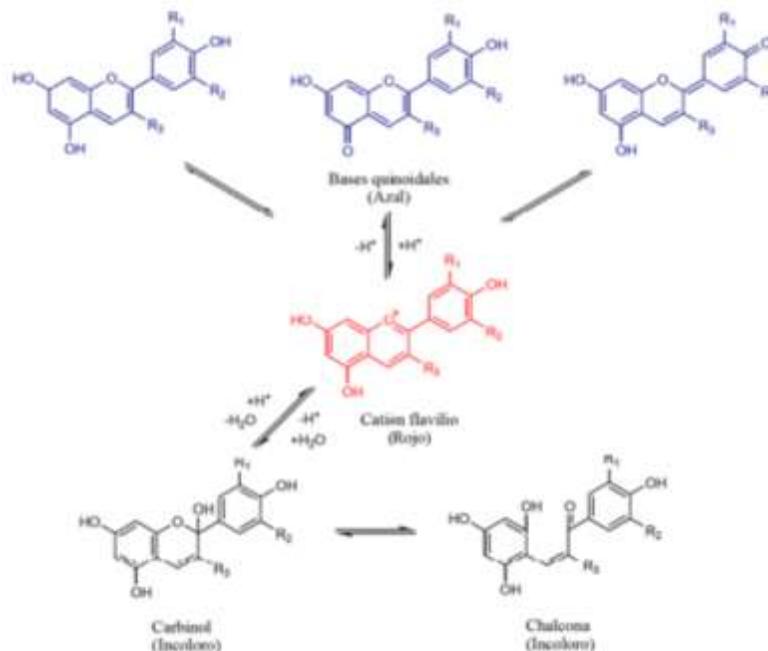


Figura 4. Equilibrio de las estructuras de la antocianina en solución acuosa (Horbowicz et al., 2008)

Se sabe que, luego de la refrigeración, el color de la fruta es más oscuro y el contenido de antocianinas y la capacidad antioxidante totales son mayores que en la fruta fresca o congelada (Freeman, 2011). Comparando entre los lotes de distintos recubrimientos sometidos a una temperatura de 5°C (Tabla B.7), se tuvo que las frambuesas recubiertas con Q-Qn fueron las que cambiaron más rápido de coloración, siendo notorio el cambio en el día cuatro. Para el caso de los lotes almacenados a 25°C y 35°C (Ver Tablas B.8 y B.9), las frambuesas sin recubrimiento fueron las que cambiaron de coloración más rápidamente, teniendo cambios notorios a partir del día cuatro, y las frambuesas recubiertas con Q-Qn

1:50 fueron las que presentaron un menor cambio de coloración, lo cual indica que el recubrimiento de Q-Qn fue el que preservó la coloración de los frutos por un mayor tiempo.

4.1.8.A Resultados de la determinación de color en frambuesas recubiertas almacenadas a una temperatura de 5°C

Los tres lotes de frutos almacenados a una temperatura de 5°C presentaron coloraciones rojas al inicio del estudio y coloraciones moradas al final del estudio (Véase Apéndice B, Tabla B.7). Esto se relaciona con el hecho de que al incrementar el pH se reduce la intensidad de color debido a la disminución de concentración del catión flavilio (coloración roja) y a la formación de bases quinoidales que otorgan coloraciones azules (Guzmán et al., 2010), dando como resultado la presencia de tonalidades moradas en los frutos. La menor coloración de los frutos también correspondería a un menor metabolismo de las antocianinas que son los pigmentos responsables del color. Esto ocurre porque a baja temperatura se reduce el metabolismo de los frutos tal como se observó en la respiración y en la solubilización de las pectinas. De acuerdo con Manrique y Lajolo (2004), las pectinas, además de ser determinantes de la firmeza, ejercen un efecto cooperativo sobre algunos atributos como aroma, sabor y color. Esto se relaciona con los resultados observados en el análisis de textura (Tabla 4.1a), ya que de los tres lotes almacenados a 5°C, el que perdió firmeza más rápidamente e incluso se tornó duro al final del estudio fue el tratado con el recubrimiento de quitina-quitosa (Q-Qn), y que comparando el cambio de color ocurrido en este lote, efectivamente se presentó el cambio de coloración de rojo a morado antes de lo que se presentó para el resto de los lotes bajo estudio, siendo notorios estos cambios en los días cuatro y siete, respectivamente.

4.1.8.B Resultados de la determinación de color en frambuesas recubiertas almacenadas a una temperatura de 25°C

Las muestras tratadas con el recubrimiento de Q-Qn cambiaron de tonalidades a lo largo del tiempo que duró el estudio, iniciando con tonalidades rojizas y

finalizando con tonalidades rojizas oscuras, sin pasar por completo a presentar coloraciones moradas, sin embargo, el lote blanco y el lote tratado con el recubrimiento de quitosana comercial (Qn 1.5%) sí presentaron cambios de coloración. El lote blanco inició con tonalidades rojizas, a la mitad del tiempo del estudio presentó coloraciones moradas y al final del estudio presentó tonalidades moradas oscuras e incluso tonalidades marrones. Para el caso del lote tratado con quitosana comercial (Qn 1.5%), inició presentando tonalidades rojizas y terminó presentando tonalidades rojizas y marrones, manteniendo su coloración en la gama de los rojos, sin mostrar una coloración morada como ocurrió con el blanco (Véase Apéndice B, Tabla B.8).

El hecho de que el lote de frambuesas recubiertas con quitina-quitosana (Q-Qn) hayan permanecido en tonalidades rojizas sin llegar a tonalidades moradas, como fue el caso del resto de los lotes pudo deberse al aumento del pH, ya que los lotes blanco y Qn 1.5% presentaron valores más altos y mayor aumento de pH que el lote Q-Qn, el cual presentó los valores de pH más bajos durante el tiempo del estudio (Figura 4.3b). En los lotes blanco y de Qn 1.5% al ocurrir la reducción de los iones H⁺, el catión flavilio, compuesto de color rojo, pierde protones y forma bases quinoidales de un característico color púrpura (Albarici et al., 2006), observándose esa coloración en los frutos pertenecientes a dichos lotes, permaneciendo tonalidades rojizas en el lote Q-Qn que contuvo en mayor cantidad el catión flavilio.

4.1.8.C Resultados de la determinación de color en frambuesas recubiertas almacenadas a una temperatura de 35°C

En el estudio de vida de anaquel de frambuesas almacenadas a 35°C, se observaron cambios de coloración más drásticos que en las muestras almacenadas a otras temperaturas (Véase Apéndice B, Tabla B.9). Las frambuesas sin recubrir (blanco) presentaron leves coloraciones cafés a partir del día cuatro, para concluir el tiempo de estudio con una coloración café que mantuvo tonalidades rojizas. Las frutas del lote de frambuesas recubiertas con la

mezcla de quitina-quitosana (Q-Qn) mantuvieron las tonalidades rojizas durante todo el tiempo de estudio, presentando inicialmente una coloración rojiza brillante y terminando con coloraciones fucsias y rojizas más oscuras, sin presentar tonalidades cafés. Las frambuesas recubiertas con quitosana comercial (Qn 1.5%) al inicio del estudio presentaron una coloración rojiza (día cero), posteriormente se observó una coloración morada oscura durante los días cuatro y siete y, a partir de entonces, se observaron coloraciones cafés oscuras sin presencia de tonalidades rojizas. La presencia de coloraciones cafés en las frambuesas almacenadas a 35°C pudo deberse a que la temperatura induce una destrucción lenta de los pigmentos. Cuando ésta se incrementa, las antocianinas pueden transformarse en chalcona, estructura inestable que se degrada en compuestos de color café (Horbowicz et al., 2008). También es posible que las unidades glucosídicas se pierdan por hidrólisis del enlace glucosídico al aumentar la temperatura en un intervalo de pH de 2 a 4 (rango en el que se encuentran las muestras en estudio como se vio en la Gráfica 4.3c en el inciso sobre el pH), por lo cual las antocianinas pierden el color, ya que las agliconas son más estables que sus formas glicosídicas originales (Rein, 2005).

4.2. Determinación del tiempo de vida de anaquel de frambuesas

Para llevar a cabo el cálculo de la vida de anaquel se emplearon los datos de humedad obtenidos durante el estudio realizado. En la Tabla 4.2 se presentan los datos de esta parte de la investigación.

Tabla 4.2. Determinación de tiempo teórico de vida de anaquel con base en la humedad de las frutas

Tiempo de vida de anaquel teórico (días)			
T (°C)	Recubrimiento empleado		
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
5	22	20	21
25	17	14	15
35	8	12	12

Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Estos datos indican que las frambuesas presentaron una mayor vida de anaquel al estar almacenadas a una temperatura de 5°C. El recubrimiento con Qn 1.5% usado como control es el que, comparado con el recubrimiento de Q-Qn 1:50, permitió alargar más el tiempo de vida de anaquel. Aunque estos valores son teóricos dan una indicación de la bondad de la refrigeración ya que hasta el blanco se mantiene mejor.

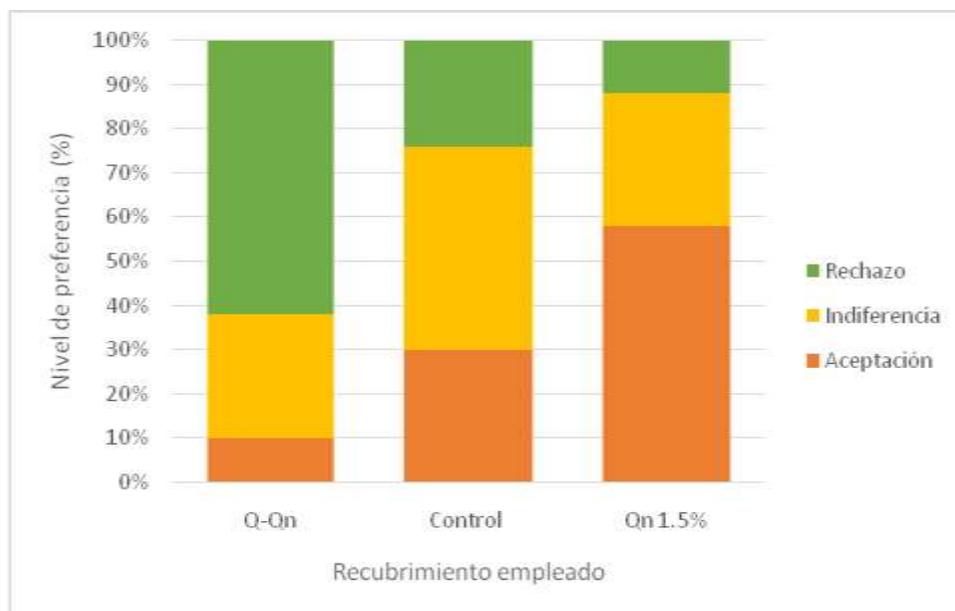
4.3. Evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa

Existen varios atributos que son de importancia para productos como las mermeladas de frutos. Para los fines de la presente investigación se eligió evaluar el atributo de color, ya que es el primer atributo detectable por el consumidor para evaluar la calidad de un producto. Considerando el aroma, la textura y el sabor, este último es relevante ya que contribuye a identificar si el recubrimiento experimental (Q-Qn) elaborado a partir de crustáceos provee un sabor característico de estos productos a las frambuesas recubiertas y, por tanto, a las mermeladas elaboradas con estos frutos, lo que representaría una desventaja sensorial para dicho recubrimiento. Para ello, 50 consumidores (jueces no entrenados) evaluaron los atributos de mermeladas elaboradas con un contenido de 55% de frambuesas provenientes de los lotes: blanco, Q-Qn y Qn 1.5% (Véase Anexo A, Apartado A5, Figura A.5.4). Las mermeladas se elaboraron al tercer día después de la aplicación de los recubrimientos correspondientes, ya que en este tiempo deja de presentarse un excedente de recubrimiento aplicado, y fueron evaluadas dos días después de su elaboración.

La encuesta fue realizada a 24 mujeres y 26 hombres, dentro de las instalaciones de la Facultad de Química de la UNAM.

El cuestionario aplicado en la evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa se muestra en el Apéndice A, Apartado A6, Figura A.6.3). En la Tabla B.10 (Véase Apéndice B) se presentan los datos obtenidos luego de haber realizado la evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa.

Se realizó bajo una escala hedónica de cinco puntos y fue seleccionada como la peor muestra de mermelada aquella elaborada con frambuesas recubiertas con Q-Qn 1:50 y como mejor muestra la mermelada elaborada con frambuesas recubiertas con Qn al 1.5% usado como control (Véase Gráfica 4.6a).



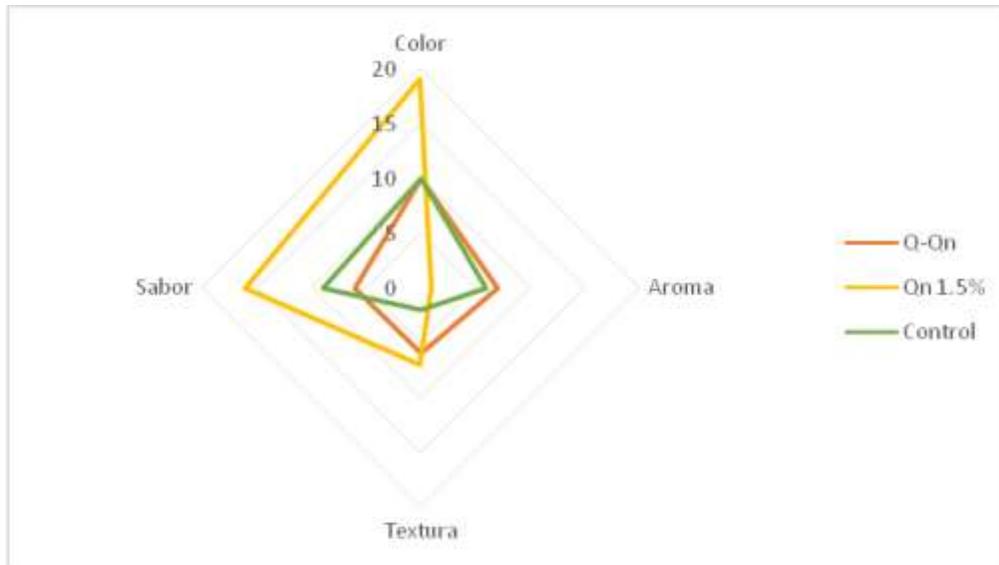
Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.6a. Comparación del nivel de preferencia de consumo de mermeladas de frambuesa por consumidores

Se evaluaron cuatro atributos sensoriales, color, aroma, textura y sabor.

Al comparar el grado de aceptación de dichos atributos, se obtuvo que el color, sabor y textura de la mermelada elaborada con frambuesas recubiertas por Qn al 1.5%, lote usado como control, fueron los de mayor agrado.

Para el aroma, la mermelada elaborada con frambuesas recubiertas por Q-Qn 1:50 fue el producto que más agradó al panel de jueces (Véase Gráfica 4.6b).



Donde: Blanco: sin recubrimiento; Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50; Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (usado como control)

Gráfica 4.6b. Comparación del nivel de preferencia de mermeladas de frambuesa con base en los atributos evaluados por consumidores

Por ello, una vez concluida la investigación, a continuación se presentan las conclusiones derivadas de ella con base en el objetivo planteado.

Recordando que el objetivo general de esta investigación fue el de determinar la proporción idónea de la mezcla de quitina-quitosana y disolvente MAC-141© para la elaboración de una biopelícula, y la efectividad de ésta sobre frutos de frambuesa usando un recubrimiento control y un lote blanco para llevar a cabo la evaluación de su madurez mediante pruebas de vida de anaquel a través de parámetros fisicoquímicos y sensoriales, se pueden dar las siguientes conclusiones:

5.1. Conclusiones generales

- Se logró obtener la harina de cefalotórax y exoesqueletos de jaiba y camarón (CEPD) en una proporción 50:50 tras las operaciones unitarias de limpieza, secado y molienda en los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM. Empleando la harina y el disolvente MAC-141© se obtuvo el recubrimiento principal del estudio (Q-Qn).
- Tras la comparación entre proporciones de 1:5, 1:50 y 1:100 de CEPD:MAC-141© se determinó que la mejor proporción para la elaboración del recubrimiento experimental (Q-Qn) es de 1:50 CEPD: MAC-141©.
- El uso del recubrimiento compuesto por quitina-quitosana (Q-Qn) extraído con el disolvente MAC-141© sobre los lotes de frambuesas, presentó varios beneficios que satisfacen las propiedades características de las películas comestibles. Cabe mencionar que, para algunos parámetros, no se observó beneficio alguno.

- La mejor temperatura de conservación para las frambuesas de las tres temperaturas en estudio (5, 25 y 35°C) fue de 5°C, ya que permite preservar los parámetros vinculados a la calidad físico-química alargando la vida de anaquel por un período de 21 días.

5.1.1. Recubrimientos en frambuesas

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de vida de anaquel realizadas en frambuesas recubiertas con el biopolímero experimental (Q-Qn), se pueden dar las siguientes conclusiones.

- El beneficio tecnológico más relevante que presentó el recubrimiento experimental (Q-Qn) y que fue observado al emplearse sobre frambuesas en el presente estudio mediante el análisis visual de presencia de hongos fue la capacidad antifúngica, evitando la presencia visualmente detectable de hongos en todos los lotes tratados con este recubrimiento durante todo el tiempo de estudio.
- Permitió la ralentización de algunos fenómenos de madurez en las frambuesas de forma más eficiente, con respecto al recubrimiento control (Qn 1.5%), tal como se observó en el menor aumento de valores de pH en los distintos lotes almacenados a las tres temperaturas distintas en estudio (5, 25 y 35°C).
- En el caso de la conservación del contenido de ácido ascórbico, no se observó un efecto positivo en comparación con los lotes tratados con el recubrimiento comercial Qn 1.5%, ya que se presentó una tendencia a la disminución de esta vitamina al igual que en los lotes sometidos a distintos tratamientos.

- Mantiene por más tiempo un color aceptable a 25°C con respecto al lote blanco y al lote recubierto con Qn 1.5%, conservándolo por 7 días, mientras que en los otros lotes la coloración cambió a partir del día 4.
- Los consumidores prefirieron una mermelada elaborada con frambuesas recubiertas con Q-Qn al evaluar el aroma, y no se observaron alteraciones en el atributo de color por parte del recubrimiento en la evaluación sensorial realizada a las mermeladas elaboradas con esos frutos.

5.2. Perspectivas del presente trabajo de investigación

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se presentan los siguientes puntos, los cuales resultaría de sumo interés esclarecer:

- Realizar pruebas con distintas proporciones de CEPD de camarón y de jaiba, ya que en esta ocasión únicamente se trabajó con la proporción 50:50 y no existe un punto de comparación para determinar si dicha proporción es la idónea o puede emplearse otra con mejores resultados.
- Llevar a cabo las pruebas para determinar la proporción idónea de harina de CEPD (de jaiba y camarón) y MAC-141© no solo de manera manual y visual, sino empleando métodos viscosimétricos que permitan caracterizar el comportamiento reológico de los recubrimientos.
- Evaluar recubrimientos elaborados con distintas proporciones, ya que en el presente trabajo se evaluaron proporciones de 1:5, 1:50 y 1:100 de CEPD:MAC-141©, dejando un amplio rango de posibles proporciones sin evaluar, por lo que se considera importante tener rangos de diferencias más pequeñas para identificar una proporción que otorgue mejores características al recubrimiento.

- Realizar pruebas microbiológicas directamente a las frutas recubiertas, para tener una mayor certeza de la presencia y/o ausencia de hongos a lo largo del tiempo de estudio y que este análisis no solamente sea llevado a cabo de manera visual, lo que permitiría evaluar de mejor manera la capacidad antifúngica que presenten los recubrimientos bajo estudio.
- Para las determinaciones de acidez titulable llevar a cabo una titulación potenciométrica, ya que el color presente en frutos como la frambuesa dificulta una clara detección del momento del vire de color en una titulación tradicional, por lo que pueden obtenerse mejores resultados empleando un potenciómetro.
- Realizar pruebas de evaluación sensorial directamente sobre frambuesas recubiertas, para apreciar de mejor manera el efecto que los recubrimientos pudieran causar en los frutos, ya que al evaluar mermeladas elaboradas con las frambuesas recubiertas, la sacarosa pudo intervenir en la evaluación de sabores.
- Llevar a cabo evaluaciones en frutos recubiertos al tiempo 0 y en distintos días, para determinar si la aceptación o rechazo pueden presentar variaciones en función del tiempo de aplicación del recubrimiento.

Apartado A1. Obtención de cefalotórax y exoesqueletos de camarón y jaiba parcialmente desproteinizados (CEPD)**A1.1. Obtención de cefalotórax de camarón**

Para la obtención de los cefalotórax de camarón empleados en el presente trabajo se visitó la zona de la “Nueva Viga” en la Central de Abastos de la Ciudad de México (CDMX), donde se obtuvieron cabezas de camarón congeladas a un precio de \$10.00 MXN el kilogramo. Estas se transportaron a los Laboratorios 301, 302 y 303 del Edificio E-3, Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM en la Ciudad de México en bolsas de plástico que a su vez se mantuvieron dentro de una hielera, para posteriormente ser manipuladas en un área con amplia ventilación para la obtención de los cefalotórax (y exoesqueletos).

Para realizar la remoción de cefalotórax de las cabezas congeladas de camarón se requirió seguir los siguientes pasos señalados por Enríquez y Nava (2016):

- Tomar con el dedo pulgar e índice el escafocecito (Véase Figura A.1) de la cabeza del camarón, sujetándolo firmemente.
- Tomar el diente rostral que sobresale entre los ojos (éste forma parte del cefalotórax) y tirar sobre el mismo hasta lograr el desprendimiento del cefalotórax, con esta técnica es fácil obtener el cefalotórax completo de la cabeza del camarón.

A1.1.1. Limpieza de cefalotórax de camarón

Una vez que se separó el cefalotórax de la cabeza de camarón mediante la técnica anterior, se limpió bajo el flujo de agua y con ello se logró la remoción de restos de materia orgánica y objetos extraños. Luego de realizar dicha operación de lavado los cefalotórax se colocaron a temperatura ambiente en amplias

charolas metálicas con papel absorbente para eliminar la humedad excedente proveniente del lavado.

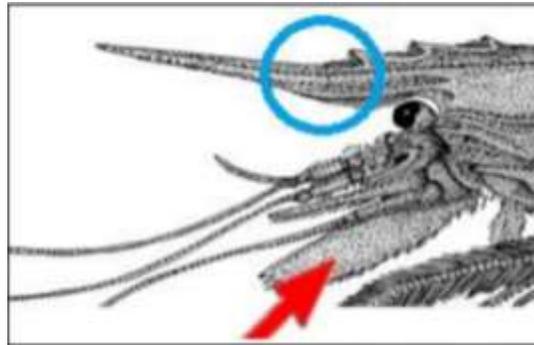


Figura A.1. Escafocerito (señalado con flecha) y diente rostral (señalado con círculo) presente en la cabeza del camarón [Tomado de ICTIO-TERM (2013), modificado por Enríquez y Nava (2016)]

A1.1.2. Técnica para la obtención de las hojuelas de cefalotórax de camarón parcialmente desproteinizados

A continuación, en la Figura A.1.1 se muestra el proceso que se siguió para la obtención de cefalotórax de camarón parcialmente desproteinizado, cuyas operaciones unitarias se describen posteriormente.

Una vez colocados en charolas, se dejaron escurrir los residuos durante 24 h a temperatura ambiente, para posteriormente licuar poco a poco en seco en un molino metálico para así obtener pequeñas hojuelas (Figura A.1.2). Dichas hojuelas fueron extendidas en charolas (Figura A.1.3) que se colocaron dentro de un horno de convección para llevar a cabo el secado por 18 h a una temperatura de 60°C. Una vez habiendo secado las hojuelas se empleó una licuadora doméstica en su máxima potencia durante un minuto, para disminuir el tamaño de partícula hasta obtener una harina, la cual se hizo pasar por un tamiz del número 80 (tamaño de partícula de 180µm) para finalmente conseguir una harina de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados que se pudiera emplear en la elaboración del biopolímero de quitina-quitosana (Figura A.1.4).

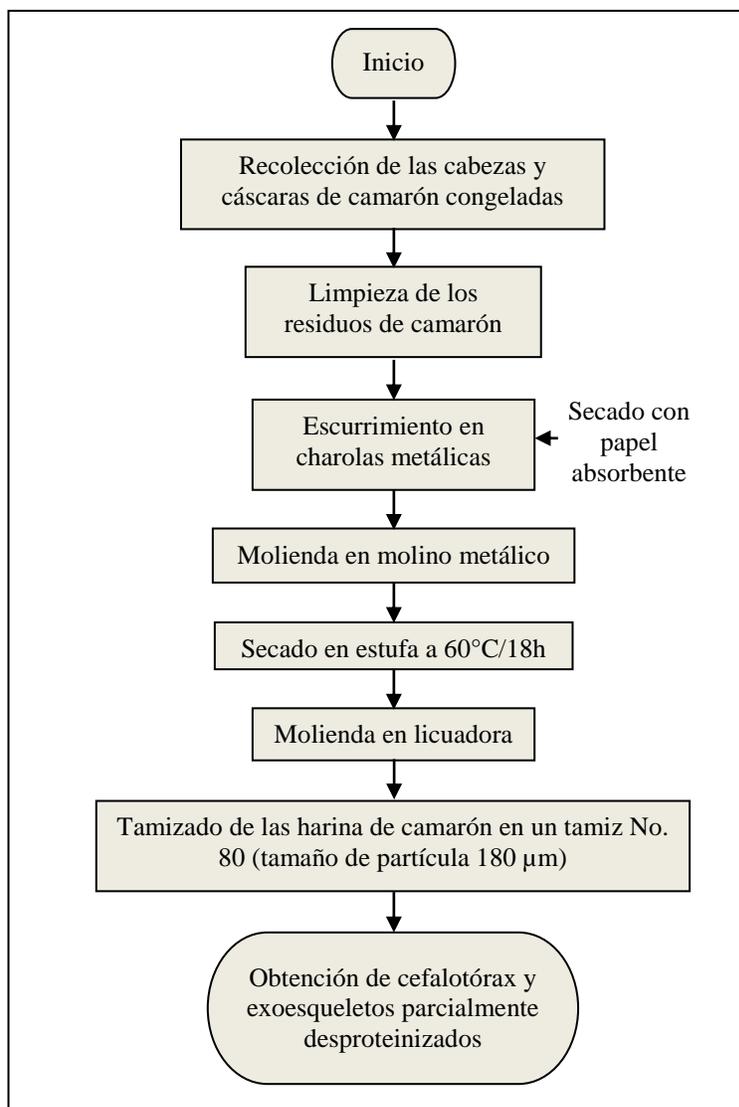


Figura A.1.1. Diagrama de flujo del desarrollo experimental (Obtención de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados)

A1.2. Obtención de exoesqueletos de jaiba

Para la obtención de los exoesqueletos de jaiba empleados en el presente trabajo se visitó la zona de pescados y mariscos de la Central de Abastos de la Ciudad de México (CDMX), donde se obtuvieron jaibas frescas. Estas se transportaron a los Laboratorios 301, 302 y 303 del Edificio E-3, Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM en la Ciudad de México en bolsas plásticas negras cubiertas con hielo dentro de una hielera para evitar su descomposición. Posteriormente, se procedió a realizar las operaciones de despulpado, eviscerado y lavado de exoesqueletos.



Figura A.1.2. Obtención de hojuelas de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados



Figura A.1.4. Tamizado de harina de camarón empleando el Tamiz 80



Figura A.1.3. Extensión de hojuelas de camarón en charolas para su secado en horno de convección a 60°C por 18h

A1.2.1. Despulpado, eviscerado y lavado de exoesqueletos de jaiba

Las operaciones de despulpado, eviscerado y lavado de exoesqueletos de jaiba se realizaron siguiendo la metodología propuesta por Mendoza (2014). El eviscerado se llevó a cabo de forma manual empleando guantes de látex, las tenazas y el caparazón fueron separados del resto del cuerpo de la jaiba, excluyendo las vísceras como residuo orgánico biodegradable para así mantener limpia la zona que contiene la pulpa que es comúnmente consumida. Habiendo separado las

tenazas, se procedió a extraer de su interior la pulpa, manteniendo solo los restos del exoesqueleto.

Los restos de vísceras y pulpa que pudieron quedar adheridos al exoesqueleto se retiraron mediante el lavado que se llevó a cabo bajo el chorro de agua, al igual que como se hizo con los cefalotórax de camarón. Las aguas residuales con componentes biodegradables se incorporan a una de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad Universitaria de la Ciudad de México. Luego del lavado, los exoesqueletos se mantuvieron durante 10 minutos en escurrimiento y se procedió al secado de éstos.

A1.2.2. Secado de exoesqueletos de jaiba

Los exoesqueletos se distribuyeron en charolas metálicas que se colocaron dentro de un horno de convección para llevar a cabo el secado por 3h a una temperatura de 80°C (Figura A.1.5). Por un lado, se aumenta la preservación del producto mediante la disminución de la actividad acuosa, evitando la descomposición enzimática y microbiana y, por otro lado, se facilita su molienda.



Figura A.1.5. Secado de los exoesqueletos de jaiba

A1.2.3. Proceso de molienda y tamizado de los exoesqueletos

Luego del secado de los exoesqueletos, se procedió a realizar la molienda empleando una licuadora doméstica de la marca Osterizer® en su máxima

potencia durante 3 minutos, alternando un minuto de descanso para evitar el sobrecalentamiento del motor. Posteriormente se llevó a cabo el tamizado de la harina resultante haciéndola pasar por tamices de mallas del número 40 y 80 (tamaño de partícula de 180 μm) (Figura A.1.6) para, finalmente, conseguir una harina de exoesqueleto de jaiba parcialmente desproteínizada que se pudiera emplear en la elaboración del biopolímero de quitina-quitosana (Figura A.1.7).



Figura A.1.6. Tamizado de las harinas de jaiba



Figura A.1.7. Harina tamizada de jaiba

Apartado A2. Elaboración del disolvente MAC-141©, determinación de la proporción idónea de CEPD: MAC-141© y extracción de la mezcla quitina-quitosana de cefalotórax y exoesqueletos de camarón y jaiba

A2.1. Elaboración del disolvente MAC-141©

La metodología para la elaboración del disolvente MAC-141© que se llevó a cabo para fines del presente trabajo fue propuesta por Flores-Ortega (2004), mejorada por Ortega-Granados (2011) y modificada por Enríquez-Nava (2016). Enríquez y Nava (2016) señalaron que el uso de diferentes fuentes de cloruro de calcio influye en la modificación del tiempo de reflujo necesario para la obtención del disolvente e incluso en su coloración, por lo que se optó por emplear el cloruro de calcio que dichos autores recomiendan, siendo proveído por la farmacéutica RACEL^{MR} en su marca comercial “C-KO®” (Figura A.2.1). La metodología se detalla en el siguiente diagrama de proceso (Figura A.2):

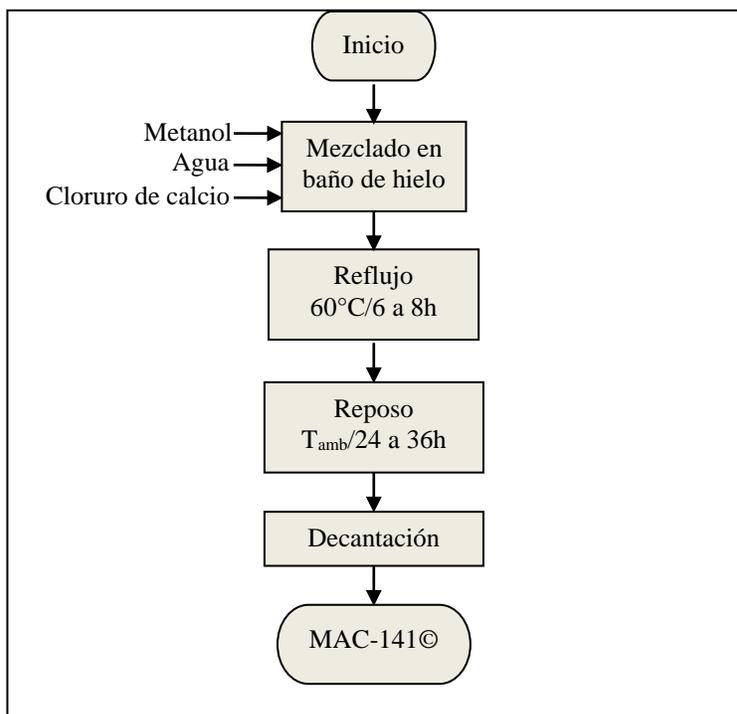


Figura A.2. Técnica de elaboración de disolvente MAC-141© [Enríquez y Nava, 2016]

En la elaboración del disolvente MAC-141© se empleó agua destilada, metanol grado analítico y cloruro de calcio de la marca “C-KO” y se tuvo un tiempo de reacción de entre 6 a 8 horas a una temperatura de 60°C, cuidando que la temperatura no se eleve a más de 64°C, evitando así la volatilización del metanol del seno de la reacción, los componentes se emplearon en las proporciones señaladas en la Tabla A.

Los reactivos antes mencionados fueron mezclados en un matraz bola de capacidad de 500mL. Se colocó inicialmente el agua, se adicionó posteriormente el metanol y finalmente el cloruro de calcio, mientras se realizó la mezcla se mantuvo el matraz bola en un baño de hielo bajo la campana de extracción para controlar las reacciones exotérmicas violentas que se presentan, así como para evitar la volatilización del metanol fuera del sistema y del área de la campana de extracción.

Una vez que se obtuvo la mezcla de reacción, se realizó el montaje del equipo de reflujo, para posteriormente elevar la temperatura a 60°C y mantener la mezcla en reflujo con agitación constante durante un periodo de 6 a 8 horas, de acuerdo a la metodología señalada por Enríquez y Nava (2016).



Figura A.2.1. Cloruro de calcio empleado como reactivo en la elaboración de disolvente MAC-141©

Tabla A. Reactivos empleados para la elaboración del disolvente MAC-141©

Compuesto	Relación molar	Masa o volumen
Metanol	1	99 mL
Agua	4	180 mL
Cloruro de calcio	1	277.5 g

A2.2. Determinación de la proporción idónea de CEPD:MAC-141©

Al inicio del proyecto se plantearon tres opciones de proporciones en las que se pudieran mezclar la harina de cefalotórax y exoesqueletos de camarón y jaiba (50:50) con el disolvente MAC.141©, para determinar cuál de las tres proporciones presentaba las mejores características de textura. No se realizaron mediciones de viscosidad sino solamente se consideró de forma simple con una brocha su capacidad de recubrir de forma positiva las biopelículas comestibles que pudieran ser fácilmente aplicables a frutos tales como las frambuesas.



Figura A.2.2. Equipo de reflujo para elaboración del disolvente MAC-141©

Se llevó a cabo la preparación de tres mezclas distintas, donde las proporciones de CEPD y disolvente MAC-141© fueron de 1:5, 1:50 y 1:100, respectivamente, es decir, en cada una se añadió un gramo de harina de CEPD (50:50) y 5, 50 o 100g de disolvente MAC-141© según correspondiera. Las mezclas se prepararon en matraces de 250mL y se dejaron reposar durante 48h (Figura A.2.3), y transcurrido ese tiempo se filtraron mediante el uso de un equipo de filtración convencional al vacío, conformado por un embudo Büchner y un matraz Kitasato, empleando papel filtro, de acuerdo con la técnica de obtención señalada por Sarabia-Bañuelos (2011), retomada por Ortega-Granados (2011) y Enríquez y Nava (2016) y modificada por la autora de la presente investigación.

Luego de ser filtradas y vertidas en frascos de vidrio que fueron colocados destapados dentro de un desecador con agua, empleándolo como cámara de humidificación, el producto filtrado se analizó visualmente y mediante el tacto se apreció la viscosidad presentada por cada una de las muestras, siendo la muestra con proporción de 1:5 (m/m) (CEPD:MAC-141©) la que presentó la viscosidad más alta, que dificultaría la operación de recubrimiento mediante cepillado. La muestra con proporción de 1:100 (m/m) se encontró demasiado fluida como para permanecer en el fruto luego de haber realizado el recubrimiento. La muestra

elaborada con la proporción 1:50 (m/m), de las tres muestras analizadas, fue la que presentó la viscosidad más adecuada para la elaboración de biopelículas. Por ello, se determinó emplear una proporción de 1:50 (m/m) de CEPD y disolvente MAC-141©, respectivamente, para la elaboración del recubrimiento experimental que fuera empleado posteriormente en los lotes de frambuesas en estudio.



Figura A.2.3. Determinación de la proporción idónea de CEPD (jaiba y camarón 50:50) y de disolvente MAC-141©

A2.3. Extracción de la mezcla quitina-quitosana de cefalotórax y exoesqueletos de camarón y jaiba

Una vez determinada la proporción idónea de CEPD y disolvente MAC-141© se llevó a cabo la extracción de la mezcla quitina-quitosana proveniente de la harina (50:50) de CEPD con la ayuda del disolvente MAC-141© en una relación de 1:50 (m/m), respectivamente. La técnica que se siguió fue la misma que se llevó a cabo en la determinación de la proporción idónea de CEPD, y se describe en la Figura A.2.4. Inicialmente se colocó el disolvente en un vaso de precipitados junto con la harina de CEPD (50:50, harina de cefalotórax de camarón y harina de exoesqueletos de jaiba) en la proporción idónea 1:50, es decir, 1 g de CEPD por cada 50 g de disolvente MAC-141©. La mezcla se dejó en reposo durante 48 h para posteriormente decantarla y ser filtrada mediante el equipo de filtración al vacío convencional. Una vez concluida dicha operación el filtrado resultante se almacenó en recipientes de vidrio tipo “Gerber®” que se colocaron destapados dentro de un desecador al cual se le retiró el gel de sílice (*silica-gel*, en inglés) y se

le agregó agua para fungir como una cámara de humidificación. Los frascos permanecieron durante un lapso de 24h con el fin de lograr una completa solubilización del calcio aún presente en la biopelícula.

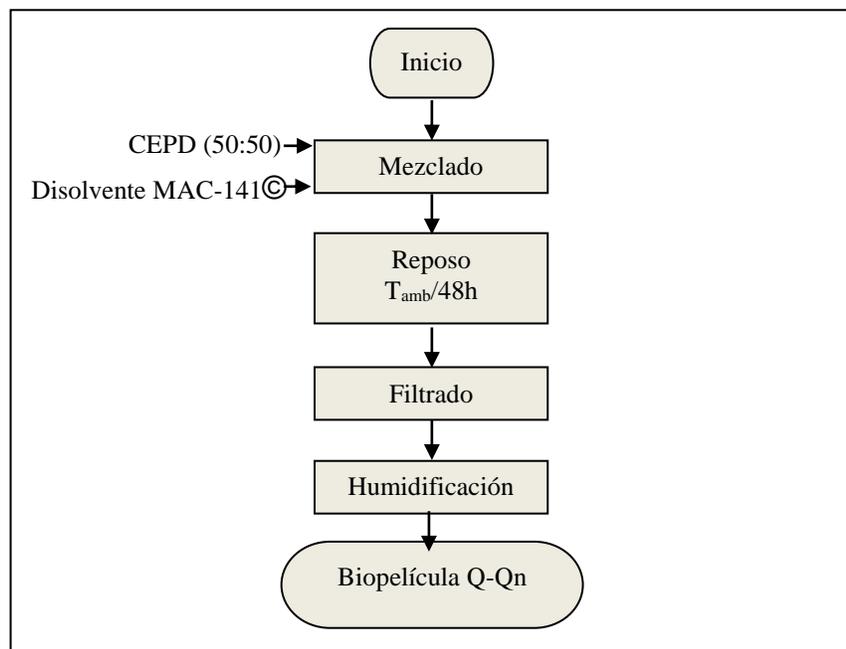


Figura A.2.4. Diagrama de flujo del desarrollo experimental (Obtención de la mezcla del polímero quitina-quitosana a partir del CEPD)

Apartado A3. Recubrimientos de frambuesas: Aplicación de biopelículas experimental y comercial o “control”

A3.1. Preparación de biopelícula comercial “control” con quitosana Sigma-Aldrich

La biopelícula comercial empleada consistió en una solución de quitosana de la marca Sigma-Aldrich® (Qn 1.5%) al 1.5% (m/v) en agua previamente acidulada con ácido ascórbico al 2%. La preparación se realizó en agitación constante sin calentamiento. Se emplearon las cantidades necesarias de cada reactivo para la obtención de 150 mL de producto final. Es decir, primero se pesaron 4 g de ácido ascórbico, se disolvieron en un vaso de precipitados y se llevó al aforo en un matraz de 200 mL. Posteriormente, se pesaron aproximadamente 2.25 g de quitosana Sigma-Aldrich, se disolvió en un volumen de 150 mL de agua

previamente acidulada al 2% con ácido ascórbico con ayuda de agitación constante. Dichas cantidades se establecieron considerando un volumen total requerido de 150 mL de para su uso como recubrimiento de frutos almacenados a las tres condiciones de temperatura en estudio.

A3.2. Recubrimiento de frambuesas

La solución de quitosana comercial (Qn 1.5%) y la biopelícula experimental (Q-Qn) fueron aplicadas sobre frambuesas mediante la técnica de cepillado, señalada por Ortega-Granados (2011) y retomada por Enríquez y Nava (2016). Dicha técnica consistió en aplicar la biopelícula cuidadosamente sobre el fruto empleando una brocha suave hasta cubrir en su totalidad la superficie externa de las frambuesas, esta operación se llevó a cabo de forma individual para cada una de las frambuesas, y una vez recubiertas se colocaron sobre toallas de papel absorbente para eliminar el exceso de recubrimiento adicionado (Figura A.3.1), ya que en ocasiones se añadió mayor cantidad en las hendiduras de las frambuesas para recubrir mejor el fruto (Figura A.3). Adicionalmente a los lotes recubiertos por cada una de las biopelículas, se preparó también un lote de frambuesas sin ningún tipo de recubrimiento o “Blanco” (Figura A.3.2). Una vez que se eliminó el recubrimiento excedente de los dos primeros lotes, se colocaron en charolas para su almacenamiento a las temperaturas correspondientes (Figuras A.3.3 a A.3.5).



Figura A.3. Frambuesas recién recubiertas con biopelícula de Q-Qn



Figura A.3.1. Eliminación de recubrimiento excedente en lotes de frambuesa



Figura A.3.2. Frambuesas sin recubrimiento (Lote Blanco)

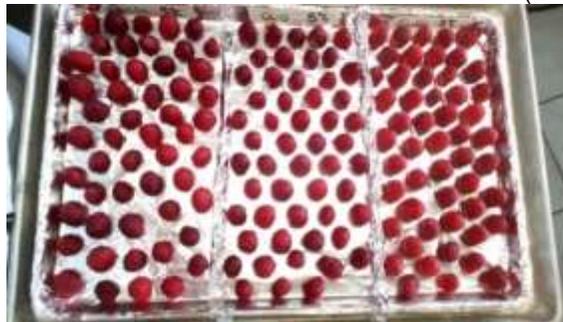


Figura A.3.3. Lotes (Qn 1.5%, Q-Qn y Blanco) destinados a almacenamiento de 5°C

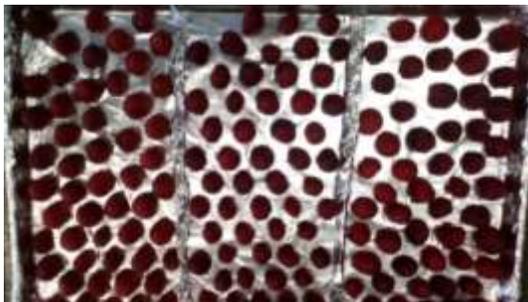


Figura A.3.4. Lotes (Qn 1.5%, Q-Qn y Blanco) destinados a almacenamiento de 25°C



Figura A.3.5. Lotes (Qn 1.5%, Q-Qn y Blanco) destinados a almacenamiento de 35°C

Apartado A4. Metodologías de las determinaciones fisicoquímicas

La mayoría de las determinaciones fisicoquímicas se realizaron con el zumo obtenido del prensado manual de las frambuesas, para la obtención del zumo se colocó y presionó la fruta dentro de bolsas herméticas de la marca Reynolds® para evitar pérdidas y tener una mejor contención del zumo (Figura A.4).



Figura A.4. Bolsas empleadas en la obtención de zumo de frambuesa

Las metodologías de las determinaciones fisicoquímicas empleadas se mencionan a continuación:

A4.1. Determinación del contenido de humedad (%H)

En la actualidad existen varias técnicas usadas para la determinación del contenido de humedad en productos alimentarios. Para esta investigación se optó por hacer uso de un método automatizado, realizando la determinación mediante el método modificado de termobalanza.

El método de termobalanza (González-O. et al., 2014) se llevó a cabo tomando 0.5g de muestra, la cual se colocó al interior de una termobalanza de la marca OHAUS® MB200 previamente programada en “secado automático” a una temperatura de 130°C (Figura A.4.1).

La muestra permaneció al interior hasta lograr obtener un valor constante de masa. Se requirió usar esa cantidad de muestra debido a que se contaba con una cantidad limitada de frambuesas para la realización total del trabajo experimental.



Figura A.4.1. Termobalanza empleada en determinaciones de contenido de humedad

A4.2. Determinación de los grados Brix (°Bx)

La determinación de grados Brix (°Bx) se realizó de acuerdo con la metodología señalada en la NMX-F-103-NORMEX-2009 (SE, 2009), la cual señala que debe colocarse el refractómetro en una posición donde logre difundir cualquier forma de luz. Luego de eso se debe hacer circular agua sobre los prismáticos del refractómetro, limpiándolos cuidadosamente antes de realizar la lectura. Una vez teniendo el refractómetro limpio y seco, se coloca la muestra y la línea margen debe ser completamente visible para, posteriormente, realizar la lectura directamente sobre el porcentaje de sólidos en la escala Brix marcada en el instrumento.

A4.3. Determinación del valor de pH

Para llevar a cabo la determinación de los valores de pH se adaptó y siguió la metodología descrita en la NMX-F-317-NORMEX-2013 *“Alimentos-determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas-método potenciométrico-método de prueba. Normas Mexicanas. Dirección general de normas”* (SE, 2013), que consta de dos partes: la calibración del potenciómetro y la determinación del valor de pH en muestras, las cuales se detallan a continuación. Cabe mencionar que para fines del presente trabajo se empleó un potenciómetro de la marca Orión 720-A7.

- Calibración del potenciómetro:
- Conectar el potenciómetro y esperar a que aparezca la pantalla de medida de pH.
- Presionar la tecla “*CALIBRATE*” del potenciómetro.
- Cuando el potenciómetro pregunte cuántos “*buffers*” o disoluciones amortiguadoras se introducirán, oprimir la tecla “3”, ya que se deben introducir los “*buffers*” con un pH de 4, 7 y 10. Luego de esto oprimir la tecla “*YES*” para confirmar.
- Introducir el electrodo del potenciómetro en el “*buffer*” con valor de pH 4, esperar a que aparezca la leyenda “*RDY*” en la esquina inferior derecha de la pantalla del potenciómetro, y oprimir la tecla “*YES*”.
- Acto seguido retirar el electrodo y enjuagarlo con agua destilada para posteriormente secarlo cuidadosamente con un pañuelo absorbente de papel tipo “Klennex®”.
- Repetir la misma acción con los “*buffers*” de pH 7 y 10.
- Determinación del valor de pH:
- Una vez preparada la muestra, se pesan 10 g de muestra en un matraz Erlenmeyer, en este caso se filtró muestra, evitando así que las semillas de frambuesa obstruyan el electrodo (Figura A.4.2) para, posteriormente, adicionar 100 mL de agua destilada y llevar a cabo la determinación del pH (Figura A.4.3).
- Empleando un potenciómetro previamente calibrado (Véase Apéndice A, Apartado A4.3) se procede a determinar el valor de pH hasta que la leyenda “*RDY*” haya aparecido en la pantalla.
- Posteriormente se extrae el electrodo del seno de la mezcla para ser lavado con agua destilada y secado con un pañuelo absorbente de papel.



Figura A.4.2. Preparación de muestras para determinación de pH



Figura A.4.3. Muestras de zumo de frambuesa para determinación de pH

A4.4. Determinación del porcentaje de acidez (%A)

La determinación del porcentaje de acidez se realizó de acuerdo con lo descrito en la metodología propuesta en la NMX-FF-011-1982. *“Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas”* (SE, 1982), en la cual se emplean dos reactivos, fenolftaleína y una solución de NaOH 0.1N.

Ambos reactivos se prepararon en el laboratorio, la solución de fenolftaleína se preparó disolviendo fenolftaleína en etanol para obtener una solución al 1%, y la solución de NaOH al 0.1N se preparó disolviendo hidróxido de sodio (en lentejas) con agua destilada, las cantidades de agua e hidróxido de sodio se modifican de acuerdo con la cantidad de solución que se desee preparar y, una vez preparada, debe ser valorada mediante el uso de biftalato de potasio, que es un patrón primario.

A continuación se describe la técnica para realizar la valoración del NaOH 0.1N:

- Pesar 0.2 g de biftalato de potasio
- Llevar a un volumen de 100 mL con agua destilada

- Realizar la disolución completa del biftalato de potasio
- Adicionar 3 gotas de la solución de fenolftaleína al 1% en etanol previamente preparada
- Iniciar la titulación y detenerse cuando el indicador vire hacia un color rosado tenue. Considerando una concentración de 0.1N, se espera un gasto aproximado de 10 a 11 mL de la solución de NaOH
- Una vez concluida la titulación, realizar el registro del volumen gastado de la solución de NaOH, y con base en el resultado obtenido y la masa del biftalato de potasio determinar la concentración real de la solución de NaOH preparada

Una vez determinada la concentración real de la solución de NaOH se procedió a preparar la muestra y llevar a cabo su valoración, como se describe a continuación:

- Colocar la muestra dentro de una bolsa hermética para ejercer presión manual y realizar la extracción del zumo. Esta operación se realizó de forma rápida para evitar posibles pérdidas de humedad
- Tomar 10 g de muestra obtenida
- Realizar una dilución con agua, 50 mL aproximadamente
- Adicionar de 2 a 3 gotas de fenolftaleína al 1% en etanol
- Agregar poco a poco la solución de NaOH 0.1N con una bureta hasta obtener un color rosado que debe permanecer cerca de 30 segundos. Cabe mencionar que debido a que la muestra en sí posee coloraciones rosadas, lo que se observó al momento de la titulación fue más bien un aumento de tonalidad que permaneció durante el tiempo estipulado
- Registrar el volumen gastado de la solución NaOH 0.1N
- La metodología propuesta señala que se debe realizar la determinación por triplicado, sin embargo, en el presente estudio se realizó la determinación por duplicado a causa de la limitante que representó la cantidad de frambuesas disponibles para el trabajo experimental.

A4.5. Determinación del contenido de vitamina C

Para llevar a cabo la determinación del contenido de vitamina C en muestras se requirió realizar previamente la preparación de varios reactivos descritos a continuación, ya que así lo señala la técnica volumétrica modificada de la metodología 967.21 de la AOAC (2000).

La preparación de la solución de ácido acético al 5% se realizó tomando 5 mL de ácido acético glacial por cada 100 mL de disolución total preparada que se desee obtener. En el caso de la solución patrón de ácido ascórbico (1 mg/mL) se requirió pesar 0.1 g de ácido ascórbico y disolverlo en un poco de ácido acético al 5%. Posteriormente, se vierte en un matraz aforado con una capacidad de 100 mL y se lleva al aforo con la solución de ácido acético al 5%, al tratarse de ácido ascórbico, un compuesto sensible a la luz, es importante mantener el matraz protegido de la luz, empleando papel aluminio para cubrirlo.

La preparación de la solución de 2,6-Diclorofenol-Indofenol se llevó a cabo de la siguiente manera, considerando un volumen final de 1 L de solución:

- Se pesan 0.1 g de 2,6-Diclorofenol-Indofenol y 0.05 g de bicarbonato de sodio, se disuelven en un vaso de precipitados con un poco de agua y la mezcla se lleva al aforo en un matraz aforado de un litro.
- La solución de 2,6-Diclorofenol-Indofenol se valora para determinar el volumen necesario para oxidar 1 mg de ácido ascórbico, y se lleva a cabo de la siguiente forma: se agrega 1 mL de la solución patrón de ácido ascórbico en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y posteriormente se adicionan 9 mL de la solución de ácido acético al 5%, la mezcla se valora con la solución de 2,6-Diclorofenol-Indofenol hasta llegar al vire cuando el color rosado permanezca por 10 segundos. Se registra la cantidad gastada y se reporta como el volumen necesario de esa solución de 2,6-Diclorofenol-Indofenol para oxidar un miligramo de ácido ascórbico.

La determinación del contenido de vitamina C en muestras se realizó ajustando el método de acuerdo al contenido estimado de vitamina C presente en frambuesas, y al limitante de la cantidad de muestra con la que se cuenta para realizar el estudio en su totalidad, se pesan 0.4 g de muestra y se disuelven en 50 mL de ácido acético al 5%. Esta solución se trasvasa a un matraz aforado de 100 mL y se lleva al aforo. De este volumen se toman 3 alícuotas de 10 mL y se depositan en matraces Erlenmeyer de 250 mL cada una. Posteriormente, se valoran con la solución de 2,6-Diclorofenol-Indofenol y, finalmente, se reporta el volumen gastado que junto con la masa de la muestra permite determinar el contenido de vitamina C en la muestra.

A4.6. Determinación de cambios de color

Los cambios de coloración en las muestras se determinaron empleando la escala Pantone®, para esto se tomó un fruto entero y se colocó sobre un filtro neutro (una superficie blanca) (Figura A.4.4), posteriormente se compara de manera visual el color de la muestra con la guía Pantone® y se obtiene un código de la tonalidad más parecida a la del fruto, luego de esto, la muestra puede ser aprovechada para la determinación visual de presencia de hongos o la determinación sensorial de cambios de textura, o bien, ser desechada en residuos orgánicos.



Figura A.4.4. Muestra sobre filtro neutro para determinación de color

Apartado A5. Elaboración de mermeladas de frambuesas recubiertas

Para la elaboración de mermeladas se emplearon como materia prima frambuesas que se adquirieron en domos con una masa de alrededor de 170 g cada uno, en la tienda de autoservicio Walmart Copilco de la Ciudad de México en el área de frutas y verduras donde se encontraban en refrigeración (Figura A.5). La metodología que se siguió para la elaboración se describe en el diagrama de flujo que se presenta a continuación (Figura A.5.1) y se llevó a cabo con base en las especificaciones que se describen en la “*Norma para las confituras, jaleas y mermeladas*” CXS 296-2009 del Codex Alimentarius (FAO, 2017).



Figura A.5. Obtención y selección de frambuesas para elaboración de mermeladas

La fruta se recubrió de acuerdo con el lote al que pertenecía (Q-Qn, Qn 1.5%) o blanco. En caso de no pertenecer al lote blanco, se colocó en charolas con papel absorbente para eliminar el exceso de recubrimiento y se mantuvo en refrigeración. Luego de 48h se caracterizó la fruta previo a la preparación de la mermelada. Posteriormente, la fruta se pesó al igual que el azúcar y la pectina, considerando la cantidad final de mermelada que se deseaba obtener y la cantidad de fruta con que se contaba. Se llevó a cabo la determinación de °Bx, y se procedió a llevar a cabo la cocción de la fruta en un recipiente recubierto de teflón empleando una parrilla de gas de cuatro quemadores (Figura A.5.2) donde se vigiló el cambio de temperatura en la mezcla mediante un termómetro de mercurio a lo largo de esta operación (Figura A.5.3).

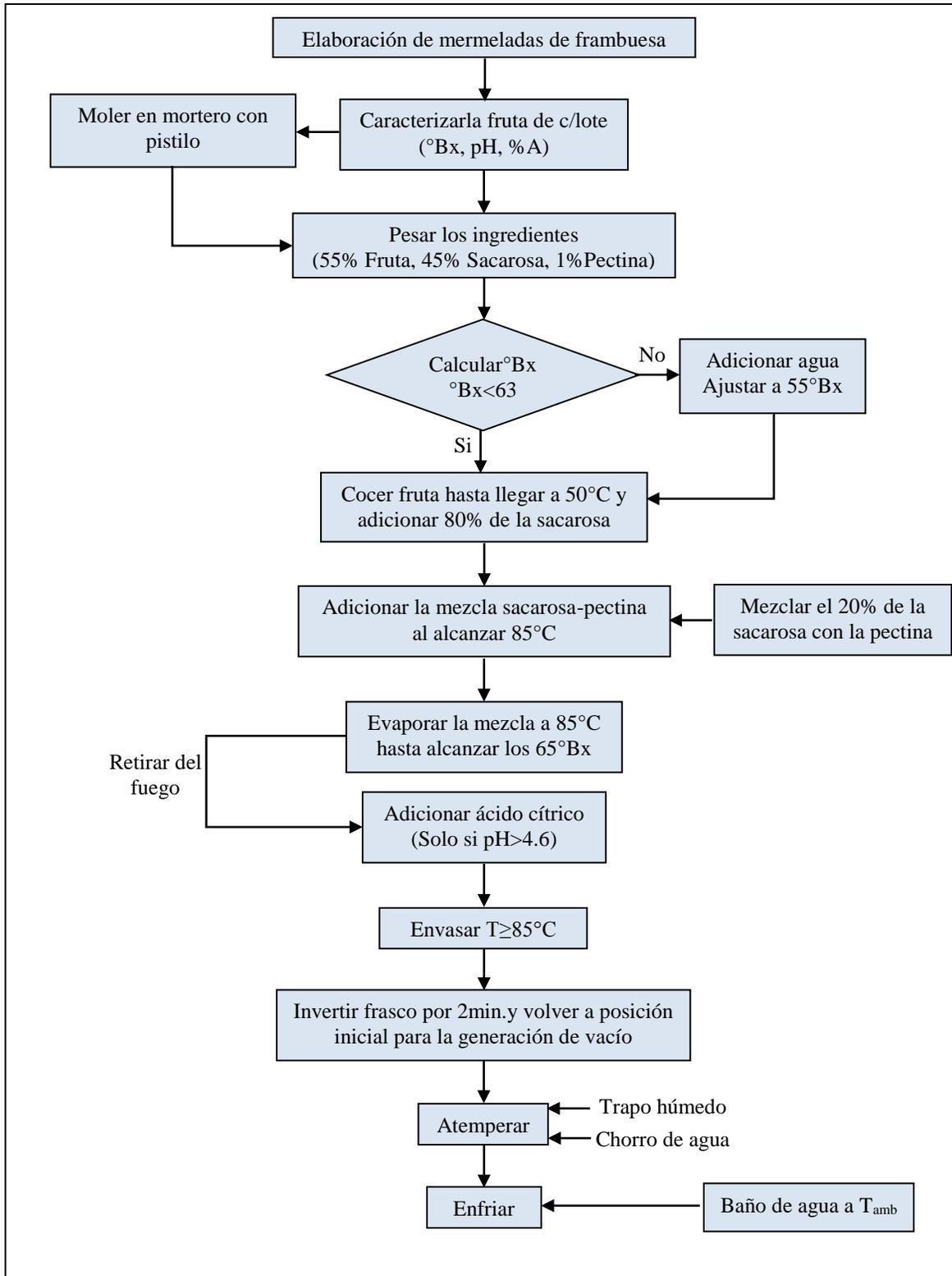


Figura A.5.1. Diagrama de flujo del desarrollo experimental (elaboración de mermeladas)



Figura A.5.2. Cocción de fruta para elaboración de mermelada



Figura A.5.3. Control de temperatura en elaboración de mermelada

Una vez que se evaporó la mezcla hasta llegar a 65°Bx se realizó el envasado en frascos de vidrio realizando esta operación a una temperatura no menor de 85°C, para posteriormente invertir el frasco durante 2 minutos y volverlo a su posición inicial para la generación de vacío, acto seguido se atemperó el frasco con la ayuda de un trapo húmedo y luego al chorro de agua, para así enfriar el frasco y finalmente etiquetarlo de acuerdo con el lote de frambuesas con que se elaboró la mermelada contenida (Figura A.5.4).

Apartado A6. Evaluación sensorial de mermeladas de frambuesas recubiertas

En la Figura A.6 se muestra la metodología empleada en la evaluación sensorial con jueces no entrenados, en la que fueron comparadas las tres mermeladas elaboradas con frambuesas tratadas con el recubrimiento bajo estudio (Q-Qn1:50),

control con el recubrimiento comercial (Qn-SA) y las frambuesas sin tratamiento (blanco).



Figura A.5.4. Mermeladas elaboradas con las frambuesas en estudio

Las muestras se colocaron en pequeños vasos transparentes y se identificaron con un código numérico elegido aleatoriamente para evitar que los panelistas tengan información alguna de la identificación de la muestra.

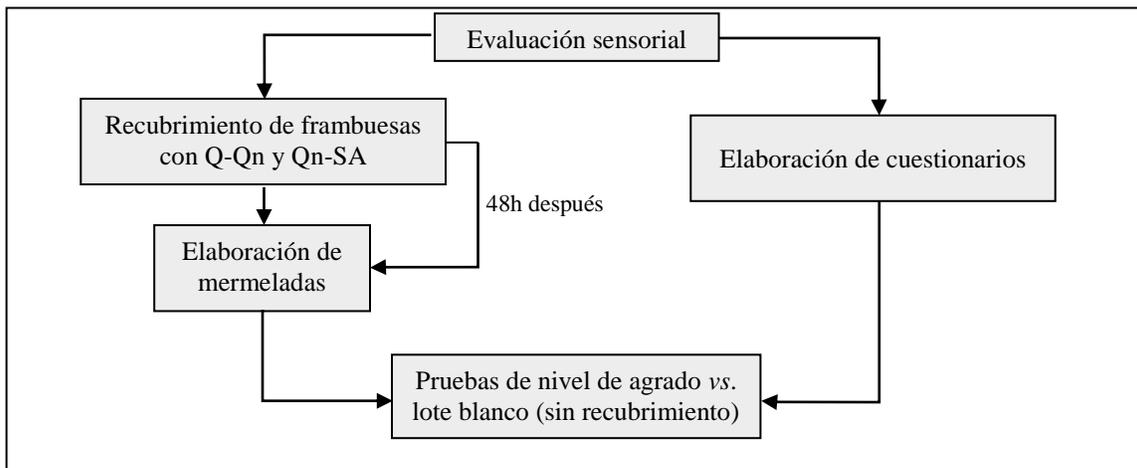


Figura A.6. Diagrama de flujo del desarrollo experimental (evaluación sensorial)

Esto evita que se introduzcan sesgos a la evaluación (Figura A.6.1).



Figura A.6.1. Muestras para evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa

Para llevar a cabo la evaluación se acondicionó en la medida de lo posible el Vestíbulo del Edificio A de la Facultad de Química de la UNAM, donde 50 consumidores participaron (Figura A.6.2).



Figura A.6.2. Evaluación sensorial de mermeladas de frambuesa con consumidores

Para ello, los jueces no entrenados realizaron el llenado de un cuestionario de evaluación sensorial de mermeladas de frambuesas recubiertas que se les otorgó.

Este cuestionario se muestra en la siguiente página, en la Figura A.6.3.



EVALUACIÓN SENSORIAL DE MERMELADAS DE FRAMBUESA.

Edad:

Género:

Frente a usted se han colocado tres muestras de mermelada de frambuesa. Evalúe las muestras en el orden que son presentadas, de izquierda a derecha, y con base en su criterio indique con una "X" la respuesta seleccionada para cada una de las muestras. Es importante no terminarse las muestras hasta haber concluido el cuestionario.

1. ¿Con qué frecuencia consume mermelada de frambuesa?

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

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

Muestra	508	629	489
Me gusta mucho			
Me gusta			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta			
Me disgusta mucho			

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

Muestra	508	629	489
Me gusta mucho			
Me gusta			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta			
Me disgusta mucho			

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

Muestra	508	629	489
Me gusta mucho			
Me gusta			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta			
Me disgusta mucho			

5. ¿Qué tanto le gusta o disgusta el sabor de las muestras?

Muestra	508	629	489
Me gusta mucho			
Me gusta			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta			
Me disgusta mucho			

6. En caso de haber percibido algún sabor residual, mencione cuál fue

Muestra	Resabio presente
508	
629	
489	

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

Muestra	508	629	489
Si			
No			

8. Ordena las muestras de acuerdo con tu preferencia para realizar la adquisición de las mermeladas.

Aceptación _____ > _____ > _____ Rechazo

¡Gracias por su colaboración!

Figura A.6.3. Cuestionario aplicado a consumidores para la evaluación de mermeladas elaboradas con frambuesas recubiertas con diferentes biopelículas

A continuación se presentan en las Tablas B a B.10 los resultados obtenidos para todas las determinaciones realizadas durante el análisis experimental de las frambuesas, donde: Blanco: sin recubrimiento, Q-Qn: recubrimiento de quitina-quitosana 1:50, y Qn 1.5%: recubrimiento quitosana Sigma-Aldrich al 1.5% (Control).

Tabla B. Resultados de la determinación de cambios de textura en frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	Firme	Blando	Blando	Firme	Blando	Blando	Firme	Blando	Blando
4	Firme	Blando	Blando	Blando	Blando	Blando	Duro	Duro	Duro
7	Firme	Blando	Blando	Blando	Duro	Blando	Duro	Duro	Duro
11	Firme	Blando	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
14	Blando	Blando	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
18	Blando	Duro	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro
21	Blando	Duro	Blando	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro	Duro

Tabla B.1. Resultados del análisis visual de presencia de hongos en frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn1.5%
0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
7	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
11	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
14	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
18	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
21	Presencia	Ausencia	Presencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Tabla B.2. Resultados del contenido de humedad en frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de Recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	75.0 ± 0.3	72.7 ± 0.2	72.5 ± 0.0	83.6 ± 1.4	78.3 ± 2.3	87.1 ± 3.1	88.2 ± 1.3	84.9 ± 0.9	88.5 ± 0.9
4	62.6 ± 0.3	50.9 ± 0.1	64.8 ± 0.4	57.4 ± 2.7	28.1 ± 0.8	61.3 ± 1.2	5.9 ± 0.0	6.1 ± 0.0	2.4 ± 0.0
7	56.2 ± 0.0	20.7 ± 0.0	57.4 ± 0.0	44.2 ± 0.6	14.0 ± 1.1	37.9 ± 1.7	8.2 ± 0.0	4.6 ± 0.0	8.0 ± 0.0
11	52.8 ± 0.0	19.6 ± 0.0	57.6 ± 0.0	11.1 ± 0.0	8.0 ± 0.0	5.5 ± 0.0	3.5 ± 0.0	5.8 ± 0.0	5.9 ± 0.0
14	73.3 ± 0.7	15.5 ± 0.0	36.7 ± 0.0	10.8 ± 0.0	8.2 ± 0.0	7.1 ± 0.0	3.9 ± 0.0	5.2 ± 0.0	3.8 ± 0.0
18	51.8 ± 0.0	13.0 ± 0.0	19.8 ± 0.1	5.3 ± 0.0	5.3 ± 0.0	5.7 ± 0.0	1.8 ± 0.0	3.1 ± 0.0	3.4 ± 0.0
21	45.8 ± 0.6	11.9 ± 0.9	13.7 ± 0.0	2.8 ± 0.0	2.4 ± 0.0	3.2 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.7 ± 0.0	1.8 ± 0.0

Tabla B.3. Resultados de la determinación de grados Brix en frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	13.0 ± 0.3	11.0 ± 0.5	13.0 ± 0.3	13.0 ± 0.0	17.0 ± 0.9	11.0 ± 0.3	11.0 ± 0.6	14.0 ± 0.9	10.0 ± 0.4
4	12.0 ± 0.7	19.0 ± 1.1	14.0 ± 0.6	14.0 ± 0.0	39.0 ± 0.3	19.0 ± 0.0	ND ²²	ND	ND
7	13.0 ± 0.6	42.0 ± 0.0	22.0 ± 0.6	19.0 ± 0.0	ND	22.0 ± 0.0	ND	ND	ND
11	13.0 ± 1.3	54.0 ± 1.4	25.0 ± 0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	15.0 ± 0.4	59.0 ± 3.9	28.0 ± 0.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	18.0 ± 0.0	ND ²	41.0 ± 0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21	23.0 ± 0.0	ND	52.0 ± 0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla B.4. Resultados de la determinación de pH de frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	3.803 ± 0.008	3.274 ± 0.003	3.775 ± 0.007	3.954 ± 0.006	3.503 ± 0.013	3.868 ± 0.006	3.736 ± 0.004	3.520 ± 0.000	3.772 ± 0.010
4	3.981 ± 0.003	3.351 ± 0.002	3.809 ± 0.004	4.061 ± 0.015	3.351 ± 0.011	4.182 ± 0.015	3.862 ± 0.013	3.520 ± 0.003	3.772 ± 0.007
7	4.230 ± 0.003	3.501 ± 0.008	4.011 ± 0.010	4.008 ± 0.001	3.658 ± 0.007	4.089 ± 0.001	4.037 ± 0.009	3.540 ± 0.000	3.951 ± 0.005
11	4.889 ± 0.005	3.619 ± 0.005	4.118 ± 0.006	4.451 ± 0.037	3.771 ± 0.009	4.306 ± 0.006	4.142 ± 0.023	3.824 ± 0.018	4.056 ± 0.000
14	4.658 ± 0.017	3.457 ± 0.014	4.001 ± 0.012	4.394 ± 0.001	3.677 ± 0.004	4.323 ± 0.002	3.932 ± 0.038	3.537 ± 0.012	4.045 ± 0.000
18	5.095 ± 0.001	3.464 ± 0.009	4.044 ± 0.006	4.398 ± 0.002	3.521 ± 0.029	4.350 ± 0.002	3.900 ± 0.001	3.445 ± 0.025	4.089 ± 0.003
21	5.214 ± 0.029	3.511 ± 0.013	4.103 ± 0.000	4.401 ± 0.001	3.721 ± 0.06	4.513 ± 0.007	4.006 ± 0.013	3.981 ± 0.001	4.117 ± 0.005

² (ND) No determinado debido a la deshidratación de la muestra, por lo que no hubo obtención de líquido suficiente llevar a cabo la determinación

Tabla B.5. Resultados de la determinación de % acidez titulable de frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	0.6625 ± 0.0024	0.6384 ± 0.0006	0.5256 ± 0.0011	0.3958 ± 0.0007	0.7924 ± 0.0005	0.3615 ± 0.0007	0.6321 ± 0.0003	0.8074 ± 0.0009	0.6498 ± 0.0001
4	0.4028 ± 0.0003	0.7193 ± 0.0005	0.6206 ± 0.0006	0.3579 ± 0.0008	1.0269 ± 0.0034	0.4486 ± 0.0001	2.4370 ± 0.0066	4.3696 ± 0.0032	2.7425 ± 0.0019
7	0.2490 ± 0.0037	0.8975 ± 0.0012	0.4980 ± 0.0002	0.3605 ± 0.0008	0.9663 ± 0.0015	0.7584 ± 0.0002	1.7619 ± 0.0000	2.8180 ± 0.0013	2.8026 ± 0.0022
11	0.0955 ± 0.0009	0.7947 ± 0.0009	0.5322 ± 0.0018	0.4079 ± 0.0001	0.9233 ± 0.0002	1.1655 ± 0.0017	1.6618 ± 0.0027	1.7140 ± 0.0000	0.7907 ± 0.0008
14	0.1775 ± 0.0007	1.2128 ± 0.0009	0.5032 ± 0.0009	0.5999 ± 0.0002	1.1088 ± 0.0000	0.9574 ± 0.0006	1.8041 ± 0.0014	0.6782 ± 0.0002	0.9307 ± 0.0003
18	0.0656 ± 0.0002	1.1732 ± 0.0000	0.4448 ± 0.0006	0.5282 ± 0.0008	1.1601 ± 0.0011	0.7195 ± 0.0004	1.3082 ± 0.0008	0.5732 ± 0.0006	0.5073 ± 0.0013
21	0.0457 ± 0.0004	1.1356 ± 0.0003	0.4013 ± 0.0004	0.4367 ± 0.0004	1.0460 ± 0.0002	0.6228 ± 0.0001	1.2109 ± 0.0009	0.5076 ± 0.0006	0.4971 ± 0.0009

Tabla B.6. Resultados de la determinación del contenido de vitamina C en frambuesas recubiertas

T	5°C			25°C			35°C		
Día	Tipo de recubrimiento en estudio								
	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%	Blanco	Q-Qn	Qn 1.5%
0	43.10 ± 0.11	32.33 ± 2.23	32.23 ± 0.07	28.74 ± 0.93	31.39 ± 1.63	28.45 ± 0.50	32.24 ± 1.80	35.91 ± 2.41	25.84 ± 0.35
4	34.47 ± 0.81	35.71 ± 1.21	38.10 ± 4.74	28.57 ± 0.12	23.81 ± 0.38	26.67 ± 0.61	18.93 ± 0.52	19.05 ± 0.09	19.10 ± 0.44
7	21.62 ± 2.05	16.22 ± 0.26	35.14 ± 2.51	16.86 ± 0.89	10.81 ± 0.11	13.57 ± 0.08	10.73 ± 0.21	11.18 ± 0.13	10.64 ± 0.02
11	22.76 ± 0.16	10.03 ± 0.94	7.51 ± 0.61	10.05 ± 0.15	7.39 ± 0.32	9.95 ± 0.01	10.03 ± 0.17	9.78 ± 0.74	10.00 ± 0.58
14	10.53 ± 0.67	10.95 ± 0.57	6.32 ± 0.08	10.53 ± 0.47	5.26 ± 0.02	9.98 ± 0.07	5.75 ± 0.04	6.04 ± 0.08	5.27 ± 0.01
18	10.47 ± 0.33	10.26 ± 0.43	6.28 ± 0.08	5.76 ± 0.07	5.24 ± 0.06	5.26 ± 0.09	5.31 ± 0.03	5.18 ± 0.03	5.28 ± 0.02
21	5.52 ± 0.06	5.41 ± 0.03	4.42 ± 0.00	6.08 ± 0.09	5.44 ± 0.06	5.25 ± 0.03	5.32 ± 0.03	4.39 ± 0.00	4.94 ± 0.00

Tabla B.7. Cambios de coloración durante el estudio de vida de anaquel de frambuesas a 5°C

T= 5°C	Días de análisis						
Recubrimiento	0	4	7	11	14	18	21
Blanco	7427 C	188 C	194 U	201 U	7637 U	195 U	7421 U
							
							
Q-Qn	201 C	7421 C	202 U	208 U	208 U	208 U	2042 U
							
							
Qn-SA 1.5%	7628 C	202 C	7419 U	7421 U	209 U	7421 U	7421 U
							
							

Tabla B.8. Cambios de coloración durante el estudio de vida de anaquel de frambuesas almacenadas a 25°C

T= 25°C	Días de análisis						
Recubrimiento	0	4	7	11	14	18	21
Blanco	7627 C	506 C	7421 U	209 U	7421 U	7643 U	4985 U
							
							
Q-Qn	7627 C	7637 C	207 U	7420 U	1945 U	2041 U	1955 U
							
							
Qn-SA 1.5%	1805 C	209 C	7638 U	222 U	216 U	7638 U	504 U
							
							

Tabla B.9. Cambios de coloración durante el estudio de vida de anaquel de frambuesas almacenadas a 35°C

T= 35°C	Días de análisis						
Recubrimiento	0	4	7	11	14	18	21
Blanco	7427 C	505 C	2341 U	499 U	7523 U	7613 U	7523 U
							
							
Q-Qn	187 C	7641 C	2041 U	7420 U	7426 U	7420 U	194 U
							
							
Qn-SA 1.5%	7622 C	7644 C	697 U	7567 U	7594 U	7525 U	730 U
							
							

Tabla B.10. Resultados obtenidos de la evaluación sensorial de mermeladas elaboradas con frambuesas recubiertas³

Mermelada evaluada ⁴	Parámetro	Escala hedónica					Mejor muestra	Peor muestra	
		Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho			
Q-Qn	Color	10	23	15	2	0	5	31	
	Aroma	7	13	18	10	2			
	Textura	6	18	19	7	0			
	Sabor	6	9	14	18	3			
Qn 1.5%	Color	19	16	14	1	0	29	6	
	Aroma	1	17	21	11	0			
	Textura	7	26	11	6	0			
	Sabor	16	27	6	1	0			
Blanco	Color	10	19	18	3	0	15	12	
	Aroma	6	29	11	5	0			
	Textura	2	8	11	26	3			
	Sabor	9	26	12	3	0			
Participantes : 50		Mujeres: 24			Hombres: 26				

³ Las preguntas realizadas pueden consultarse en el Apéndice A, Apartado A6, los títulos asignados en la presente tabla corresponden a la escala hedónica empleada en la evaluación sensorial, en este caso de cinco puntos desde "Me gusta mucho" a "Me disgusta mucho"

⁴ Las muestras referidas en el presente apartado fueron aleatorizadas, con fines de practicidad en el vaciado de datos y para evitar proporcionar información de la muestra al consumidor, aquellas correspondientes al número 489 fueron las mermeladas elaboradas con frambuesas sin recubrir, las muestras con el código 508 fueron las elaboradas con frambuesas recubiertas con la biopelícula, mientras que las del código 629 fueron las elaboradas con la biopelícula de Qn 1.5%

Apartado C1. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el análisis experimental de frambuesas almacenadas a 5°C

Tabla C.1. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de humedad en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	3259.5467	2	1629.773333	10.4136653	0.00238602	3.885293835
Días	5278.24	6	879.7066667	5.62100914	0.005504183	2.996120378
Error	1878.04	12	156.5033333			
Total	10415.827	20				

Tabla C.1.1. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de °Bx en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	1489.7333	2	744.8666667	6.69342519	0.019578194	4.458970108
Días	1089.7333	4	272.4333333	4.44810544	0.130849083	3.837853355
Error	890.26667	8	111.2833333			
Total	3469.7333	14				

Tabla C.1.2. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de pH en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	4.2298184	2	2.11490919	30.0887546	2.11191E-05	3.885293835
Días	1.1918883	6	0.198648048	2.82616029	0.059334239	2.996120378
Error	0.8434683	12	0.070289024			
Total	6.265175	20				

Tabla C.1.3. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de %A en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	1.7314451	2	0.865722535	17.1069372	0.000306516	3.885293835
Días	0.0493035	6	0.008217246	0.16237525	0.982212052	2.996120378
Error	0.6072782	12	0.050606519			
Total	2.3880268	20				

Tabla C.1.4. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de vitamina C en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	56.3486952	2	28.17434762	0.89647669	0.433654511	3.885293835
Días	3072.35546	6	512.0592429	16.2931607	3.92857E-05	2.996120378
Error	377.134371	12	31.42786429			
Total	3505.83852	20				

Apartado C2. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el análisis experimental de frambuesas almacenadas a 25°C

Tabla C.2. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de humedad en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	3259.5467	2	1629.773333	10.4136653	0.00238602	3.885293835
Días	5278.24	6	879.7066667	5.62100914	0.005504183	2.996120378
Error	1878.04	12	156.5033333			
Total	10415.827	20				

Tabla C.2.1. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de pH en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	1.883503	2	0.941751476	69.958716	2.42908E-07	3.885293835
Días	0.5181259	6	0.086354317	6.41489535	0.003204562	2.996120378
Error	0.1615384	12	0.013461532			
Total	2.5631672	20				

Tabla C.2.2. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de %A en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	1.107129	2	0.55356452	22.0329703	9.61375E-05	3.885293835
Días	0.3061743	6	0.051029046	2.03105765	0.139533442	2.996120378
Error	0.3014925	12	0.025124371			
Total	1.7147958	20				

Tabla C.2.3. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de vitamina C en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	21.3837238	2	10.6918619	3.60606383	0.059379248	3.885293835
Días	1772.92716	6	295.4878603	99.6597313	1.56919E-09	2.996120378
Error	35.5796095	12	2.96496746			
Total	1829.8905	20				

Apartado C3. Análisis estadístico de los datos obtenidos en el análisis experimental de frambuesas almacenadas a 35°C

Tabla C.3. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de humedad en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	0.412381	2	0.206190476	0.07943739	0.924117425	3.885293835
Días	17756.512	6	2959.41873	1140.15215	8.04803E-16	2.996120378
Error	31.147619	12	2.595634921			
Total	17788.072	20				

Tabla C.3.1. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de pH en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	0.5246523	2	0.262326143	22.0896334	9.49798E-05	3.885293835
Días	0.3245379	6	0.054089651	4.55471401	0.01235404	2.996120378
Error	0.1425064	12	0.011875532			
Total	0.9916966	20				

Tabla C.3.2. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) de % A en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	0.5002859	2	0.250142938	0.68595428	0.522308492	3.885293835
Días	16.856699	6	2.8094498	7.70421158	0.001455988	2.996120378
Error	4.3759699	12	0.364664154			
Total	21.732955	20				

Tabla C.3.3. Tabla de análisis de varianza (ANOVA en inglés) del contenido de vitamina C en frambuesas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>Prom. de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Recubrimientos	8.19988571	2	4.099942857	1.10031986	0.364116218	3.885293835
Días	1689.96098	6	281.6601635	75.5903878	7.85397E-09	2.996120378
Error	44.7136476	12	3.726137302			
Total	1742.87451	20				

Apéndice D TABLAS COMPARATIVAS DE DIFERENCIAS DE MEDIAS POR EL MÉTODO DE TUKEY

Tabla D. Resultados del método de Tukey al 95% de confianza para datos obtenidos en la determinación de humedad en frambuesas

Temperatura de almacenamiento	Recubrimiento en comparación	Recubrimientos CON diferencias entre medias	Recubrimientos SIN diferencias entre medias	Tukey HSD Valor p
5°C	Blanco	Q-Qn		0.03
	Qn 1.5%	-	Blanco Q-Qn	0.43 0.28
25°C	Blanco	-	Q-Qn Qn 1.5%	0.80 0.90
	Q-Qn	-	Qn 1.5%	0.84
35°C	Blanco	-	Q-Qn Qn 1.5%	0.90 0.90
	Q-Qn	-	Qn 1.5%	0.90

Tabla D.1. Resultados del método de Tukey al 95% de confianza para datos obtenidos en la determinación de °Bx en frambuesas

Temperatura de almacenamiento	Recubrimiento en comparación	Recubrimientos CON diferencias entre medias	Recubrimientos SIN diferencias entre medias	Tukey HSD Valor p
5°C	Blanco	Q-Qn		0.04
			Qn 1.5%	0.24
	Q-Qn		Qn 1.5%	0.52

Tabla D.2. Resultados del método de Tukey al 95% de confianza para los valores obtenidos en la determinación de pH en frambuesas

Temperatura de almacenamiento	Recubrimiento en comparación	Recubrimientos CON diferencias entre medias	Recubrimientos SIN diferencias entre medias	Tukey HSD Valor p
5°C	Blanco	Q-Qn	-	0.00
		Qn1.5%	-	0.01
	Q-Qn	Qn 1.5%	-	0.02
25°C	Blanco	Q-Qn	-	0.00
		-	Qn 1.5%	0.90
	Q-Qn	Qn 1.5%	-	0.00
35°C	Blanco	Q-Qn	-	0.00
		-	Qn 1.5%	0.90
	Q-Qn	Qn 1.5%	-	0.00

Tabla D.3. Resultados del método de Tukey al 95% de confianza para los valores obtenidos en la determinación de acidez en frambuesas

Temperatura de almacenamiento	Recubrimiento en comparación	Recubrimientos CON diferencias entre medias	Recubrimientos SIN diferencias entre medias	Tukey HSD Valor p
5°C	Blanco	Q-Qn	-	0.00
		Qn 1.5%	-	0.05
	Q-Qn	Qn 1.5%	-	0.00
25°C	Blanco	Q-Qn	-	0.00
		Qn 1.5%	-	0.03
	Q-Qn	Qn 1.5%	-	0.02
35°C	Blanco	-	Q-Qn	0.90
	Qn 1.5%	-	Blanco	0.90
		-	Q-Qn	0.80

Tabla D.4. Resultados del método de Tukey al 95% de confianza para los valores obtenidos en la determinación del contenido de vitamina C en frambuesas

Temperatura de almacenamiento	Recubrimiento en comparación	Recubrimientos SIN diferencias entre medias	Tukey HSD Valor p
5°C	Blanco	Q-Qn	0.85
	Qn 1.5%	Blanco	0.90
		Q-Qn	0.90
25°C	Blanco	Q-Qn	0.89
	Qn 1.5%	Blanco	0.90
		Q-Qn	0.90
35°C	Blanco	Q-Qn	0.90
	Qn 1.5%	Blanco	0.90
		Q-Qn	0.90

Los doce principios de la química verde que a continuación se enumeran funge como base en la descripción de procesos, así como guía para la práctica química en el desarrollo y evaluación de cuán verde es una tecnología, un proceso, una síntesis o un compuesto químico (Crecente, 2009). Fueron presentados por Anastas y Warner (1998) luego de basarse en conceptos establecidos por el profesor Stanley E. Manahan (1997).

1. **Prevención:** Es preferible evitar la producción de residuos o subproductos a tener que limpiarlos o tratarlos una vez que se han producido.
2. **Economía atómica:** Los procesos de síntesis deberán diseñarse de tal manera que se maximice la incorporación de todos los reactivos empleados durante el proceso dentro del producto final, minimizando la formación de subproductos.
3. **Uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida:** siempre que sea posible, los métodos sintéticos deberán ser diseñados para producir y emplear sustancias que no representen riesgos de toxicidad o que éstos sean mínimos, para la salud del ser humano o el ambiente.
4. **Producir productos eficaces pero no tóxicos:** Los productos químicos deberán ser diseñados para ejecutar su función eficazmente mientras se minimiza su toxicidad.
5. **Reducir el uso de sustancias auxiliares:** El uso de sustancias auxiliares (como solventes, agentes de separación, etc.) deberá ser evitado mientras sea posible y, en el caso de que se utilicen, deberán ser lo más inocuos posible.

6. Disminuir el consumo energético: Los requerimientos energéticos en los procesos químicos deberán ser catalogados por su mínimo impacto económico así como ambiental y, de ser posible, deberán ser realizados a temperatura y presión ambiente.

7. Utilización de materias primas renovables: Los materiales en bruto o materias primas deberían ser renovables en vez de agotables, mientras sea técnica y económicamente práctico.

8. Evitar la derivatización innecesaria: Los procesos innecesarios de derivatización (uso de grupos de bloqueo, protección/desprotección, modificación de procesos físicos y químicos) deberían ser minimizados o evitados si es posible, puesto que esto requiere de pasos adicionales que, generalmente, involucran nuevos reactivos y generalmente producen más residuos o subproductos.

9. Potenciación de la catálisis: Los reactivos catalíticos empleados (lo más selectivos posible) deben ser reutilizables en lo posible, en lugar de reactivos estequiométricos.

10. Producir productos biodegradables: Los productos químicos deberán ser diseñados para que al final de su función, estos puedan transformarse en productos capaces de degradarse en el ambiente de forma inocua y no persistan en el mismo.

11. Desarrollar metodologías analíticas para el seguimiento en tiempo real: Deben desarrollarse metodologías analíticas para el seguimiento del proceso en tiempo real así como del control en la formación de sustancias peligrosas.

12. Minimizar el potencial de accidentes químicos: Las sustancias y la forma en cómo éstas sean empleadas en un proceso químico deberán ser elegidas de tal

forma que el potencial de producir accidentes, explosiones, emanaciones e incendios sea mínimo.

Apartado F1. Tratamiento de residuos generados en la obtención de cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados provenientes de jaiba y camarón frescos

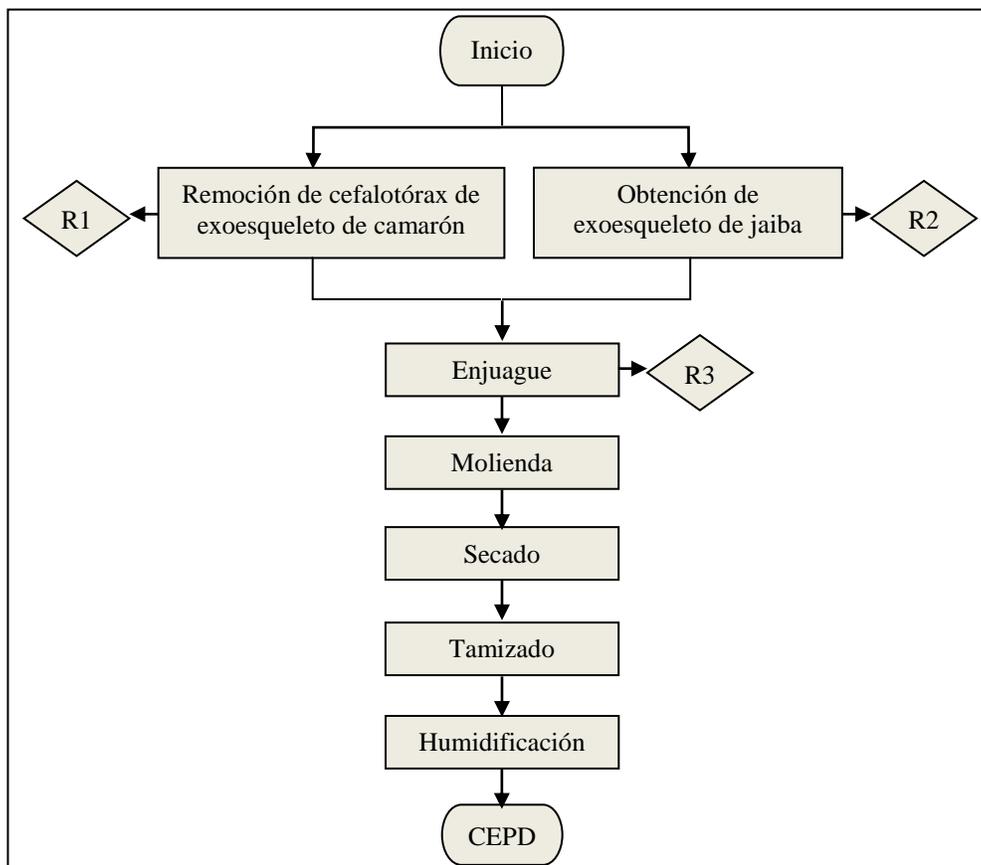


Figura F.1. Tratamiento de residuos generados en la obtención de cefalotórax y exoesqueletos parcialmente desproteinizados provenientes de jaiba y camarón frescos

Tratamientos:

R1: El resto de materia orgánica perteneciente a la cabeza del camarón se coloca en la basura orgánica.

R2: La pulpa obtenida de la limpieza de los exoesqueletos fue destinada a emplearse al consumo humano, el resto de materia orgánica perteneciente a la jaiba se coloca en la basura orgánica.

R3: El efluente de enjuague contiene sales minerales y materia orgánica, por lo que puede desecharse en el drenaje.

Apartado F2. Tratamiento de residuos generados en la obtención del disolvente MAC-141© y de la elaboración del biopolímero Q-Qn

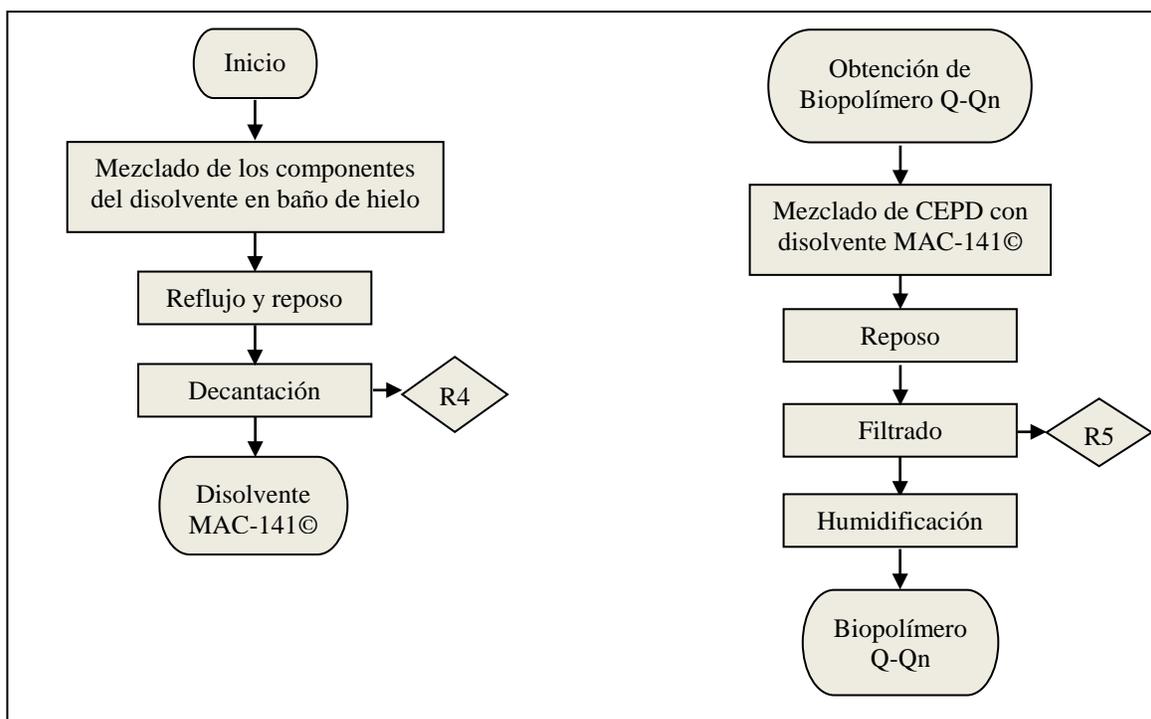


Figura F.2. Tratamiento de residuos generados en la obtención del disolvente MAC-141© y de la elaboración del biopolímero Q-Qn

Tratamientos:

R4: El residuo obtenido luego de la decantación del disolvente es una mezcla de metanol, agua y cloruro de calcio no solubilizado. La mezcla puede ser sometida a una filtración posterior y recurrir a una destilación con el fin de obtener metanol, en caso de que resulte conveniente luego de analizar la relación costo:beneficio. La mezcla puede ser tratada mediante la operación de secado en estufa convencional a una temperatura de 80°C, para recuperar y reutilizar el cloruro de calcio en la obtención de futuros lotes de disolvente MAC-141©.

R5: El residuo producido durante la elaboración del biopolímero Q-Qn está constituido por cefalotórax de camarón, exoesqueletos de jaiba y disolvente MAC-141©, por lo que este residuo es apto para ser depositado en los residuos orgánicos.

Apartado F3. Tratamiento de los residuos generados en el análisis visual de cambios de color, de presencia de hongos y de las determinaciones de cambios de textura

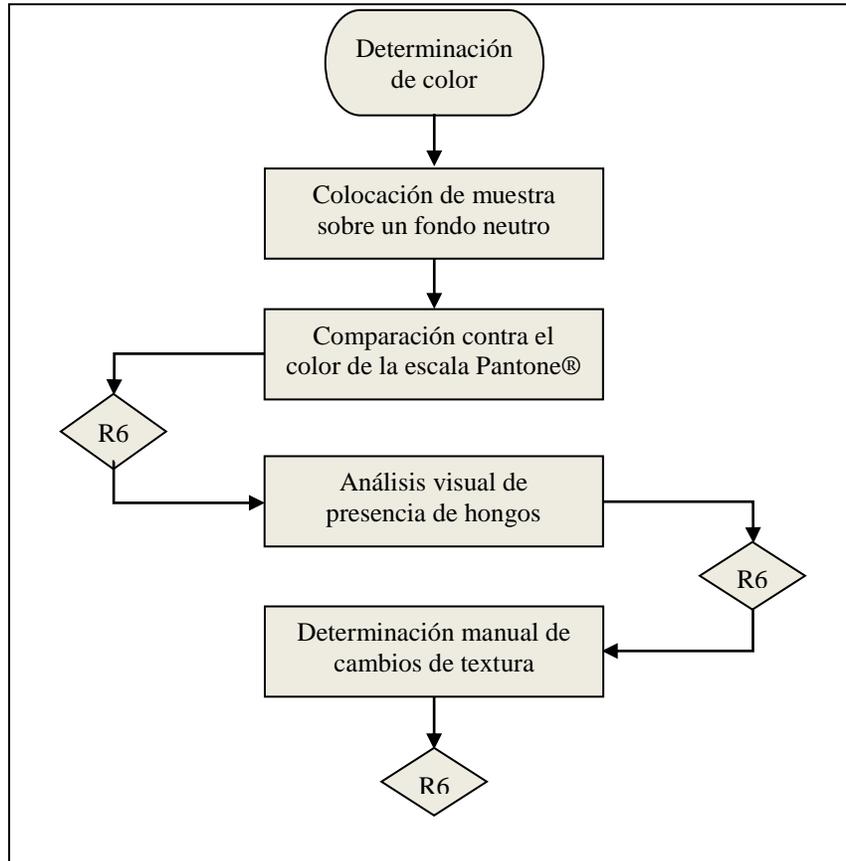


Figura F.3. Tratamiento de los residuos generados en el análisis visual de cambios de color, de presencia de hongos y de las determinaciones de cambios de textura

Tratamientos:

R6: El residuo obtenido luego de la determinación de color se dispuso para posteriormente llevar a cabo el análisis visual para detectar presencia de hongos, y luego de eso, se empleó en la determinación manual de cambios de textura, ya que la muestra solo requirió ser observada en las determinaciones anteriores y se mantuvo prácticamente intacta. Los sobrantes se colocaron en la basura orgánica.

Apartado F4. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de humedad mediante la técnica de secado en termobalanza

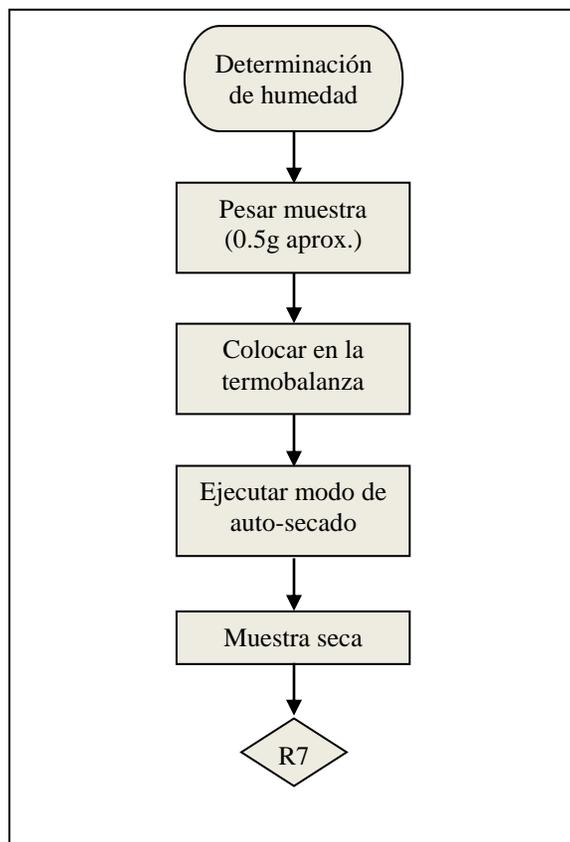


Figura F.4. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de humedad mediante la técnica de secado en horno convencional y termobalanza

Tratamientos:

R7: La muestra seca se coloca en el depósito de basura orgánica.

Apartado F5. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de pH y acidez titulable

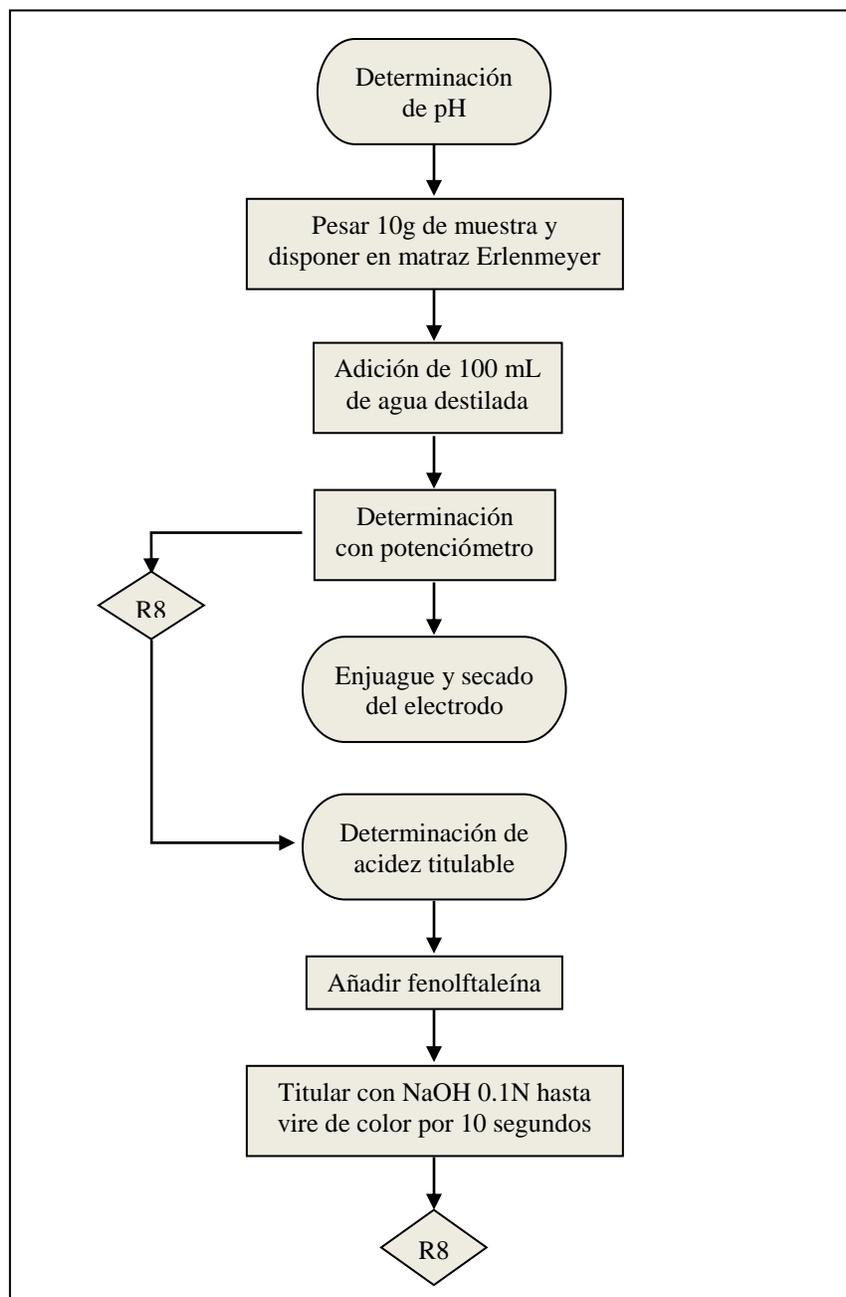


Figura F.5. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones de pH y acidez titulable

Tratamientos:

R8: Los residuos obtenidos se encuentran neutralizados luego de la titulación, por lo que es posible desecharlos en el drenaje.

Apartado F6. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones del contenido de vitamina C

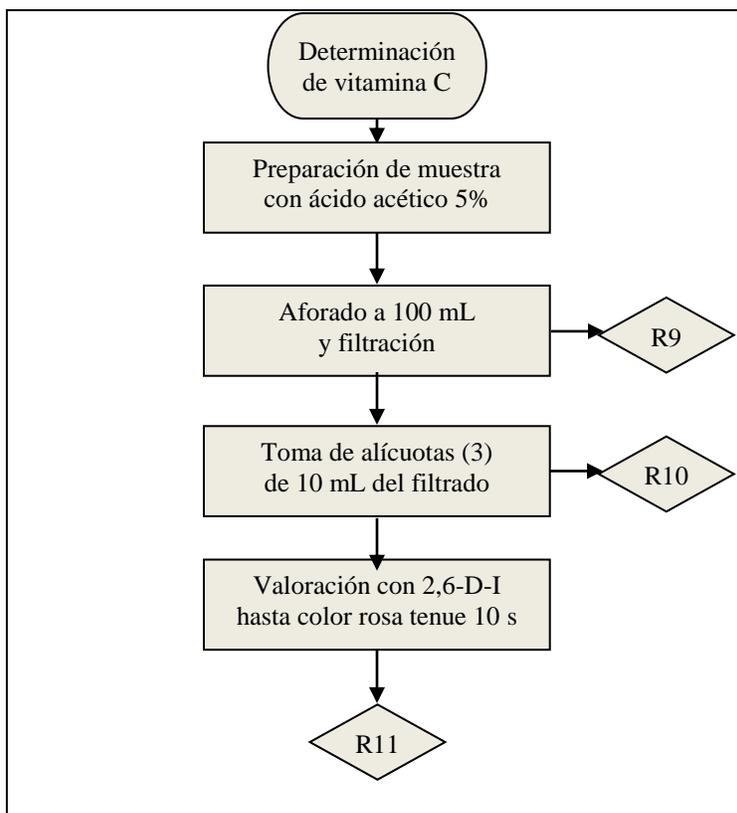


Figura F.7. Tratamiento de los residuos generados en las determinaciones del contenido de vitamina C

Tratamientos:

R9: Una vez obtenidos los sedimentos se mantienen en el papel filtro usado y se colocan en la campana para llevar a cabo la evaporación del ácido acético, luego de esto se colocan en los residuos orgánicos.

R10: El restante de la muestra aforada se trasvasa a un matraz Erlenmeyer, se neutraliza y posteriormente se desecha en el drenaje.

R11: Se obtiene una mezcla de 2,6-Diclorofenol-Indofenol con ácido acético. Esta se trata con un 1% carbón activado, se mantiene en agitación durante 1 hora. Acto seguido se deja reposar por 24 horas, se filtra y neutraliza, para finalmente ser desechado en el drenaje. El sedimento obtenido luego de la filtración se colecta y envía a UGA (Unidad de Gestión Ambiental) para llevar a cabo una incineración especializada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M., Reza, M., Chew, R., Meza, J. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. Functional properties of anthocyanins. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 7(2):14-17.
- Albarici, T., Pessoa, J., Forim, M., (2006). Efeito das variações de pH e temperatura sobre as antocianinas napolpa de açai – estudos espectrofotométricos e cromatográficos. *Embrapa Comunicado Técnico* 78. p. 5.
- Anastas, P. T., Warner, J. C. (1998). Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press. New York, EE. UU.
- Ancos, B., Gonzalez, E., Cano, P. M. (1999). Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*. 2008(1):33-38.
- Andrade-P., R., Torres-G., R., Montes-M, E., Chávez-B., M., Naar-O. V., (2007). Elaboración de un sazonzador a base de harina de cabezas de camarón de cultivo (*Penaeus sp.*). *Vitae*. 2(14):109-113.
- Antunes, L., Gonçalves, E. Trevisan, R., (2006). Alterações da atividade da poligalacturonase e pectinametilesterase em amora-preta (*Rubus spp*) durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Agrociência*. 12(1):57-61.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. Vol. 2, Parte 2. 17. Ed. Washington: AOAC. 1417 p. EE.UU.
- Ayana, B., Turhan, N. (2010). Gıda ambalajlamasında antimikrobiyel madde içeren yenilebilir filmler/kaplamalar ve uygulamaları. *Gıda*. 35(2):151-158.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª Edición. McGraw-Hill. Madrid, España.
- Baldwin, E. (2008). Flavor de las frutas, metabolismo de los volátiles y percepción de los consumidores. M. Knee, ed. *Bases biológicas de la calidad de la fruta*. Acribia, S.A. Capítulo 4. Madrid, España.

- Barreiro-Méndez, J., Sandoval-Briceño, A. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. 1ª Ed. 2ª reimpresión. Equinoccio. Caracas, Venezuela.
- Bautista, A. (1987). Influencias de la temperatura, sobre la insolación y la precipitación sobre los sólidos del fruto de la mora (*Rubus glaucus* Benth). *Agronomía Tropical*. 28(4):399-407.
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A., Velázquez-del Valle, M., Ait, E., Bósquez-Molina, E., Wilson, C. (2006). Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection*. 25(2):108-118.
- Bezerra-de-Aquino, A., Fitzgerald-Blank, A., Lins-de-Aguino-Santana, L., (2015). Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature. *Food Chemistry*. 171:108-116.
- Bierhals, V., Chiumarelli, M., Hubinger, M. (2011). Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill cv 'Pérola'). *Journal of Food Science*. 76(1):E62-E72.
- Campos, C., Gerschenson, L., Flores, S. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*. 4(6):849-875.
- Cardero-Reyes, Y., Sarmiento-González, R., Selva-Capdesuner, A. (2009). Importancia del consumo de hierro y vitamina C para la prevención de anemia ferropénica. *MEDISAN*. 13(6):1-13.
- Carranco-Jauregui, M. (2002). Inclusión de harina de cabezas de camarón (*Penaeus sp.*) en raciones para gallinas ponedoras y su efecto sobre la concentración de pigmento rojo de yema y calidad de huevo. Maestría en Ciencias. Área Biotecnología. Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México.
- Cartaya, O., Peniche, C., Reynaldo, I. (2009). Polímeros naturales recolectores de iones metálicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 10(2):81-84.

- Catzín-Yupit, C. (2009). Procesos de solubilización/precipitación y de hidrólisis enzimática para la obtención de concentrados de proteína, a partir de cefalotórax de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz. B.C.S., México.
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. Universidade Federal De Lavras. Lavras, Brasil. 783 p.
- CONAPESCA. (2018). Jaiba, entre los diez productos pesqueros de mayor volumen y valor en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. [En línea] (Actualizado el 28 de mayo de 2018). Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/jaiba-entre-los-diez-productos-pesqueros-de-mayor-volumen-y-valor-en-mexico?idiom=es> [Último acceso el 13 de enero del 2019].
- Cosgrove, D.J. (2000). Loosening of plant cell walls by expansins. *Nature*. 407:321-326. [En línea] Disponible en: <https://web.archive.org/web/20060908090321/https://www.bio.psu.edu/expansins/reprints/NatureReview2000.pdf> [Último acceso el 22 de septiembre del 2019].
- Crecente, J. (2009). Síntesis orgánica asistida por microondas, obtención de enol carbamatos, tetrahidroisoquinolinas, benzoazepinas, tiazolinas, sulfuros de fosfoles, isoflavonas, arilcumarinas, cumarinocumarinas y núcleos de dendrímeros. Aplicaciones. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências. Universidade de Santiago de Compostela. p. 3-4. [En línea] (Actualizado al 2009). Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=H0kApzULIQwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [Último acceso el 22 de octubre del 2018].
- Diley, D., (1970). Enzymes. In: HULME, A.C. *The biochemistry of fruits and their products*. Academic Press. P.159-178. London, Reino Unido.
- Djioua, T., Charles, F., Freire, M., Filgueiras, H., Ducamp-Collin, M., Sallanon, H. (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan

- coating on quality of fresh cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science and Technology*. 45(4):849-855.
- DOF. (2009). DIARIO OFICIAL (Primera Sección). Modificación del inciso 0, el encabezado de la Tabla 13, el último párrafo del Anexo B y el apartado Signo decimal de la Tabla 21 de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida. CUARTO.- Se modifica el encabezado de la tabla 13 para quedar como sigue: Tabla 21 - Reglas para la escritura de los números y su signo decimal. Signo decimal: El signo decimal debe ser una coma sobre la línea (,) o un punto sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero. **Diario Oficial de la Federación**: jueves 24 de septiembre de 2009. Poder Ejecutivo Federal. México D.F., México.
- Du, W., Olsen, C., Avena-Bustillos, R., Friedman, M., McHugh, T. (2011). Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols. *Journal of Food Science*. 76(2):M149-M155.
- Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C., Barrera-Rodríguez, S., Flores-Ortega, R.A. (2004). Extracción ecológica de quitina y subproductos. Patente Núm. 264482 (Registro 1 de octubre de 2004). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Ciudad de México, México.
- Enríquez, R., Nava, J. (2016). Estudios de vida de anaquel en productos hortofrutícolas empleando recubrimientos obtenidos de exoesqueletos y cefalotórax de camarón. Tesis profesional (Química de Alimentos). UNAM, Facultad de Química. Ciudad de México, México.
- Eum, H., Hwang, D., 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.
- Fan, Y., Sun, J., Sun, L., Wang, D., Xu, Y., Zhang, B., Zhang, L. (2009). Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria ananassa*) preservation quality. *Postharvest Biology and Technology*. 53:84-90. [En línea] (Actualizado a julio 2009). Disponible en:

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.03.002> [Último acceso el 13 de enero del 2019].
- FAO. (2017). CXS 296-2009. Norma para las confituras, jaleas y mermeladas. Enmendada en 2017. Codex Alimentarius. [En línea] (Actualizado al 2017). Disponible en:
http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B296-2009%252FCXS_296s.pdf [Último acceso el 8 de febrero del 2019].
- FAO. (2018). Codex Alimentarius Commission: Procedural Manual. 26 Edition. FAO/OMS. Roma, Italia.
- FAOSTAT. (2017). Statistics database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Roma, Italia. [En línea] (Actualizado al 2017). Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/?#data/QC/visualize> [Último acceso el 8 de febrero del 2019].
- Fernandez-Saiz, P., Lagaron, J., Ocio, M. (2009). Optimization of the biocide properties of chitosan for its application in the design of active films of interest in the food area. *Food Hydrocolloids*. 23:913-921.
- FIRCO. (2017). Frutillas producidas en México con calidad de exportación. Fideicomiso de Riego Compartido. SAGARPA. [En línea] (Actualizado al 2017). Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/frutillas-producidas-en-mexico-con-calidad-exportacion?idiom=es> [Último acceso el 12 de febrero del 2019].
- Flores-Ortega, R. A. (2004). Bioplástico de quitina: Formación de películas de quitina a partir de desechos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, UNAM. Ciudad de México, México.
- Flores-Ortega, R. A. (2008). Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax de camarón. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, UNAM. Ciudad de México, México.

- Freeman, D. (2011). Effect of edible coatings on some quality characteristics of sweet cherries. *International Food Research Journal*. 18(4): 1237-1241.
- García, M., Ventosa, M., Díaz, R., Casariego, A. (2011). Efecto de coberturas de alginato de sodio enriquecidas con *Aloe vera* en la calidad de zanahoria mínimamente procesada. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 21(3):62.67.
- Gélvez-Torres, C. (1998). Manejo post-cosecha y comercialización de guayaba (*Psidium guajava* L.). IICA Biblioteca Venezuela. Bogotá, Colombia.
- Ghiani, B., Smith, T., Thomson, P. (2011). Water vapour resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *Journal of Food Science*. 62:351-354.
- Gil-Salaya, G. (2012). Fruticultura: Madurez de la fruta y manejo postcosecha. Frutas de climas templado y subtropical. 4ª ed. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile.
- Gil, R. (2012). Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-polysaccharide-based films. *European Food Research and Technology*. 232(1):63-69.
- Gil-Hernández, A. (2010). Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. 2ª Edición. Médica-Panamericana. Madrid, España.
- González-O., L., Sánchez-C., A., García-S., V., Beas-R., J. A., Aguilar-N., J. A., Acatzi-S., A. I., Gómez-S., T., Lucas-F., B. (2014). *Manual de Laboratorio de Alimentos II*. Semestre 2014-2. Pub. Facultad de Química, UNAM. Pp. 40-58. Ciudad de México, México.
- Goulao, M. (2010). Free radicals and antioxidants: Updating a personal view. *Nutrition Reviews*. 70(5):257-265.
- Green, T. (1971). Principles of food viscosity analysis. En: D. Kilcast ed. Instrumental assessment of food sensory quality: A practical guide. *Woodhead Publishing Limited*, 5/129-162. Cambridge, Reino Unido.
- Grisebach, L. (1982). Color change of fresh cut apples coated with whey protein concentrate based edible coating. *Postharvest Biology and Technology*. 39:84-92.

- Gross, A. (1984). Optimization of alginate and gellan based edible coating formulations for fresh cut pineapples. *International Food Research Journal*. 19(1):279-285.
- Guzmán, M., Ortega, A., Anaya, C. (2010). Piranoantocianinas: modificaciones estructurales de antocianinas. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas, Puebla. México. [En línea] (Actualizado al 2010). Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-1/TSIA-4\(1\)-Guzman-Figueroa-et-al-2010.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-1/TSIA-4(1)-Guzman-Figueroa-et-al-2010.pdf) [Último acceso el 7 de noviembre del 2018].
- Han, C., Lederer, C., McDaniel, M., Zhao, Y. (2004a). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan based edible coatings. *Journal of Food Science*. 70:S172-178.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W., Traber M.G. (2004b). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus idaeus*). *Postharvest Biology and Technology*. 33:76-78.
- Horbowicz, M., Kosson, R., Grzesiuk, A., Debski, H. (2008). Anthocyanins of fruits and vegetables—their occurrence, analysis and role in human nutrition. *Vegetable Crops Research Bulletin* 68:5-22.
- ICTIO-TERM. (2013). Base de datos terminológicos y de identificación de especies pesqueras de las costas de Andalucía. [En línea] (Actualizado al 2013). Disponible en: http://www.ictioterm.es/glosario_terminos_biologicos.php?1t=E [Último acceso el 19 de octubre del 2018].
- INDAP. (2005). Estrategias regionales de competitividad por rubro: Producción y mercado de la frambuesa. Instituto de Desarrollo Agropecuario. Fundación Chile. Santiago, Chile. [En línea] (Actualizado al 2005). Disponible en: http://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/berries_virestrategiasregionalesxrubro.pdf?sfvrsn=0 [Último acceso el 22 de noviembre del 2018].

- INIA. (2009). Frambuesa (*Rubus idaeus* L.), morfología y clasificación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Ministerio de Agricultura. Chile. [En línea] (Actualizado al 2009). Disponible en:
http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR36465.pdf?fbclid=IwAR2PI_0MYmnEesY5PdW3Yxl6RgNHglOWKxarKYaHbnIfVAD7qVXdVO3XLlo [Último acceso el 7 de noviembre del 2018].
- INIA. (2013). Manual de frambuesa. Boletín INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile. [En línea] (Actualizado al 2013). Disponible en:
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39111.pdf> [Último acceso el 12 de febrero del 2019].
- Jackson, D., Looney, N. (2003). Producción de frutas de climas templados y subtropicales. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Jafarizadeh, M., Osman, A., Tan, C., Abdul, R. (2012). Effects of edible surface coatings (sodium carboxymethyl cellulose, sodium caseinate and glicerol) on storage quality of berangan banana (*Musa sapientum* cv. Berangan) using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*. 36(3):2252-2261.
- Jeanet, R., Croguennec, T. (2006). Ciencia de los alimentos. Vol 1. Estabilización biológica y fisicoquímica. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Jennings, E., Carmichael, W. (1980). Colour aspects of fresh-cut berries using video image analysis. *Journal of Food Engineering*. 77:871-879.
- Kader, Z. (1998). Improving the safety of fresh fruit and vegetable. *Wageningen University and Research*, 4:12-16.
- Kroachta, M., Baldwin, A., Nisperos-Carriedo, M. (1994). Edible coatings and films to improve food quality. Chapter 1. Edible films coating: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. *Technomic Publishing Co. Pp.1-21*. Lancaster, PA, EE.UU.
- 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., 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(3):60-75.
- MacKenzie, K.A.D. (1979). The structure of the fruit of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) in relation to abscission. *Annals of Botany*. 43(3):355-362.
- Manahan, S. (1997). Notas para el curso "Introducción a la química ambiental". Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Orientación Química Ambiental. Universidad Nacional Ambiental Autónoma de México. México D.F., México.
- Manrique, G., Lajolo, F. (2004). Cell-Wall polysaccharide modification during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology*. 33:11-26.
- Mason, I. (1974). Effect of individual seal packaging in plastic films on the quality of fruits under refrigeration. *Food Science and Technology International*. 5(3):215-222.
- McHugh, T., Avena-Bustillos, R., Krochta, J.M. (1993). Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science*. 58(4):899-903.
- Mendoza-Pérez, S. (2014). Obtención de pigmentos carotenoides a partir de desechos de jaiba (*Callinectes sapidus*). Tesis para obtener el título de Químico de alimentos. Facultad de Química, UNAM. Pp. 32-33. Ciudad de México, México.
- Mercado-Silva, E., Benito-Bautista, P., García-Velasco, M.A. (1998). Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology*. 13:143-150.
- Mitcham, E., Crisosto, C., Kader, A. (2007). Bayas (Berries): zarzamora (mora), arándano azul, arándano rojo, frambuesa. Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. [En línea] (Actualizado a noviembre 2011). Disponible en: http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Bayas_Berries/ [Último acceso el 14 de noviembre del 2018].

- Mokady, S., Cogan, U., Lieberman, L. (1984). Stability on vitamin C in fruit and fruit blends. *Journal Science Food Agricultural*. 35:452-456. [En línea] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740350415> [Último acceso el 6 de noviembre del 2018].
- Mourad, J., Sawssan, H., Hanen, B., Imen, L., Aicha, M., Maher, K., Nabil, S., Moncef, N. (2014). Physical, structural, antioxidant and antimicrobial properties of gelatin-chitosan composite edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 67:373-379.
- Mullen, W., Stewart, A., Lean, M., Gardner, P., Duthie, G., Crozier, A. (2002). Effect of freezing and storage on the phenolics, ellagitannins, flavonoids, and antioxidant capacity of red raspberries. *J. Agric. Food Chem*. 50(18):5197-51201.
- Navarrete, G. (2009). Aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina para preservar la calidad de la zarzamora (*Rubus frocticosus*) almacenada en refrigeración lista para consumir. Tesis para obtener el título de ingeniero en alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.
- Navarro-da-Silva, A., Navarro-da-Silva, R., Marques-Ferreira, A., Rodrigues-Minim, V., Teixeira-da-Costa, T., Perez, R. (2013). Performance of hedonic scales in sensory acceptability of strawberry yogurt. *Food Quality and Preference*. 30:9-21.
- Nunes, M., Morais, A., Brecht, J., Sargent, S., Bartz, J. (2005). Prompt cooling reduces incidence and severity of decay caused by *Botrytis cinerea* and *Rhizopus stolonifer* in strawberry. *Hort. Technology*. 15:153-156.
- Ochmian, I., Grajkowski, J., Skupień, K. (2008). Effect of three substrates on fruit and leaf chemical composition of highbush blueberry 'sierra' cultivar. *Ejpaau* 11(4), #12. [En línea] (Actualizado al 2008). Disponible en: <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue4/art-12.html> [Último acceso el 11 de enero del 2019].
- Ortega-Granados, J., (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). Facultad de Química, UNAM. Ciudad de México, México.
- Pantone®. (2018). [En línea] (Actualizado al 2018). Disponible en: <http://www.pantone.com/pages/pantone/index.aspx> [Último acceso el 8 de noviembre del 2019].
- Pérez, B., Báez, R. (2003). Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*. 345(6):59-65.
- Pérez-Guzmán, A., Saucedo-Veloz, C., Arana-Errasquín, R. (1999). Effect of individual seal packaging in plastic films on the quality of Dancy mandarins stored under refrigeration. *Food Science and Technology International*. 5(3):215-222.
- Pérez-Pérez, E., López-Malo, A. (2011). Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 5(2):13-27.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J.R., (1996). Cultivar and maturity affect postharvest quality fruit from erect blackberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 31(2):258-261.
- Quintero. C., Pascual, F., Muñoz, H. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*. 5:93-118.
- Rein, M. (2005). Copigmentation reaction and color stability of berry anthocyanins. Department of Applied Chemistry and Microbiology. University of Helsinki. Helsinki, Finlandia.
- SADER. (2015). Inicia México exportaciones de berries a China; en marcha nueva etapa comercial entre ambas naciones. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. Michoacán, México. [En línea] (Actualizado al 2015). Disponible en: <https://www.gob.mx/sader%7Cmichoacan/articulos/inicia-mexico-exportaciones-de-berries-a-china-en-marcha-nueva-etapa-comercial-entre-ambas-naciones-137945> [Último acceso el 22 de noviembre del 2018].

- SAGARPA. (2016). Hortalizas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. [En línea] (Actualizado al 7 de abril del 2016). Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0005-3.aspx [Último acceso el 12 de mayo de 2018].
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, 1^{ra} Ed. Frutas del bosque mexicanas, arándano, frambuesa, zarzamora. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. México. [En línea] (Actualizado al 2017). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257076/Potencial-Frutas_del_Bosque.pdf [Último acceso el 9 de septiembre del 2018].
- SAGARPA. (2018). Productos Acuícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. [En línea] (Actualizado al 19 de marzo del 2018). Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_00127_10.aspx[Último acceso el 12 de mayo de 2018].
- Santa Cruz, L. (2011). Análisis químico de antocianinas en frutos silvestres colombianos. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. [En línea] (Actualizado al 2011). Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/5351/1/197518.2011.pdf> [Último acceso el 18 de noviembre de 2018]
- Sarabia-Bañuelos, P., (2011). Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: obtención de quitina y quitosana del cefalotórax de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría en ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, UNAM. Ciudad de México, México.
- SE. (1982). *NMX-FF-011-1982: Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación.* Secretaría de Economía. Catálogo de Normas Mexicanas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. [En línea] (Actualizado al 10 de junio de 1982). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/detallenorma.nmx?clave=NMX-FF-011-1982> [Último acceso el 12 de enero de 2019]

- SE. (2009). *NMX-F-103-NORMEX-2009: Alimentos. Determinación de grados Brix en alimentos y bebidas método de ensayo (prueba)- Especificaciones (cancela a la NMX-F-103-1982)*. Secretaría de Economía. Catálogo de Normas Mexicanas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. [En línea] (Actualizado al 19 de junio del 2009). Disponible en:
<http://www.economia-nmx.gov.mx/normasmx/detallenorma.nmx?clave=NMX-F-103-NORMEX-2009> [Último acceso el 12 de enero de 2019]
- SE. (2013). *NMX-F-317-NORMEX-2013: Alimentos-Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas-Método potenciométrico-Método de prueba- Especificaciones (cancela a la NMX-F-317-S-1978)*. Secretaría de Economía. Catálogo de Normas Mexicanas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. [En línea] (Actualizado al 27 de octubre del 2013). Disponible en:
<http://www.economia-nmx.gov.mx/normasmx/detallenorma.nmx?clave=NMX-F-317-NORMEX-2013> [Último acceso el 12 de enero de 2019]
- SE. (2018). *NMX-FF-132-SCFI-2018. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca-frambuesa (Rubus sp.)-Especificaciones y métodos de prueba*. Secretaría de Economía. Catálogo de Normas Mexicanas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. [En línea] (Actualizado al 2018). Disponible en:
<https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=RzdNZmNSOXBUdzJlaW9vK0Y4dWk3Zz09> [Último acceso el 12 de enero del 2019].
- SEGOB (2010). Diario Oficial de la Federación. *Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria*. [En línea] (Actualizado al 2010). Disponible en:
https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5137518 [Último acceso el 9 de septiembre del 2019].

- Severiano, P., Gómez, D., Méndez, C., Pedrero, D., Gómez, C., Ríos, S., Escamilla, A., Utrera, M. (2012). *Manual de evaluación sensorial*. UNAM. Pp. 124-138. Ciudad de México, México.
- SIAP. (2016). Monografías de productos agroalimentarios mexicanos, frambuesa. Monografía de Frambuesa. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En línea] (Actualizado al 2016). Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166457/frambuesa_monograf_a.pdf [Último acceso el 17 de noviembre del 2018].
- SIAP. (2017a). Producción pesquera por especie. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea] (Actualizado al 2017). Disponible en:
http://www.campomexicano.gob.mx/raw_pesca_gobmx/seccionar_especie.php [Último acceso el 7 de septiembre del 2018].
- SIAP. (2017b). Berries, frutillas, frutos rojos, bayas mexicanas... entre lo común y lo biológico. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea] (Actualizado al 2017). Disponible en:
<https://www.gob.mx/siap/articulos/berries-frutillas-frutos-rojos-bayas-mexicanas-entre-lo-comun-y-lo-biologico-paraidentificar-estos-frutos-que-se-posicionan-en-el-mercado-nacional-e-internacional?idiom=es> [Último acceso el 11 de octubre del 2018].
- Sigma-Aldrich. (2015a). Chitin. [En línea]. (Actualizado al 1 de agosto de 2014). Disponible en:
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/c9213?lang=es®ion=MX> [Último acceso 3 de enero del 2019].
- Sigma-Aldrich. (2015b). Chitosan. [En línea]. (Actualizado al 1 de agosto de 2014). Disponible en:
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/740500?lang=es®ion=MX> [Último acceso 3 de enero del 2019].

- Silva, D., Lins, L., Cabrini, E., Brasileiro, B., Salomão, L. (2012). Influence of the use of acids and films in postharvest lychee conservation. *Revista Ceres*, 59(6):745-750.
- Sjulin, T., Robbins, P. (1987). Performance of hedonic scales in sensory acceptability of strawberry yogurt. *Food Quality and Preference*. 30:9-21.
- Sjulin, T., Robbins, J., Barritt, B.H. (1986). Selection for virus tolerance in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111:458-464.
- Smirnoff, N. (1999). The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annales Botanici*. 78(6):661-669.
- Souza, M. (2007). Framboesa: qualidade pós-colheita. *Folha de Divulgação AGRO*. 556(6):17-32.
- Sozzi, G. (2009). Nutritional quality of fruits and vegetables. *Postharvest handling: A systems approach, 2nd edition*. Elsevier. 5:57-62. Amsterdam, The Netherlands.
- Sun, P., Zinno, L., Orlet, R. (2010). Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*. 345(6):59-67.
- Tournas, V., Katsoudas, E. (2005). Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. *International Journal of Food Microbiology*. 105:11-17.
- Trejo-Ramírez, V., Trejo-Márquez, M., Pascual-Bustamante, S., Lira-Vargas, 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 Postcosecha*. 16(2):228-233. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Hermosillo, México. [En línea] (Actualizado al 2015). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176012>[Último acceso el 22 de enero del 2019].

- Tulio, R., Cruz, S., Antares, O. (2008). Evaluación de la calidad de la fruta, para frutos rojos de clima tropical. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 18(2):70-73.
- Ulrich, R. (1970). Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*. 50:211-216.
- USDA. (2018). National nutrient database for standard reference legacy release. Raspberries. United States Department of Agriculture. [En línea] (Actualizado al 2018). Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/09302> [Último acceso el 07 de octubre del 2018].
- Vázquez-Briones, M.C., Guerrero-Beltrán, J.A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos. Depto. de Ing. Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas. Cholula, Puebla, México.
- Wageningen, S. (2017). Characterisation of zein oleic acid films and applications in fruit coating. *International Journal of Food Science and Technology*. 46:2145-2152.
- Walsh, H. (1983). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. Cv. 'Sapphire'). *European Food Research and Technology*. 229(3):427-434.
- Wang, S., Chen, C., Wang, C. (2009). The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. Genetic Improvement of Fruit and Vegetable Laboratory, Beltsville Agricultural Research Center, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Beltsville, MD 20705-2350, United States. [En línea] (Actualizado al 2009). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608007425> [Último acceso el 3 de marzo del 2019].
- Warmund, R., Nonnecke, G. (1993). Postharvest fruit pigmentation and weight of 'Heritage' and 'Redwing' red raspberries artificially exposed to -2.5 degrees C. *Revista Ceres*. 59(6):745.

- Watkins, C. (2008). Etileno: síntesis, modo de acción, efectos y control. En: M. Knee, ed. *Bases biológicas de la calidad de la fruta*. Acribia, S.A. Capítulo 8. Madrid, España.
- Wu, G., Gao, H., Ma, J. (2012). Chitosan-based biomaterials. *Material Matters*. 7(3). Laboratory of Functional Polymer Materials, Institute of Polymer Chemistry, Nankai University, Tianjin, China. [En línea] Disponible en: <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/material-matters/chitosan-based-biomaterials.html> [Último acceso el 22 de septiembre del 2019].
- Yirat-Becerra, M., García-Pereira A., Hernández-Gómez, A., Calderín-García, A. Norbey-Camacho, A. (2009). Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 18(2):70-73.
- Zhan, L., Hu, J., Zhu, Z. (2011). Shelf life extension of minimally processed water caltrop (*Trapa acornis* Nakano) fruits coated with chitosan. *International Journal of Food Science and Technology*. 46:2634-2640.
- Zhang, D., Quantick, P. (1998). Antifungal effects of chitosan coating on fresh strawberries and raspberries during storage, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73(6):763-767.
- Zheng, D., Hrazdina, G. (2010). Cloning and characterization of an expansin gene, RiEXP1, and a 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene, RiACS1 in ripening fruit of raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Plant Science*. 179:133-139. Department of Food Science & Technology, New York State Agricultural Experimental Station, Cornell University, United States.[En línea] (Actualizado el 13 de abril de 2010). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945210000968?via%3Dihub> [Último acceso el 30 de noviembre del 2018].