
ÍNDICE

	Página
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Fresa (<i>Fragaria ananassa</i>)	4
3.2 Procesamiento mínimo y combinación de obstáculos	6
3.3 Películas comestibles	7
3.3.1 Definición	7
3.3.2 Historia	8
3.3.3 Características	8
3.3.4 Ventajas	9
3.3.5 Componentes	9
3.3.5.1 Hidrocoloides	9
3.3.5.1 Lípidos.	10
3.3.5.1 Mezclas	11
3.3.6 Aditivos	11
3.3.7 Formación de las películas comestibles	12
3.3.8 Permeabilidad de las películas comestibles	14
3.4 Quitosano	16
3.4.1 Generalidades	16
3.4.2 Extracción	16
3.4.3 Características y aplicaciones generales	18
3.4.4 Películas y recubrimientos comestibles	19
3.5 Mucílago de Nopal.	20
3.5.1 Nopal	20
3.5.2 Composición química del nopal verdura	22
3.5.3 Mucílago: Generalidades	22
3.5.4 Procesos de extracción	23
3.5.5 Aplicaciones	24
IV. PLAN DE INVESTIGACIÓN	25
4.1 Estandarización del proceso de obtención del mucílago de nopal	25
4.2 Determinación y selección de formulaciones para soluciones formadoras de películas comestibles	25
4.3 Elaboración de las películas de quitosano y mucílago de nopal	25
4.4 Caracterización de las películas comestibles de quitosano y mucílago de nopal	25
4.5 Caracterización de la materia prima	25
4.6 Preparación de la fruta	25
4.7 Aplicación de las películas comestibles en fresa	25
4.8 Empacado y almacenado de fresas recubiertas con películas	26
4.9 Evaluación de fresas durante su almacenamiento en refrigeración	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1 Materiales	27
5.1.1 Material experimental	27

5.1.2 Material	27
5.1.3 Equipo	28
5.2 Métodos	28
5.2.1 Caracterización de la materia prima	28
5.2.2 Estandarización del proceso de obtención de mucílago de nopal	31
5.2.3 Preparación de las soluciones formadoras de película	33
5.2.3.1 A base de mucílago de nopal	33
5.2.3.2 A base de quitosano	34
5.2.4 Formación de las películas comestibles	35
5.2.4.1 A base de mucílago de nopal	35
5.2.4.2 A base de quitosano	35
5.2.5 Caracterización de las películas comestibles	35
5.2.5.1 Color	35
5.2.5.2 Espesor	36
5.2.5.3 Propiedades Mecánicas	36
5.2.5.4 Propiedades de barrera	37
5.2.5.4.1 Velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) y permeabilidad	37
5.2.5.4.2 Permeabilidad a gases	39
5.2.6 Aplicación de las películas comestibles	41
5.2.6.1 Selección de los frutos	41
5.2.6.2 Desinfección de los frutos	42
5.2.6.3 Recubrimiento de los frutos	42
5.2.6.4 Empacado de la fruta recubierta	43
5.2.6.5 Almacenamiento	43
5.2.7 Evaluación del efecto del uso de las películas comestibles de quitosano y mucílago de nopal	44
5.2.7.1 Análisis físico-químicos	44
5.2.7.2 Análisis microbiológicos	44
5.2.7.3 Evaluación sensorial	44
5.2.8 Análisis estadístico	45
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
6.1 Formulación de las películas comestibles	46
6.2 Estandarización del proceso de obtención del mucílago de nopal	48
6.2.1 Rendimiento de mucílago	50
6.3 Caracterización de las películas comestibles	50
6.3.1 Propiedades físicas	50
6.3.1.1 Espesor	50
6.3.1.2. Transmisión de luz (Color)	52
6.3.2. Propiedades mecánicas	55
6.3.2.1. Fuerza de rompimiento	55
6.3.2.2. Elongación	57
6.3.2.3. Área	59
6.3.2.4. Gradiente	60
6.3.3. Propiedades de transporte	60
6.3.3.1. Velocidad de transmisión al vapor de agua (VTVA) y permeabilidad (k/x)	60
6.3.3.2. Permeabilidad a gases: O ₂ y CO ₂	63

6.4 Caracterización de la materia prima	66
6.5 Evaluación de la fresa en almacenamiento	67
6.5.1 Pérdida de peso	68
6.5.2 pH	70
6.5.3 Acidez Titulable	72
6.5.4 Sólidos solubles	73
6.5.5 Humedad	76
6.5.6 Color	77
6.5.7 Textura	84
6.5.8 Microbiología	87
6.5.8.1 Mesófilos aerobios	87
6.5.8.2 Hongos y Levaduras	91
6.5.9 Evaluación Sensorial	96
6.5.9.1 Apariencia	96
6.5.9.2 Color	97
6.5.9.3 Aroma	98
6.5.9.4 Sabor	99
6.5.9.5 Textura al tocar	101
6.5.9.6 Textura al degustar	101
6.5.9.7 Calidad General	102
VII. CONCLUSIONES	105
VIII. RECOMENDACIONES	108
IX. BIBLIOGRAFÍA	110
X. APÉNDICES	116
A. Formato de Evaluación Sensorial aplicado durante el almacenamiento de la fresa recubierta con una o dos capas de las películas comestibles (MAG, MPG y Q)	116
B. Rendimiento (%) de Mucílago de Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i> variedad “Criollo”)	117
C. Espesores (μm) promedio de las películas comestibles evaluadas y ANOVA para espesor de las películas comestibles ($\alpha=0.05$)	118
D. Parámetros de color para las películas comestibles MAG, MPG y Q.	119
E. ANOVA para parámetros de color de las películas comestibles MAG, MPG y Q ($\alpha=0.05$)	122
F. Parámetros de textura para las películas comestibles MAG, MPG y Q	124
G. ANOVA para parámetros de textura de las películas comestibles MAG, MPG y Q ($\alpha=0.05$)	127
H. Parámetros para el cálculo de la velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA) y permeabilidad k/x ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ h mmHg}$) de las películas comestibles MAG, MPG y Q	129
I. ANOVA para velocidad de transferencia al vapor de agua (VTVA) y permeabilidad k/x ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ h mmHg}$) de las películas comestibles MAG, MPG y Q ($\alpha=0.05$)	134
J. Curvas Estándar para O_2 y CO_2	135
K. ANOVA para permeabilidad P/x ($\text{ml}/\text{m}^2 \text{ h Pa}$) al O_2 y CO_2 de las películas comestibles MAG, MPG y Q ($\alpha=0.05$)	136
L. Parámetros de color para los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin	137

recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG)	
M. Fuerza de rompimiento (g_f) para los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG)	143
N. ANOVAS para fuerza de rompimiento (g_f) de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (C, Q, MAG y MPG) en los días 1, 5, 10, 14, 18 y 21 del almacenamiento en refrigeración ($\alpha=0.05$).	144
O. ANOVAS para fuerza de rompimiento (g_f) de cada uno de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (C, Q, MAG y MPG) a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración ($\alpha=0.05$).	145

ÍNDICE DE TABLAS	Página
Tabla 1. Rendimiento (%) de mucílago de nopal obtenido con diferentes períodos de precipitación en congelación (-10°C).	49
Tabla 2. Espesores promedio de las diferentes películas comestibles.	51
Tabla 3. Parámetros de color de las películas comestibles: MAG, MPG y Q de tres espesores distintos (40, 50 y 60 mL de solución formadora de película).	53
Tabla 4. Parámetros de color de películas comestibles hechas a base de quitosano reportados en la bibliografía.	55
Tabla 5. Parámetros de textura de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q) con distintos espesores.	55
Tabla 6. Valores para la velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA) y Permeabilidad k/x de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MPG y MAG) y quitosano (Q).	61
Tabla 7. Velocidad de transferencia y permeabilidad al O ₂ (k/x) de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).	64
Tabla 8. Velocidad de transferencia y permeabilidad al CO ₂ (k/x) de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).	66
Tabla 9. Caracterización de la fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) variedad “Festival”.	67
Tabla 10. Pérdida de peso (%) de los lotes de fresa recubiertos con una y dos capas de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal y quitosano.	70
Tabla 11. Valores promedio de pH de las fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.	72
Tabla 12. Valores promedio de acidez titulable (%) de las fresa con (1 y 2 capas) de los recubrimientos comestibles (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.	73
Tabla 13. Valores promedio de sólidos solubles (%) de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.	74
Tabla 14. Valores promedio de humedad de las fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.	76
Tabla 15. Luminosidad (L _h) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.	78
Tabla 16. Tono (h) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.	81
Tabla 17. Saturación (C) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.	83
Tabla 18. Fuerza de rompimiento (g _f) para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el período de almacenamiento en refrigeración.	86
Tabla 19. Efecto de los recubrimientos comestibles (0, 1 y 2) de las formulaciones	89

Q, MAG y MPG en el crecimiento de mesófilos aerobios (Log UFC/g _{fresa}) en fresa almacenada durante 21 días en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR)	
Tabla 20. Velocidad de crecimiento microbiano para mesófilos aerobios (k_m) y coeficiente de correlación (R^2) obtenidos para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) almacenadas en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).	90
Tabla 21. Efecto de los recubrimientos comestibles (0, 1 y 2) de las formulaciones Q, MAG y MPG en el crecimiento de hongos y levaduras (Log UFC/g _{fresa}) de fresa almacenada durante 21 días en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR)	92
Tabla 22. Velocidad de crecimiento microbiano para hongos y levaduras (k_{HyL}) y coeficiente de correlación (R^2) obtenidos para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) almacenadas en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).	93
Tabla 23. Calificaciones promedio de los atributos en la evaluación sensorial para lotes de fresa con y sin recubrimiento(s) comestible(s) (Q, MAG y MPG) almacenados en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).	100

ÍNDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1. Proceso de manufactura de la quitina	17
Figura 2. Proceso de manufactura del quitosano	18
Figura 3. Fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) variedad “Festival”.	27
Figura 4. Medición de color con Colorímetro Hunter Lab Colorgard System/05.	30
Figura 5. Medición de textura con analizador de textura (TA.TX2i).	31
Figura 6. Proceso de extracción del mucílago de nopal.	32
Figura 7. Homogenización de la solución formadora de película	33
Figura 8. Eliminación de burbujas de aire.	34
Figura 9. Solución formadora de película.	34
Figura 10. Medición de color de las películas comestibles.	36
Figura 11. Medición de parámetros de textura de películas comestibles.	36
Figura 12. Arillos de acrílico para sujetar las películas comestibles.	36
Figura 13. Cámara para evaluar la velocidad de transferencia al vapor de agua (VTVA).	38
Figura 14. Sistema para medición de la permeabilidad a gases (O ₂ y CO ₂) de las películas comestibles	39
Figura 15. Selección de la fruta	41
Figura 16. Formación de lotes homogéneos para cada uno de los tratamientos.	41
Figura 17. Desinfección de la fruta en solución de cloro comercial	42
Figura 18. Recubrimiento de los frutos con las soluciones formadoras de película.	42
Figura 19. Proceso de secado de la fruta.	43
Figura 20. Almacenamiento de la fruta tratada.	43
Figura 21. Ejecución de la evaluación sensorial de fresas recubiertas con películas comestibles a base de mucílago de nopal y quitosano.	45
Figura 22. Película a base del extracto de nopal con plastificantes (PEG y glicerol).	46
Figura 23. Película comestible MAG.	47
Figura 24. Película comestible MPG.	47
Figura 25. Mucílago de nopal seco en polvo	50
Figura 26. Valores promedio para la fuerza de rompimiento (g _f) de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).	56
Figura 27. Película comestible a base de mucílago de nopal seco y glicerol.	57
Figura 28. Valores promedio para la fuerza elongación de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).	58
Figura 29. Valores promedio para el área de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).	59
Figura 30. Valores promedio para el gradiente de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).	60
Figura 31. Velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA) para las películas hechas a base de mucílago de nopal (MPG y MAG) y quitosano (Q).	62
Figura 32. Pérdida de peso de fresa durante el almacenamiento en refrigeración.	69

Figura 33. Pérdida de peso total (%) y contenido de sólidos solubles (°Bx) al final del período de almacenamiento en refrigeración (4.5°C y 85-90% HR).	75
Figura 34. Luminosidad (Lh) de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) a lo largo del almacenamiento en refrigeración.	77
Figura 35. Tono (h) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestibles (Q, MAG y MPG) a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración.	79
Figura 36. Saturación (C) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración.	82
Figura 37. Cambio neto de color (ΔE) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración.	84
Figura 38. Fuerza de rompimiento (g_f) para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el período de almacenamiento en refrigeración.	85
Figura 39. Desarrollo de mesófilos aerobios en fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).	87
Figura 40. Crecimiento de hongos y levaduras en fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).	91