



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Caracterización de películas biodegradables a base de mucilago de nopal (*Opuntia Spp.*) y su empleo como recubrimiento en chirimoya y nectarina mínimamente procesada

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

P R E S E N T A:

I.A. ALMA ADELA LIRA VARGAS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ JOEL E. CORRALES GARCÍA

ASESORES:

DR. SALVADOR VALLE GUADARRAMA

DRA. CECILIA B. PEÑA VALDIVIA

DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO ENERO 2012



**CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES
A BASE DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*OPUNTIA SPP.*) Y SU
EMPLEO COMO RECUBRIMIENTO EN CHIRIMOYA Y
NECTARINA MÍNIMAMENTE PROCESADA**

Tesis realizada por **Lira Vargas Alma Adela** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR: J. Joel Enrique Corrales García _____



ASESOR: Salvador Valle Guadarrama _____



ASESORA: Cecilia Beatriz Peña Valdivia _____



ASESORA: M. Andrea Trejo Márquez _____





DEDICATORIA

*Dedico esta tesis con mucho cariño, respeto, admiración y gratitud a mi difunto esposo **Efrén Escobedo Avilés** por haberme dado su amor, comprensión, apoyo, confianza, cuidados, consejos e infinidad de valores que necesite para poder lograr esta meta tanto mía como de él. Le agradezco haber compartido parte de su vida conmigo y haber estado junto a mí en muchas situaciones, le agradezco haber sido mi amigo y principalmente le agradezco haber sido mi esposo y un amor en mi vida.*



AGRADECIMIENTOS

A la Vida y a Dios por otorgarme la oportunidad de tener y ser lo que soy y por cumplir una meta más del camino.

Al Dr. Joel Corrales García por ser mi director de tesis, por ser amigo, por abrirme las puertas de su laboratorio, por ser un ejemplo a seguir, por creer en mí y brindarme su apoyo y confianza, por ser mi profesor, por su paciencia y por la oportunidad de trabajar con él.

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme brindado todos y cada uno de los conocimientos para mi formación profesional, por darme la oportunidad de conocer a cada uno de mis profesores a los cuales también les agradezco.

Al apoyo financiero de CONACYT por haberme brindado apoyo económico durante el trayecto de mi maestría.

A mis asesores (Salvador Valle Guadarrama, Cecilia Peña Valdíviva y Andrea Trejo Márquez) por haberme regalado un poco de su tiempo para leer, revisar y darme un consejo para la mejoría de este trabajo.

A mi madre por siempre estar conmigo, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado, por todos los consejos que me ha dado, por haberme brindado la vida y todo lo que me ha enseñado de ella y sobre todo por ser mi madre.

A mis hermanos Cecilia y Adrian por estar conmigo en las buenas y malas, por soportarme, por quererme y sentir que siempre puedo contar con ellos.

A Ernesto por estar con mi madre y ser su apoyo y el mío a pesar de tener muchas diferencias.

A toda mi familia por confiar en mí, por apoyarme y darme ánimos de terminar una meta más.

A Ariadna, Ana, Selene y Gabby por brindarme su amistad durante la carrera, durante la maestría y después de ellas, por sus consejos, por todos los momentos que pasamos juntas, por su apoyo, por tolerarme y por ser quien son.

A todos los compañeros de la maestría: Nicté, Rosy, Chuy, Elvia, Carlos, Jazmin, Nancy, Gus, Tavo, Carla, Lupita y Pilar por su amistad, por su apoyo durante toda mi estancia en Chapingo, por aprender de cada uno y por dejarme compartir este logro con ustedes.

Al Sr. Adrian por haberme ayudado en el uso de algunos equipos en el laboratorio, por ser quien es y por compartir algunas pláticas conmigo.



DATOS BIOGRÁFICOS

Alma Adela Lira Vargas realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan Campo 1 del 2003-1 a 2007-1 con promedio de 8.43, con título de tesis “Estudio comparativo de enzimas que degradan la pared celular en diferentes variedades de mango durante su maduración”.

CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A BASE DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*OPUNTIA SPP.*) Y SU EMPLEO COMO RECUBRIMIENTO EN CHIRIMOYA Y NECTARINA MÍNIMAMENTE PROCESADA

CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE FILMS BASED MUCILAGE OF CACTUS (*OPUNTIA SPP.*) AND ITS USE AS A COATING IN CHERIMOYA AND NECTARINE MINIMALLY PROCESSED

Lira Vargas Alma Adela y Corrales García José Joel Enrique

RESUMEN

En la actualidad las películas comestibles se han empleado para prolongar la vida de anaquel en los alimentos, controlan la pérdida de sabores y aromas volátiles y mejoran las propiedades mecánicas. El objetivo del presente estudio fue desarrollar y caracterizar películas biodegradables a base de dos mucílagos de nopal, a las que se les evaluaron propiedades de: fuerza de tensión, transparencia, permeabilidad a vapor de agua, permeabilidad a gases y estructura microscópica, así como su empleo como recubrimiento en chirimoya. La formulación de cada película así como la variante de mucílago tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en todas las propiedades evaluadas. La película conformada por 0.5 % de mucílago y 0.25 % de gretina fue la seleccionada para ser aplicada como recubrimiento en chirimoya, siendo eficaz esta formulación para reducir la pérdida de peso, mantener la firmeza, el color y el pH, pero no para producir sólidos solubles, azúcares totales y acidez.

Palabras clave: Películas comestibles, Carboximetilcelulosa, Gnetina, Cera de abeja, Propiedades mecánicas, Permeabilidad a vapor de agua, Permeabilidad a gases.

ABSTRACT

At present, edible films have been used to prolong the shelf life of food, control the loss of volatile flavors and aromas and improve the mechanical properties. The aim of this study was to develop and characterize biodegradable films based on two cactus mucilages, which properties were evaluated: tensile strength, transparency, permeability to water vapor, permeability to gases and microscopic structure. And its use as a coating on chirimoya. The formulation of each film as well as the variant of mucilage had significant effect ($P \leq 0.05$) for all properties evaluated. The film consists of 0.5% mucilage and 0.25% gelatin was selected to be applied as a coating on chirimoya, being efficient is making to reduce weight loss, maintain firmness, color and pH, but not to produce solid soluble total sugars and acidity.

Keywords: Edible film, Carboxymethylcellulose, Gelatin, Beeswax, Mechanic properties, Water vapor permeability, gas permeability.



ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTE	
2.1. <i>Generalidades del nopal</i>	6
2.1.1. Clasificación botánica	6
2.1.2. Descripción morfológica	8
2.1.3. Importancia económica	10
2.1.4. Variantes	11
2.1.5. Uso de nopal	14
2.1.6. Mucílago de nopal	16
2.2. <i>Tecnología post-cosecha para la conservación</i>	17
2.3. <i>Generalidades de películas y recubrimientos comestibles</i>	19
2.3.1. Definición	19
2.3.2. Función y Propiedades	20
2.3.2.1. Propiedades de barrera	20
2.3.2.2. Propiedades mecánicas	21
2.3.2.3. Propiedades de transporte	22
2.3.3. Componentes de formación	23
2.3.3.1. Aditivos	24
2.3.4. Aplicación	25
2.3.5. Efectos fisiológicos	30
2.4. <i>Generalidades de Chirimoya</i>	31
2.4.1. Clasificación botánica	31
2.4.2. Importancia económica	32
2.4.3. Tratamientos Post-cosecha	34
2.5. <i>Generalidades de Nectarina Mínimamente Procesada</i>	36
2.5.1. Clasificación botánica	36
2.5.2. Importancia económica	38
2.5.3. Productos mínimamente procesados	39
3. OBJETIVOS	
3.1. <i>Objetivo general</i>	43
3.2. <i>Objetivos particulares</i>	43
3.2.1. Extracción de mucílago	43
3.2.2. Elaboración de películas comestibles	43
3.2.3. Caracterización de películas comestibles	43
3.2.4. Aplicación de recubrimiento en chirimoya	44
3.2.5. Aplicación de recubrimiento en nectarina mínimamente procesada	44



4. MATERIAL Y MÉTODOS	46
4.1. <i>Secuencia metodológica</i>	47
4.2. <i>Desarrollo y Caracterización de películas comestibles</i>	47
4.2.1. Material biológico	47
4.2.2. Extracción de mucílago	48
4.2.3. Elaboración de películas comestibles	49
4.2.4. Caracterización de películas comestibles	49
4.2.4.1. Propiedades fisicoquímicas	50
4.2.4.2. Propiedades físicas	51
4.2.4.3. Propiedades funcionales	51
4.2.4.3.1. Propiedades de barrera	53
4.2.4.3.2. Propiedades mecánicas	54
4.2.4.4. Estructura microscópica	55
4.3. <i>Aplicación de película seleccionada en Chirimoya y Nectarina mínimamente procesada</i>	55
4.3.1. Material biológico	56
4.3.2. Tratamiento de la muestra	58
4.3.3. Parámetro fisiológico	58
4.3.3.1. Determinación de la tasa respiratoria	58
4.3.3.2. Determinación de la composición atmosférica en el envaso de las tarrinas de nectarina mínimamente procesada	59
4.3.4. Parámetros de calidad	59
4.3.4.1. Determinación de color	59
4.3.4.2. Determinación de pérdida de peso	60
4.3.4.3. Determinación de firmeza	60
4.3.4.4. Determinación de sólidos solubles	61
4.3.4.5. Determinación de pH	61
4.3.4.6. Determinación de acidez	62
4.3.5. Parámetros químicos	62
4.3.5.1. Determinación de azúcares totales	62
4.3.5.2. Determinación de etanol y acetaldehído	63
4.3.6. Análisis microbiológico	64
4.3.7. Análisis sensorial	65
4.4. <i>Análisis estadísticos</i>	
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
5.1. <i>Caracterización de películas comestibles</i>	67
5.1.1. Propiedades fisicoquímicas (viscosidad)	68
5.1.2. Propiedades físicas	68
5.1.2.1. Color	74
5.1.2.2. Transparencia	75
5.1.3. Propiedades de barrera	75
5.1.3.1. Espesor	76
5.1.3.1. Hinchamiento	78
5.1.3.1. Permeabilidad a vapor	80



5.1.3.1. Permeabilidad a gases	81
5.1.4. Propiedades mecánicas (esfuerzo de punción, de compresión y tensión)	84
5.1.5. Estructura microscópica	88
5.2. <i>Aplicación en chirimoya</i>	88
5.2.1. Parámetros de calidad en chirimoya sin tratar	88
5.2.2. Parámetro fisiológico	90
5.2.3. Parámetros de calidad	90
5.1.3.1. Color	94
5.1.3.2. Pérdida de peso	96
5.1.3.3. Firmeza	97
5.1.3.4. Sólidos solubles	98
5.1.3.5. pH	99
5.1.3.6. Acidez	100
5.2.4. Parámetros químicos	100
5.1.4.1. Azúcares totales	101
5.1.4.2. Etanol-acetaldehído	103
5.3. <i>Aplicación en nectarina mínimamente procesada</i>	103
5.3.1. Parámetros de calidad en nectarina entera	104
5.3.2. Parámetros fisiológicos	104
5.3.2.1. Respiración	105
5.3.2.2. Composición atmosférica en tarrinas	107
5.3.3. Parámetros de calidad	107
5.3.3.1. Color	111
5.3.3.2. Pérdida de peso	112
5.3.3.3. Firmeza	113
5.3.3.4. Sólidos solubles	115
5.3.3.5. pH	116
5.3.3.6. Acidez	117
5.3.4. Análisis microbiológico	120
5.3.5. Análisis sensorial	124
6. CONCLUSIONES	128
7. RECOMENDACIONES	130
8. REFERENCIAS	



ÍNDICE DE CUADROS

NOMBRE DEL CUADRO	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de nopal	7
Cuadro 2. Características de la planta de nopal.	8
Cuadro 3. Demanda mensual de la producción de nopalito en el Distrito Federal.	11
Cuadro 4. Especies de nopal cultivadas en México.	12
Cuadro 5. Diferentes usos del nopal a nivel industrial en diferentes sectores.	14
Cuadro 6. Alimentos diversos obtenidos de los cladodios de nopal.	15
Cuadro 7. Diferentes usos del mucílago de nopal en el sector alimentario.	17
Cuadro 8. Grupos, características funcionales y ejemplos de componentes de formación para películas y recubrimientos comestibles.	23
Cuadro 9. Aditivos utilizados en la formulación de recubrimientos y películas comestibles.	24
Cuadro 10. Formulación de recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas frescas.	26
Cuadro 11. Formulación de recubrimientos y películas comestibles usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas.	28
Cuadro 12. Clasificación taxonómica de chirimoya	32
Cuadro 13. Tratamientos postcosecha aplicados a chirimoya.	34
Cuadro 14. Periodo de cosecha de las variedades comerciales más importantes de nectarina en España.	38
Cuadro 15. Formulación de las películas comestibles de mucílago de nopal.	48
Cuadro 16. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados a chirimoya.	56
Cuadro 17. Escala hedónica de 5 puntos para diferentes características sensoriales.	64
Cuadro 18. Propiedades mecánicas de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal.	82
Cuadro 19. Caracterización física de las chirimoyas de estudio.	88
Cuadro 20. Caracterización física de las variedades de nectarina “Big Top” y “Arcela”.	103



ÍNDICE DE FIGURAS

NOMBRE DE LA FIGURA	Página
Figura 1. Planta del nopal <i>Opuntia Spp.</i>	6
Figura 2. Cultivo de la planta de nopal en zonas áridas.	7
Figura 3. Distribución por estados de la producción de nopalitos en México para el año 2010.	10
Figura 4. Mucílago deshidratado extraído del nopal.	16
Figura 5. Resumen de los diferentes métodos de conservación en frutas y vegetales.	18
Figura 6. Fruto de chirimoya	31
Figura 7. Especies de annonas de mayor importancia a) <i>Cherimola Mill</i> , b) <i>A. squamosa</i> , c) <i>A. reticulada</i> , d) <i>A. muricata</i> , e) Atemoya.	31
Figura 8. Distribución por estados de la producción de chirimoya en México para el año 2010.	33
Figura 9. Fruto de nectarina.	36
Figura 10. Características de la nectarina.	37
Figura 11. Principales zonas de producción en España.	38
Figura 12. Proceso de los productos mínimamente procesados.	40
Figura 13. Proceso de extracción del mucílago de nopal. a) troceado del nopal, b) cocción, c) centrifugado, d) sobrenadante de centrifugado, e) separación de mucílago con etanol, d) dializado y g) liofilizador utilizado para la deshidratación de mucílago.	48
Figura 14. Elaboración de soluciones para las películas comestibles.	49
Figura 15. Formación de películas comestibles.	49
Figura 16. Viscosímetro de Brookfield.	49
Figura 17. Colorímetro Hunter Lab.	50
Figura 18. Espectrofotómetro.	50
Figura 19. Micrómetro.	51
Figura 20. Hidratación de películas para determinación de hinchamiento.	51
Figura 21. Monitoreo de la cinética de pérdida de peso para la determinación de permeabilidad a vapor de agua.	52
Figura 22. Cromatógrafo de gases.	53
Figura 23. Determinación de pruebas mecánicas en películas comestibles.	54
Figura 24. Microscopio electrónico de barrido.	54
Figura 25. Chirimoya ocupada para la aplicación de recubrimientos comestibles.	55
Figura 26. A) Nectarina “Arcela” y B) Nectarina “Big Top” recién llegadas a la planta piloto del grupo de postrecolección y refrigeración.	55
Figura 27. Distintas fases del procesado mínimo en la nectarina.	57
Figura 28. Método estático para determinación de la actividad respiratoria.	58
Figura 29. Colorímetros para la medición del color.	59
Figura 30. Balanzas semianalíticas ocupadas en la determinación de la pérdida de peso.	60
Figura 31. Texturómetro utilizados en la determinación de la firmeza.	60



Figura 32. Refractómetros usados en la determinación de los sólidos totales.	61
Figura 33. Potenciómetros utilizados para la medición del pH.	61
Figura 34. Cuantificación de la acidez.	62
Figura 35. Cuantificación de azúcares totales.	63
Figura 36. Distintas fases de determinación de los recuentos microbiológicos.	64
Figura 37. Realización de la evaluación sensorial.	65
Figura 38. Viscosidad (MPa*s) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	67
Figura 39. Luminosidad de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	69
Figura 40. <i>Chroma</i> de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	70
Figura 41. <i>Hue</i> de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	71
Figura 42. Fotografías de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml.	73
Figura 43. Transparencia de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	74
Figura 44. Espesor (mm) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	75
Figura 45. Hinchamiento (%) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	77
Figura 46. Permeabilidad a vapor de agua (g/m*s*Pa) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).	78
Figura 47. Permeabilidad a gases (g/m*s*Pa) de diferentes películas comestibles a	80



base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan \pm SD de 6 películas. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Figura 48. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de diferentes películas elaboradas a base de mucílago de nopal en su sección transversal y dos tomas superficiales a 1000x, 1500x y 500x, respectivamente. 85

Figura 49. Apariencia visual de las chirimoyas estudiadas. 88

Figura 50. Evolución de la tasa respiratoria (mg CO₂/g de PF*h) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 89

Figura 51. Evolución de la luminosidad en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 91

Figura 52. Evolución del *chroma* en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 92

Figura 53. Evolución de *hue* en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 93

Figura 54. Evolución de apariencia visual en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 94

Figura 55. Evolución de la pérdida de peso (%) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 95

Figura 56. Evolución de la firmeza (N) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 96

Figura 57. Evolución de sólidos solubles (°Brix) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 97

Figura 58. Evolución del pH en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 98

Figura 59. Evolución de la acidez (mg de ac. cítrico/100g de PF) en chirimoyas 99

sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD.

Figura 60. Evolución de azúcares totales (g/100g de PF) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 100

Figura 61. Evolución del contenido de etanol (mg/g) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos. S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos \pm SD. 102

Figura 62. Apariencia visual de las nectarinas estudiadas. 103

Figura 63. Cambios de la tasa respiratoria en nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 104

Figura 64. Cambios en la composición atmosférica de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 106

Figura 65. Evolución en luminosidad de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 107

Figura 66. Evolución en *chroma* de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 108

Figura 67. Evolución en *hue* de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 109

Figura 68. Evolución de la apariencia visual de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 110

Figura 69. Evolución de pérdida de peso (%) de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de 111

mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD.

Figura 70. Evolución de firmeza (N) de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 112

Figura 71. Cambios de sólidos solubles (°Brix) de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 114

Figura 72. Evolución de pH de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 115

Figura 73. Evolución de acidez (mg de Ácido cítrico/100g PF) de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 117

Figura 74. Evolución microbiológica (log UFC/g de levaduras y mesofilos) de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 118

Figura 75. Evolución en la evaluación sensorial de nectarina “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina. Las barras verticales representan la media de 6 muestras \pm SD. 121



INTRODUCCIÓN





1. INTRODUCCIÓN

La gran diversidad de cactáceas con la que cuenta nuestro país representa un patrimonio de incalculable valor. El nopal y los frutos de cactáceas son en su mayoría comestibles, entre ellas tenemos nopal, tunas dulces, xoconostles (tunas ácidas), garambullos, pitayas, pitahayas, quiotillas, tunillos y teteches, entre otros. El valor alimenticio de estos frutos se debe a su alto contenido de agua y azúcares. Su aprovechamiento agroindustrial es escaso por la carencia de estudios fisiológicos postcosecha, la aplicación de métodos de almacenamiento y la transferencia de tecnologías para su manejo y conservación (Guzmán *et al.*, 2002).

El nopal es una planta de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* de la familia *Cactaceae*, originaria del Continente Americano. México posee alrededor de 300 variantes de *Opuntia*, de las cuales más de 40 se destinan a la producción de nopalito. Las especies de *Opuntia* son consumidas como fruta, verdura y forraje, son utilizadas como cerco vivo y materia prima para la elaboración de medicamentos entre otros usos (Granados y Castaneda, 1996).

Una forma de aprovechar el nopal agroindustrialmente, es mediante la extracción del mucílago. En las cactáceas el mucílago se localiza en un tipo de células vesiculares del parénquima, está formado por un grupo de polisacáridos complejos, lineales con peso molecular de 2.3×10^4 , está compuesto principalmente de arabinosa, galactosa, ácido galacturónico, rammnosa y xilosa que tienen la propiedad de embeber gran cantidad de agua, con lo que se mantiene disueltos y dispersos en ella en forma de coloides viscosos o gelatinosos (Corrales, 2007; Sáenz *et al.*, 2006; Sepúlveda *et al.*, 2007).

Los mucilagos de nopal, por su poder viscosante pueden reemplazar algunos hidrocoloides de amplio uso actualmente. Resultados interesantes acerca de su aplicación, tienen relación con la estabilidad de espumas alimenticias y como sustituto de espesantes (Sáenz *et al.*, 2004)

La concentración alta de mucílago en algunas especies de nopal, la conformación polimérica y las propiedades reológicas de este compuesto, permiten sugerir un potencial





INTRODUCCIÓN



considerable de estas cactáceas como materia prima para la obtención de aditivos mejoradores de la textura de los alimentos o elaboración de películas comestibles (Medina-Torres *et al.*, 2000).

Las películas o recubrimientos comestibles son descritas como una capa fina a base de un material comestible que se forma sobre el alimento o se aplica ya preformada en la superficie de un alimento a manera de cubierta, con el propósito de extender la vida de anaquel de los alimentos (McHugh, 2000; Rojas-Grau *et al.*, 2007).

Los ingredientes principales para la elaboración de películas comestibles son los lípidos, resinas, polisacáridos y proteínas. Las formulaciones pueden incluir materiales plastificantes como los alcoholes polihídricos, ceras y aceites, que se adicionan para mejorar la flexibilidad y elongación de las sustancias poliméricas; agentes de superficie activa (surfactantes) y emulsificantes que reducen la actividad superficial del agua y la tasa de pérdida de humedad en los productos alimentarios. Los agentes de liberación y lubricantes se añaden para prevenir la pegajosidad de los alimentos cubiertos, éstos incluyen a las grasas y aceites, emulsificantes, polietilenglicol y silicona (Varela y Fiszman, 2011).

En la actualidad existe una fuerte tendencia hacia un desarrollo tecnológico de conservación de productos hortofrutícolas en atmósfera modificada basada en recubrimientos comestibles. Otra motivación para su uso lo constituye la exigencia de ciertos sectores de mercado que demandan productos frescos y listos para el consumo, por lo que se espera reciban un procesamiento que, aunque ligero, altera distintos procesos fisiológicos naturales del material.

Debido a que en México existe gran diversidad de nopales, los cuales en temporada de alta producción llegan a tener abatido su precio por la gran oferta de éstos hacen incosteable su producción. Por otro lado los estudios de mucílago de nopal en la elaboración de películas biodegradables existen pero son muy escasos en el sentido de la formulación y caracterización de las películas, así como el uso de diferentes mucílagos de nopal, por lo





INTRODUCCIÓN

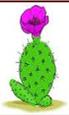


que en el presente trabajo se plantea el desarrollo y caracterización de películas comestibles preparadas con mucílago de nopal verdura de dos variantes de mayor importancia socioeconómica y otras macromoléculas y compuestos que contribuyen a las características finales de las películas, con la finalidad de aportar al sector agroalimentario opciones para incrementar la vida de anaquel de productos perecederos y dar opción de uso a los productores de esta cactacea. Para lo cual será necesario estudiar sus propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas, así como evaluar el efecto que estas proporcionan como recubrimiento en chirimoya entera y nectarina mínimamente procesada





ANTECEDENTES



2. ANTECEDENTES

2.1. GENERALIDADES DEL NOPAL

El nopal pertenece a la familia de las *Cactaceas* comúnmente conocidas como cactáceas o cactus. Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y actualmente se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, silvestres y cultivados en el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan (**Figura 1**) (Granados y Castañeda, 1996; Sáenz *et al.*, 2006).



Figura 1. Planta del nopal *Opuntia Spp.*
Fuente: Un blog verde (2010).

El interés del ser humano por los nopales data de miles de años. Su origen e historia están íntimamente relacionados con las civilizaciones mesoamericanas antiguas, en particular con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que iniciaron su cultivo formal (Guzmán *et al.*, 2002).

2.1.1. Clasificación botánica

Las cactáceas son plantas que caracterizan los paisajes mexicanos, se distribuyen principalmente en las zonas áridas aunque una gran diversidad de especies se encuentran en las zonas tropicales, subtropicales y templadas. En México encontramos el mayor número



de géneros y especies de toda América, vale la pena mencionar que de las 1600 especies que forman esta familia, en México habitan 1088 (Ríos y Quintanar, 2004).



Figura 2. Cultivo de la planta de nopal en zonas áridas
Fuente: Mi Morelia (2011).

En México se le llama nopal a varias especies del género “*Opuntia*” de la familia “*Cactaceae*”. Sin embargo, según Granados y Castañeda (1996) existen dos géneros *Opuntia* y *Nopalea*. El nopal, pertenece a la posición taxonómica siguiente (**Cuadro 1**):

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del nopal.

SubReino:	<i>Embryophita</i>
División:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Dicotyledonea</i>
Subclase:	<i>Dialipetalas</i>
Orden:	<i>Opuntiales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Subfamilia:	<i>Opuntioideae</i>
Tribu:	<i>Opuntiae</i>
Genero:	<i>Opuntia</i> y <i>Nopalea</i>

Fuente: Opuntia (2011).

El género *Opuntia* en México presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies. El género *Nopalea* presenta 10 especies de las cuáles la “*Nopalea Cochenillifera*” se utiliza como



nopal verdura. En resumen de las 104 especies de *Opuntia* y 10 de *Nopalea* se utilizan para forraje 15 especies, 5 para fruta y 3 para verdura (2 de *Opuntia* y una de *Nopalea*) (Ríos y Quintanar, 2004).

2.1.2. Descripción morfológica

El nopal, al igual que casi todas las cactáceas, es una planta que no tiene hojas. Son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3.5 a 5 m de altura, pero a continuación se describen las características de la planta de nopal (**Cuadro 2**) (Sudzuki, 1999).

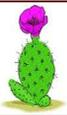
Cuadro 2. Características de la planta de nopal.

Parte de la planta	Característica
 <p>^a Sistema Radicular</p>	<p>Es una parte extensa, densamente ramificada, rica en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización.</p>
 <p>^b Tallo (cladodios o pencas)</p>	<p>Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alargada alcanzando hasta 40-50 cm de longitud. Cuando miden 10-25 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura, son una fuente importante de fibra, de calcio y de mucílago. En los cladodios se realiza la fotosíntesis, ya que los tallos modificados reemplazan a las hojas en esta función; presentan gran capacidad para almacenar agua (mucílago), ya que poseen abundante parénquima lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía.</p>

Cuadro 2. Características de la planta de nopal.
(continuación)

Parte de la planta	Característica
 <p>^c Aréolas y Espinas</p>	<p>Las aréolas se encuentran en ambas caras del cladodio se presentan en forma de yemas que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales.</p> <p>Presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios o en México comúnmente se llaman aguates) y las grandes que algunos autores llaman hojas modificadas.</p>
 <p>^d Fruto</p>	<p>El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable, los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores, carnosas y dulces que generalmente son conocidos como tunas.</p>
 <p>^e Flores</p>	<p>Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: hay rojas, amarillas, blancas, entre otros colores.</p>

Fuente: Granados y Castañeda (1996); Sudzuki (1999); Majdoub *et al.*, 2001; Ochoa (2003); Sáenz *et al.* (2004); Rios y Quintanar (2004). Figuras recopiladas de: ^a Flickr (2011); ^b Ecoosfera (2010); ^c Trinkinhuelas (2007); ^d Martínez (2008) y ^e Emagister (2011).



2.1.3. Importancia económica

México es el centro de origen del nopal, la mayoría de las 104 especies del género *Opuntia* crecen de manera silvestre en este país y 60 son endémicas del mismo (Labra *et al.*, 2003; Griffith, 2004). En el 2010 la producción fue de 723,815.42 t, quedó en 12° lugar entre los productos hortofrutícolas con mayor preferencia en el país después de naranja, chile, verde, tomate rojo, plátano, limón, mango, papa, café, cereza, cebolla, aguacate y sandia, y su consumo per cápita fue de 6.36 kg por año (SIAP-SAGARPA, 2011).

En México 17 estados producen nopalitos en una área de 12,472.59 ha. Entre ellos, en el Distrito Federal se cultivan 4,437 ha y se produce 41 % del total, en Morelos se cultivan 3,255 ha y la producción representa el 38 % del total (**Figura 3**).

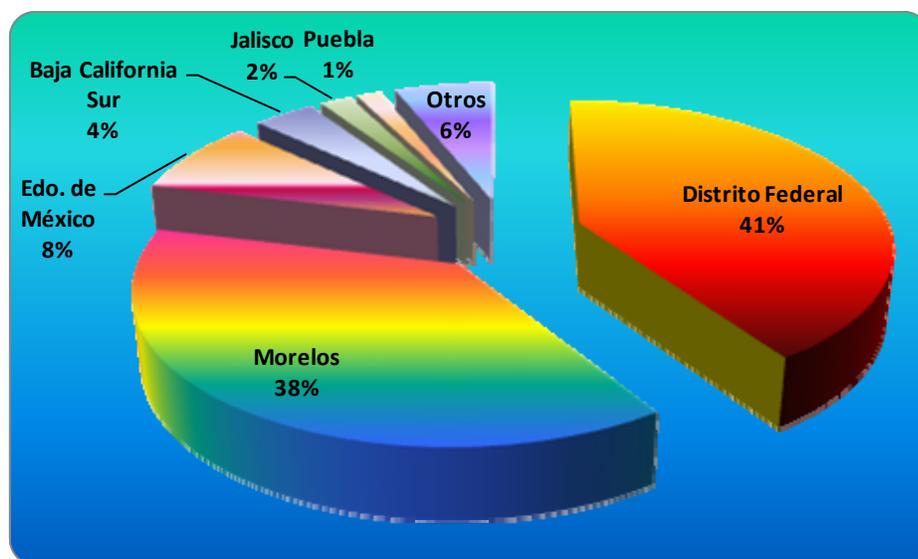


Figura 3. Distribución por estados de la producción nacional de nopalitos en México para el año 2010.

Fuente: SIAP-SAGARPA (2011).

El nopal tiene una producción de temporal (**Cuadro 3**), lo que a la vez repercute en los precios del nopalito en todos los mercados del país (Flores *et al.*, 1995).



Cuadro 3. Demanda mensual de la producción de nopalito en el Distrito Federal.

Mes	Demanda	Mes	Demanda
Enero	Baja	Julio	Alta
Febrero	Baja	Agosto	Alta
Marzo	Media	Septiembre	Media
Abril	Media	Octubre	Media
Mayo	Alta	Noviembre	Baja
Junio	Alta	Diciembre	Baja

Fuente: Flores *et al.*, (1995).

La demanda del nopalito en México, se ubica en la región de los estados del centro del país, en el norte la demanda es mucho menor y casi nula en las costas (Flores, 2001).

2.1.4. Variantes

La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos (Sáenz *et al.*, 2006).

Se conocen casi 300 variantes del género *Opuntia*. El nopal es endémico de Centro América y existen 258 variantes reconocidas, 100 de las cuáles se encuentran en México, quién cuenta con una superficie aproximada de 10,000 ha de plantaciones especializadas en nopal para consumo humano (Rios y Quintana, 2004).

Las características de estas variantes son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos y flores y en otras características botánicas (Flores y Olvera 1994).

Algunas de las variantes cultivadas en México son (**Cuadro 4**):



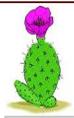


ANTECEDENTES



Cuadro 4. Variantes de nopal cultivadas en México.

Variante	Especie	Uso	Características	Estado de producción	Época de brotación
			Sin Espinas		
					
Milpa Alta	<i>O. ficus-indica I</i>	V /FO	Principal variante en México	Distrito Federal, Edo. de Méx. y Morelos	
Copena V-1	<i>Opuntia spp.</i>	F/V	Se caracteriza por ser suculenta, color intenso, buen sabor y baja acidez.	Edo. de Méx., Guanajuato y Baja California.	Febrero-Junio Septiembre- Noviembre
Copena F-1	<i>Opuntia spp.</i>	FO/V	Color verde intenso con 11.8 areolas, 1 espina, 0.8cm de grosor y tiene pocas gloquidas.	Edo. de Méx., Tlaxcala, Puebla y Baja California.	
Tovarito	<i>Opuntia spp.</i>	V	Color verde bandera, 152.4 areolas, 1 espina blanca, 0.5cm de longitud y tiene pocas gloquidas.	Sonora.	
Texas	<i>Nopalea spp.</i>	V	Color verde pálido, 67.9 aréolas, 0 espinas, presenta pocas gloquidas.	San Luis Potosí	Marzo-Mayo Septiembre- Octubre
Temazuchale	<i>Nopalea cochellinitera</i>	V	-----	San Luis Potosí	-----





ANTECEDENTES

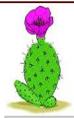


Cuadro 4. Variantes de nopal cultivadas en México.
(Continuación)

Variante	Especie	Uso	Características	Estado de producción	Época de brotación
Con espinas					
					
Toluca	<i>Opuntia spp.</i>	V	Color verde bandera, 152.4 areolas, 1-2 espinas blancas, 0.3-0.6cm de longitud, presenta pocas gloquidas.	Edo. de Méx.	Marzo-Mayo Octubre- Noviembre
Atlixco	<i>Opuntia spp.</i>	V	Color verde intenso con 185.3 areolas hundidas, tienen de 1-4 espinas por aréola y presentan pocas gloquidas.	Puebla y Edo. de Méx.	Febrero-Junio Septiembre- Noviembre
Polotitlán	<i>Opuntia spp.</i>	V	Color verde bandera, 166.2 aréolas, 1-3 espinas blancas, con longitud de 0.3-0.7cm, presenta pocas gloquidas.	Edo. de Méx.	
Blanco y Negro	<i>O. ficus-indica</i>	V	-----	Michoacán/Guanajuato y en el Bajío	-----

Donde: V = verdura y FO = forraje

Fuente: Flores y Olvera (1994); Talavera (1997); Mondragón (2002) y Ríos y Quintanar (2004).





2.1.5. Usos del nopal

Conservar los productos hortofrutícolas en buen estado durante más tiempo para poder acceder a mercados diversos y distantes, obtener productos de mayor valor agregado y mayor potencial de comercialización, ampliar la vida de anaquel y la disponibilidad del producto a lo largo de todo el año, regular los precios en caso de sobre oferta en el mercado del producto en fresco, así como generar empleo son, entre otros aspectos, las principales ventajas y razones de ser de la industrialización de la producción agropecuaria (Corrales y Flores, 2003; Corrales, 2007).

El procesamiento e industrialización del nopal resulta de gran interés, dado que es tecnológicamente posible y que puede ser económicamente viable y rentable dependiendo de algunos factores mercadotécnicos y organizacionales; además constituye un beneficio para los productores agrícolas marginales de las zonas áridas. Las diferentes aplicaciones se pueden ver en el **Cuadro 5** (Sáenz *et al.*, 2006).

Cuadro 5. Diferentes usos del nopal a nivel industrial en diferentes sectores.

Sector	Uso
Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano	+ Alimentos diversos + Bebidas alcohólicas y analcohólicas
Agroindustria de alimentos para animales	+ Suplementos + Piensos de cladodios + Desechos de la industria procesadora de tuna + Forraje
Industria farmacéutica	+ Protectores gástricos de extractos de mucílago + Capsulas + Tabletas en polvo + Harinas
Industria cosmética	+ Cremas + Shampoos + Lociones + Mascarillas + Jabones
Industria de suplementos alimenticios	+ Fibra + Harina + Suplemento





INTRODUCCIÓN



Cuadro 5. Diferentes usos del nopal a nivel industrial en diferentes sectores.

(Continuación)

Sector	Uso
Industria productora de aditivos naturales	+ Gomas (Hidrocoloides-“mucilago”) + Colorantes
Sector de la construcción	+ Compuestos ligantes de los cladodios
Sector energético	+ Producción de gas a partir de pencas
Sector turismo	+ Artesanías
Otros	+ Mejoradores de drenajes de suelo + Clarificador de agua + Cerco + Adherente de pinturas + Introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua

Fuente: Sáenz (2004); Stintzing, y Carle (2005); Sáenz *et al.* (2006).

Los cladodios, por su parte tienen interés desde el punto de vista industrial ya que cuando los brotes son tiernos (10-15 cm) se usan para la producción de nopalitas, y cuando están parcialmente lignificados (cladodios de 2-3 años), para la producción de harinas y otros productos (**Cuadro 6**) (Sáenz, 2006).

Cuadro 6. Alimentos diversos obtenidos de los cladodios de nopal.

Forma de conservación	Producto	Subproductos
Mínimamente procesados	+ Nopalitos	
Deshidratados	+ Productos deshidratados + Harinas	
Procesados	+ Jugos y néctares + Mermeladas y jaleas + Encurtidos y salmueras + Confites + Salsas + Tortillas	

Fuente: Corrales y Flores (2003); Sáenz (2006); Guzmán y Chávez (2007).



Últimamente la tendencia general en el consumo de alimentos es buscar un buen aporte de nutrientes y que además los alimentos sean beneficiosos para la salud. En este contexto existe una nueva gama de alimentos: son los llamados alimentos funcionales, de los que se espera no solo un aporte nutritivo, sino un beneficio para la salud y para la prevención de enfermedades (Sáenz, 2004).

2.1.6. Mucílago de nopal

El mucílago de nopal es un polisacárido complejo de alto peso molecular ($2.3 \times 10^4 - 3 \times 10^6$ g/mol), formado de L-arabinosa, D-galactosa, D-xilosa, D-ácido galacturónico y L-ramnosa. Es considerado un hidrocoloide, por su capacidad para retener agua y formar coloides viscosos o gelatinosos; forma parte, a su vez, de la fibra dietética (Sáenz *et al.*, 2004; Guzmán y Chávez, 2007; León-Martínez *et al.*, 2011).

Los mucílagos se distribuyen en los cladodios y la fruta (cáscara y pulpa) (Álvarez y Peña-Valdivia 2009; López-Palacios *et al.*, 2011), estos polisacáridos hidratados son susceptibles al ataque microbiano debido a su composición y actividad alta de agua (>0.8), su vida útil es de 2 a 3 días a 25 °C, por lo que para su conservación es conveniente deshidratarlos (**Figura 4**) (Sepulveda *et al.*, 2007; León-Martínez *et al.*, 2010).



Figura 4. Mucílagos deshidratados extraído del nopal
Fuente: Sáenz (2006).

Algunos usos de los mucílagos se muestran en el **Cuadro 7**:





Cuadro 7. Diferentes usos del mucílago de nopal en el sector alimentario.

Usos	Referencia
+ Agente espesante en la industria de alimentos y farmacéutica	Cárdenas <i>et al.</i> (1997); Medina-Torres <i>et al.</i> (2000); Goycoolea <i>et al.</i> (2000); Sepúlveda <i>et al.</i> (2007) y Sáenz <i>et al.</i> (2004).
+ Reemplazante de grasa en diversos alimentos	McCarthy (1984), citado por Cárdenas <i>et al.</i> (1997)
+ Ligante de sabor	
+ Agente emulsificante	Rwashda (1993), citado por Garti (1999)
+ Mejorador de textura	
+ Control de cristalización	
+ Estabilizador de suspensiones	Espinoza (2002) citado por Sáenz (2006)
+ Inhibidos de sinéresis	
+ Formación de geles	
+ Mejorador en las propiedades de batido de huevo	
+ Agente floculante	BeMiller <i>et al.</i> (1993) citado por Corrales y Flores (2003).
+ Abrillantador por electrodeposición de níquel y otros metales	
+ Purificador de agua	Miller <i>et al.</i> , 2008
+ Películas comestibles	Del Valle <i>et al.</i> , 2005

2.2. TECNOLOGÍA EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La conservación de los alimentos ha sido una de las preocupaciones fundamentales de la humanidad; desde el principio de su existencia tuvo que buscar la manera de hacerlo durante las épocas de abundancia para sobrevivir en la época de escasez. En la actualidad, este punto tiene mayor importancia, ya que las poblaciones urbanas necesitan cantidades enormes de alimentos, producidos y transformados sitios lejanos (Lück y Martín, 2000).

La conservación de los alimentos, comprende acciones para prevenir o retardar el deterioro y la descomposición de los alimentos y mantener sus propiedades y naturaleza el mayor tiempo posible. Lo que ha originado el desarrollo de diferentes alternativas tecnológicas para la conservación. (Shafiur, 2003).





INTRODUCCIÓN



Las frutas frescas y en estado natural, son susceptibles de alteraciones, desórdenes y daños. Además, las frutas sólo se producen en cierta época; de ahí que sea necesario conservarlas para disponer de ellas durante todo el año. Dado que las frutas y hortalizas continúan perdiendo agua después de ser cosechadas, se han desarrollado métodos de conservación para prevenir las pérdidas postcosecha, alargar su vida de anaquel durante su almacenamiento, disminuir pérdidas económicas, mantener su apariencia, textura (turgencia, firmeza), color, composición y otras características (**Figura 5**) (Barreiro y Sandoval, 2006).

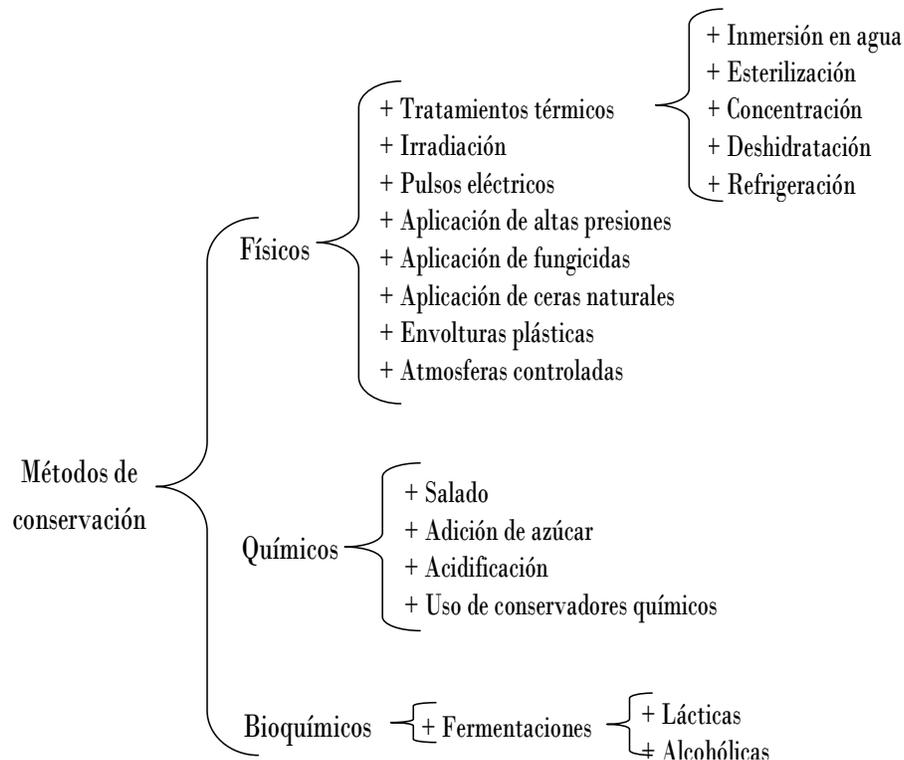


Figura 5: Resumen de los métodos de conservación de productos vegetales.

Fuente: Barreiro y Sandoval (2006).

Actualmente ha incrementado el interés por el desarrollo de películas y cubiertas comestibles para incrementar la conservación de alimentos, debido a las exigencias de los consumidores, para reducir las consecuencias ambientales del abuso de plásticos para el empaquetado y distribución de los productos (Farris *et al.*, 2009; Cerqueira *et al.*, 2011).





2.3. GENERALIDADES DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

La aplicación de recubrimientos y películas comestibles para ampliar la vida de anaquel de productos frescos, troceados y mínimamente procesados, parece reciente, sin embargo, data de los siglos (XII y XIII). En ese tiempo, en China se realizaba la inmersión de naranjas y limas en cera para retardar la pérdida de humedad (Bosquez-Molina *et al.*, 2000).

En el siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina preservar carne y otros alimentos; alrededor de los años treinta ya se encontraban comercialmente disponibles ceras de parafinas que se derretían con calor para el recubrimiento de cítricos, y al inicio de los cincuenta se desarrollaron emulsiones aceite-agua con cera de carnauba para el recubrimiento de frutas y hortalizas frescas. A partir de los cincuenta y hasta mediados de los años ochenta se realizaron numerosos estudios en este campo. Desde entonces la investigación se ha orientando al desarrollo de recubrimientos específicos para determinado tipo de alimento (Bosquez-Molina *et al.*, 2000).

2.3.1. Definición

Los recubrimientos comestibles (RC) son definidos como capas delgadas de material comestible, formados como un revestimiento sobre el alimento, mientras que las películas comestibles (PC) son capas preformadas y delgadas, elaboradas con material comestible y las cuales una vez elaboradas puede ser colocadas sobre el alimento o entre los componentes del mismo (McHugh, 2000; Rojas-Grau *et al.*, 2007).

Martín-Polo *et al.*, (1992) definieron a los RC como capas delgadas de cualquier material que pueda ser ingerido por el consumidor, que proveen una barrera al transporte de masa en ó a través de alimento fresco o manufacturado.

Carrasco *et al.*, (2002) manejaron un concepto que reúne las dos definiciones anteriores: los RC son capas delgadas de materiales biopoliméricos (proteínas, polisacáridos o lípidos), que son aplicados sobre la superficie de un alimento en adición o reemplazo de la corteza





natural, y que se comportan principalmente como barrera que reducen la difusión de gases (O_2 , CO_2 , etileno y vapor de agua) y permiten extender la vida útil del alimento.

La principal diferencia entre los RC y las PC, es que los RC son aplicados en forma líquida sobre el alimento, generalmente por inmersión del producto en una solución, y las PC son en primer lugar preformadas como láminas sólidas aplicadas posteriormente en forma de recubrimiento sobre el alimento (Rojas-Grau *et al.*, 2007).

2.3.2. Función y propiedades

Según Kester y Fennema (1986) (citado por Rojas-Grau *et al.*, 2007) y Olivas y Barbosa-Cánovas (2005), los RC producen una atmósfera modificada en la fruta, donde tienen la función de reducir el deterioro, retrasar la maduración, retardar la migración de humedad (reducen pérdida de agua), retardar los cambios de color, mejorar la apariencia, controlar el transporte de gases (O_2 , CO_2 y etileno), retener componentes volátiles (disminuir la pérdida de aromas), servir de vehículo de aditivos (transportar compuestos antioxidantes, estabilizantes, antimicrobianos u otros), mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento e impartir mayor integridad a la estructura del fruto en cuestión.

2.3.2.1. Propiedades de barrera

La característica funcional más importante del recubrimiento comestible para muchas aplicaciones es la resistencia a la migración de humedad e impedir la transferencia de humedad entre el alimento y la atmósfera circundante o entre dos componentes de un producto alimenticio heterogéneo. La deshidratación superficial constituye uno de los principales problemas en el mantenimiento de la calidad de los vegetales tanto frescos como mínimamente procesados. La pérdida de agua se traduce en pérdida de peso y de turgor del producto con la disminución consecuente de la calidad durante su comercialización. La naturaleza del RC o PC empleado desempeña un papel importante: a





mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua (WVP) e hinchamiento (Martín-Belloso *et al.*, 2005; Atarés *et al.*, 2010; Shih *et al.*, 2011).

La WVP, es una medición de la tendencia de adsorber, transferir, y desorber vapor de agua de un lado de la película al otro, donde los dos lados de la película están expuestos a diferentes concentraciones del permeante. Específicamente, la cantidad de un permeante dado a ser transferido por unidad de tiempo a través de una área de la película por unidad de fuerza motriz del permeante y por espesor (Bosquez-Molina *et al.*, 2010; Al-Hassan y Norziah, 2011; Bourbon *et al.*, 2011).

El hinchamiento puede causar cambios conformacionales en la microestructura de la película que puede incrementar la sorción de humedad (modificar la eficiencia de la barrera) y también abre la estructura del polímero, con el incremento del flux (WVTR) y por consiguiente de la WVP (Wiles *et al.*, 2000; Avila *et al.*, 2010).

Los RC o PC sobre frutas y hortalizas permiten la producción de una atmósfera modificada, con lo que se modifica el transporte de gases; sin embargo, continúan respirando, por lo que la aplicación de los RC deben permitir una modificación adecuada del entorno gaseoso para evitar anaerobiosis. Debido a esto es necesario conocer previamente tanto las características del producto que se quiere recubrir como del material para la elaboración del recubrimiento (Frabra *et al.*, 2009; Bonilla *et al.*, 2011; Bourbon *et al.*, 2011).

2.3.2.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los RC o PC, como la resistencia a esfuerzos mecánicos de tensión y compresión dependen del tipo de material empleado en su elaboración y específicamente de su cohesión estructural para formar enlaces moleculares fuertes y numerosos entre las cadenas poliméricas, y así disminuir la separación molecular y aumentar su cohesividad (Al-Hassan y Norziah, 2011; Bourbon *et al.*, 2011).

Por lo tanto, la elección de esas sustancias y/o aditivos activos están totalmente relacionadas con la función de la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el





método de aplicación, ya que según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) (citado por Rojas-Grau *et al.*, 2007), cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas y hortalizas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y los tejidos vegetales. La cohesión de los recubrimientos comestibles gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. La adhesión alta asegura mayor duración del recubrimiento en la superficie de la fruta u hortaliza (Al-Hassan y Norziah, 2011).

Las características mecánicas (fuerza de tensión y elongación) deben ser adecuadas para mantener la integridad a través de su producción y prácticas de manejo, dado que las fracturas pueden destruir las propiedades de barrera (Jiménez *et al.*, 2010; Shih *et al.*, 2011).

La elongación es el porcentaje de cambio de la longitud original de la película al punto de fractura, es una medida cuantitativa que representa la resistencia de la película para ser estirada y es la relación entre la elongación al momento de la ruptura sobre la longitud inicial del espécimen por 100 (Chang *et al.*, 2000; Kaya, 2000; Mauer *et al.*, 2000). La fuerza de tensión es una medida de la fuerza de la película, se refiere específicamente a la fuerza máxima de tensión (fuerza/área transversal) que el material puede sufrir antes de la fractura, de tensión y expresa una medida de la integridad y durabilidad en el uso potencial de películas (Chang *et al.*, 2000; Berger *et al.*, 2004).

2.3.2.3. Propiedades de transporte

Las propiedades de transporte principalmente se dan en las frutas y hortalizas cortadas, ya que el uso potencial de los RC o PC en éstas se realiza con la finalidad de retener y transportar aditivos, tales como: antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento (Jiménez *et al.*, 2010; Falguera *et al.*, 2011).



2.3.3. Componentes de formación

Los materiales que pueden ser usados para formar películas comestibles incluyen: hidrocoloides (proteínas y polisacáridos), lípidos y sus compuestos (combinación de estos materiales). Estos tipos de materiales no solo son inherentemente biodegradables sino que son también altamente reciclables (**Cuadro 8**) (Pastor *et al.*, 2005).

Cuadro 8. Grupos, características funcionales y ejemplos de componentes de formación para recubrimientos y películas comestibles.

Grupo	Característica que proporcionan a los recubrimientos y películas comestibles	Ejemplos de algunos componentes
Hidrocoloides	Polisacárido Por lo general tienen buenas propiedades mecánicas y son buena barrera para los gases (O ₂ y CO ₂), tienen una relativa resistencia a la transmisión de vapor de agua, pueden adherirse a diversas superficies, son fuertes y claras	Maltodextrinas, metilcelulosa, carboximetilcelulosa, quitosan, pectina, alginato, gelana, almidón y mucílagos
	Proteína Tienen buenas propiedades mecánicas y son buena barrera para los gases (O ₂ y CO ₂), pero no para la transmisión de vapor de agua, son susceptibles a los cambios de pH.	Caseína, proteína aislada o concentrada de suero lácteo, gluten de trigo, zeína y proteína de soya, entre otras,
Lípidos	Formadas por compuestos hidrofóbicos y no poliméricos. Tienen buenas propiedades de barrera a la humedad, pero con poca capacidad para formar RC y PC, reducen la transpiración, deshidratación y pueden mejorar el brillo	Lecitina, cera de abeja, candelilla, carnauba, parafina, monoglicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido oleico, ácido láurico, o ésteres de ácidos grasas, ácido palmítico, capríónico o bohémico, etc.
Compuestos	Formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos que aprovechan las ventajas de cada	Combinación de dos o más elementos de los arriba



grupo y disminuyen los inconvenientes. En general los lípidos aportan resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides, permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂, la duración del RC o PC y la buena cohesión estructural o integridad del mismo. mencionados.

Fuente: Pastor *et al.*, 2005; Lin y Zhao, 2007; Rinaudo, 2008; Rojas-Grau *et al.*, 2009; Varela y Fiszman, 2011; Falguera *et al.*, 2011, Adeodato *et al.*, 2011.

2.3.3.1. Aditivos

Los aditivos en los RC o PC son todas aquellos materiales que se pueden incorporar en la formulación de éstas, lo cuales van tener una influencia en las propiedades de barrera, mecánicas, de transporte, así como efectos en su funcionalidad protectora y sensorial (Cuadro 9).

Cuadro 9. Aditivos utilizados en la formulación de recubrimientos y películas comestibles.

Grupo	Característica funcional	Ejemplo de aditivos
Plastificantes	Los plastificantes son compuestos orgánicos de bajo peso molecular que se adicionan a los polímeros para suavizarlos, afectan las propiedades mecánicas ya que actúan reduciendo la temperatura de transición vítrea de polímeros, disminuyendo su cristalinidad, o su temperatura de fusión. Se emplean para aumentar la facilidad de manejo, flexibilidad y extensibilidad del polímero, modifican la capacidad de atracción de agua del sistema y generalmente suelen aumentar la permeabilidad al oxígeno y vapor de agua en los RC y PC.	Mono, di y oligosacáridos (glucosa, jarabes), polioles (glicerol, polietilenglicol, sorbitol) y lípidos y sus derivados como ácidos grasos (monoglicéridos, surfactantes, derivados de éster).
Agentes reafirmantes	Utilizados para lograr el entrecruzamiento y formar geles firmes al reaccionar con compuestos coloidales poliméricos como: el alginato, gelana y pectina.	Cloruro de calcio, pectato de calcio, en general sales con calcio (fuentes de cationes divalentes).



Cuadro 9. Aditivos utilizados en la formulación de recubrimientos y películas comestibles.
(Continuación)

Grupo	Característica funcional	Ejemplo de aditivos
Antimicrobianos	Su función es un agente conservador	Ácidos orgánicos y sus sales (ácido sórbico, propiónico y benzoico), sulfitos, nitritos, bacteriocinas (nisina y pediocinas), enzimas (lisozimas), compuestos de origen natural (extractos de plantas tales como: canela, vainillina, clavo, orégano, cebolla, ajos, mostaza, semillas de pomelo), entre otro.
Antioxidantes	Evitar el pardeamiento enzimático, aunque también se pueden utilizar como conservadores.	Ácido ascórbico, el ácido cítrico, y la N-acetilcisteína, etc.
Emulsificantes	Crear medios homogéneos, reduce la actividad de las PC y la velocidad de pérdida de humedad en el producto	Grasas y aceites, emulsificantes (Tween 20, 60, 80), polietilenglicol, entre otros.

Fuente: Martín-Belloso *et al.*, 2006; Varela *et al.*, 2007; Sánchez-González *et al.*, 2008
Rojas-Grau y Martín-Belloso, 2008; Oms-Oliu *et al.*, 2010; Ramos-García *et al.*, 2010

2.3.4. Aplicación

La aplicación de los RC y PC ha sido diversa, ya que estos se han aplicado tanto productos íntegros (**Cuadro 10**) como productos mínimamente procesados (**Cuadro 11**).





ANTECEDENTES



Cuadro 10. Formulación de recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas frescas.

Fruto	Recubrimiento	Aditivos	Análisis	Efecto	Referencia
Garambullo	Caseinato de sodio	Glicerol, sorbitol	Polifenoles, betalainas, actividad antioxidante, α -amilasa α -glucosidasa	Mantener calidad	Correa-Betanzo <i>et al.</i> (2011)
Blueberry	Quitosán, caseinato de calcio, alginato de sodio, Semperfresh, CMC	Glicerol, ac. acético, Tween 20	Acidez titulable, pH, sólidos solubles, firmeza, pérdida de peso, tasa de descomposición, act. antioxidante, fenoles	Mantener calidad	Duan <i>et al.</i> (2011)
Uva	HPMC	-----	Respiración, pH, sólidos solubles, pérdida de peso, fenoles, act. antioxidante, evaluación sensorial, calidad microbiológica	Mantener calidad	Pasto <i>et al.</i> (2011)
Mandarina	HPMC	Glicerol, ac. esteárico, sorbato de potasio, benzoato de sodio, propianato de sodio	Índice de enfermedad, severidad de enfermedad, pérdida de peso, concentración de gases (O_2 y CO_2), etanol, brillo	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Valencia-Chamorro <i>et al.</i> (2011)
Fresa	Quitosán	Ac. esencial de orégano, limón, tomillo rojo, menta, limoncillo	Act. antimicrobiana, act. antifúngica, % de contaminación	Actividad antimicrobiana y antifúngica	Vu <i>et al.</i> (2011)
Pera	Shellac, Semperfresh	-----	Fragilidad, firmeza, conductividad eléctrica, Peroxidasa, Pectinesterasa, Poligalacturonasa, Celulasa	Mantener calidad	Zhou <i>et al.</i> (2011)





ANTECEDENTES



Cuadro 10. Formulación de RC usados en frutas y hortalizas frescas
(Continuación)

Fruto	Recubrimiento	Aditivos	Análisis	Efecto	Referencia
Tomate	Goma arábica	Glicerol	Pérdida de peso, firmeza, color, sólidos solubles, acidez titulable, vit. C, % de decaimiento, evaluación sensorial	Mantener calidad	Ali <i>et al.</i> (2010)
Plátano	Quitosán, goma arábica	-----	Pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable, crecimiento de micelio, inhibición de la germinación de los conidios, índice de enfermedad, severidad de enfermedad	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Maqbool <i>et al.</i> (2010)
Níspero japonés	Quitosán	-----	Pérdida de eso, respiración, etileno, firmeza, evaluación sensorial	Mantener calidad	Márquez <i>et al.</i> (2009)
Aguacate	Cera de candelilla	-----	Luminosidad, pérdida de peso, actividad de agua, sólidos solubles, pH	Mantener calidad	Saucedo-Pompa <i>et al.</i> (2009)
Esparrago	CMC, proteína de soya; pullulan	Sorbitol, ac. esteárico	Pérdida de peso, firmeza, color, contenido de lignina, concentración de antracnosis, evaluación sensorial	Mantener calidad	Tzoumaki <i>et al.</i> (2009)
Naranja	HPMC	Sorbato de potasio, benzoato de sodio, propianato de sodio	Pérdida de peso, índice de enfermedad, severidad de enfermedad, concentración de gases (O ₂ y CO ₂), etanol, brillo, evaluación sensorial	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Valencia-Chamorro <i>et al.</i> (2009)

Donde: CMC = carboximetilcelulosa y HPMC = hidroxipropilmetilcelulosa





ANTECEDENTES



Cuadro 11. Formulación de recubrimientos y películas comestibles usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

Fruto	Recubrimiento	Aditivos	Análisis	Efecto	Referencia
Manzana	Quitósán	Ac. cítrico, ac. ascórbico, cloruro de calcio	Color, firmeza, pérdida de peso, respiración, Polifenoloxidasa	Mantener calidad	Qi <i>et al.</i> (2011)
	Gel de aloe, Shellac	-----	Respiración, etileno, color, peroxidasa, polifenoloxidasa, firmeza, pérdida de peso, calidad microbiológica	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Chauhan <i>et al.</i> (2011)
Broccoli	CMC, Quitósán	Ac. acético, glicerol	Pérdida de peso, concentración de O ₂ , color, vit. C, clorofila, rompimiento, textura, calidad microbiológica, evaluación sensorial	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Ansorena <i>et al.</i> (2011)
	Quitósán	Glicerol, ac. acético	Calidad microbiana	Actividad antimicrobiana y antifúngica	Moreira <i>et al.</i> (2011)
Plátano	Goma Xantana	Ac. palmítico, Sacarosa	Aumento de peso, contenido de humedad, actividad de agua, color, textura, evaluación sensorial	Mantener calidad	Sothornvit (2011)
	Mucílago de nopal	Ac. cítrico, bisulfato de sodio	Color	Mantener calidad	Aquino <i>et al.</i> (2009)
Mango	Alginato de sodio, almidón de yuca	Ac. cítrico, glicerol	Respiración, composición gaseosa (O ₂ y CO ₂), pérdida de peso, firmeza, color	Mantener calidad	Chiumarelli <i>et al.</i> (2011)
Ensalada de lechugas Coliflor	Almidón de tapioca	Extracto de té verde	Clorofila, polifenoles, rendimiento, calidad microbiológica	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Po-En y Lih-Shiuh (2010)





ANTECEDENTES



Cuadro 11. Formulación de RC y PC usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas
(Continuación)

Fruto	Recubrimiento	Aditivos	Análisis	Efecto	Referencia
Zanahoria	Pplus 240, Pplus 160, Pplus 120	-----	Calidad microbiológica, color, evaluación sensorial	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Olarte <i>et al.</i> (2009)
	Quitosán	Glicerol, ac. acético	Respiración, calidad microbiológica, evaluación sensorial, carotenoides, fenoles, vit. C	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Simoes <i>et al.</i> (2009)
Melón	Alginato de sodio, Gelana, Pectina	Glicerol, cloruro de calcio, aceite de girasol	Resistencia a vapor de agua, concentración gaseosa (O ₂ y CO ₂), etileno, vit. C, fenoles, act. antioxidante, firmeza, calidad microbiológica, evaluación sensorial.	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Oms-Oliu <i>et al.</i> (2008)
	Alginato	Glicerol, aceite esencial de canela, palma y limón	Calidad microbiológica, etanol, firmeza, color, evaluación sensorial	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Raybaudi-Massilia <i>et al.</i> (2008)
Ajo	Quitosán	Ac. acético	Respiración, pérdida de peso, color, calidad microbiológica	Mantener calidad, actividad antimicrobiana y antifúngica	Geraldine <i>et al.</i> (2008)

Donde: CMC = carboximetilcelulosa





2.3.5. Efectos fisiológicos

La vida útil postcosecha de frutas y hortalizas puede ser prolongada cubriéndolas con barreras biopoliméricas semipermeables a gases y vapor de agua; sin embargo, generan algunos efectos en el producto como:

Respiración. Los RC o PC de los productos vegetales crean una atmósfera modificada en su interior, que consiste en la disminución de O₂ y aumento de CO₂, respecto a una fruta no cubierta, y esto permite bajar la velocidad metabólica incrementando así la vida de anaquel; sin embargo, si el recubrimiento es inadecuado se favorecerá la anaerobiosis, que desarrolla aromas y sabores indeseables y deterioro (Chiumarelli *et al.*, 2011).

Transpiración. La reducción de la tasa de transpiración es importante en el manejo postcosecha de frutas y hortalizas frescas; la pérdida de agua se traduce en una pérdida de peso y en consecuencia marchitamiento o deshidratación que deteriora la calidad del producto (Ali *et al.*, 2010).

Control de fisiopatías. Algunos RC o PC ejercen una función protectora contra el desarrollo de fisiopatías, como el caso de la reducción de la susceptibilidad al daño por frío (Zhou *et al.*, 2011).

Apariencia, textura y manejo. Los recubrimientos lipídicos reducen la abrasión superficial durante el manejo de frutas y hortalizas. Otros recubrimientos reducen las pérdidas causadas por infecciones que pueden presentarse en los sitios con daño mecánico, y otros mejoran la apariencia al proporcionar brillo a los productos (Saucedo-Pompa *et al.*, 2009).



2.4. GENERALIDADES CHIRIMOYA

La anona (*Annona cherimola*) es una fruta climatérica considerada como una de la más preferida mundialmente, por su sabor delicioso, debido a la pulpa dulce, cremosa y fragante cuando está completamente madura. Es nativa de América, probablemente de Mesoamérica (México-Panamá) (**Figura 6**) (Cerdas *et al.*, 2007).



Figura 6. Fruto de chirimoya
Fuente: Vida nutrida (2008).

2.4.1. Clasificación botánica

La familia de las *Annonaceae*, cubre más de 119 géneros con más de 2000 especies, agrupadas taxonómicamente, y generalizadas en los subtrópicos y trópicos (Geurts, 1981). La especies más importantes del género son: *Annona cherimola* Mill., *Annona muricata* L, *Annona squamosa* L, *Annona reticulata*, y el híbrido interespecífico atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (**Figura 7**) (Pinto *et al.*, 2005).

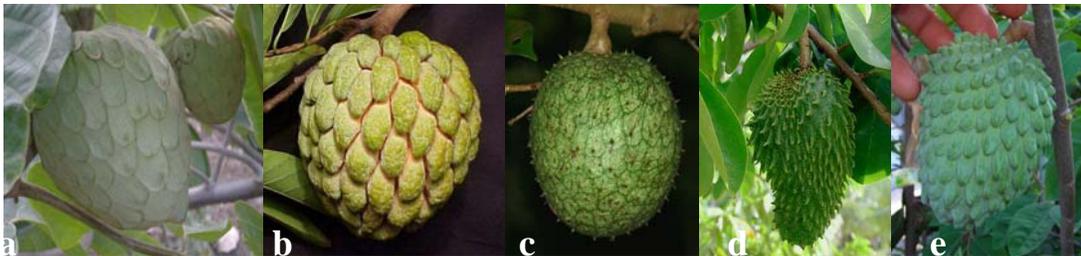


Figura 7. Especies de *Annonas* de mayor importancia. a) *Cherimola* Mill., b) *A. squamosa*, c) *A. reticulada*, d) *A. muricata*, e) Atemoya.

Fuente: Artigoo (2011).



La *Annona cherimola* Mill., es comúnmente llamada chirimoya en México, sin embargo en otros países es mejor conocida como: chirimoya (Peru), cherimoya, catuche, momora (España), cherimolier (Francia), cherimoya, cherimoyer, annona, custard apple (Inglaterra), honumanaphal (Canada), lakshmanphal (India), noina ostrelia (Tailandia), anon (Guatemala), cherimolia, anona do chile, cabeza de negro (Portugal), cerimolia (Italia), chirimoyabaum peruanischer flaschenbaum, flachsbaum (Alemania), donde su posición taxonómica es la siguiente (**Cuadro 12**) (Pinto *et al.*, 2005):

Cuadro 12. Clasificación taxonómica de la chirimoya.

Reino:	<i>Plantae</i>
Subreino:	<i>Tracheobionta</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>Magnoliidae</i>
Orden:	<i>Magnoliales</i>
Familia:	<i>Annonaceae</i>
Género:	<i>Annona</i>
Especie:	<i>A. cherimola</i>

Fuente: *Annona cherimola* (2011).

2.4.2. Importancia económica

En los últimos años, ha habido un incremento en el consumo de hortalizas y frutas, entre las que puede estar la *annona*, motivado en parte por las políticas de salud en diferentes países, en las que se incentiva a sus habitantes a consumir al menos cinco porciones de frutas y hortalizas al día, como base para lograr un mejor estado de salud (Cerdas *et al.*, 2007).

Aunque la *anona* es una fruta poco difundida en el mundo, se encuentran plantaciones comerciales en Argentina, Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Sudáfrica, Nueva Zelanda, España, Estados Unidos, Chile, Australia e India (Pinto *et al.*, 2005).



España es el principal productor de chirimoyas en el mundo, con una superficie plantada de unas 3,300 ha (en la costa de Málaga y Granada) y 30,000 t, aproximadamente, de producción anual. En segundo lugar figura Chile, donde la superficie plantada es de 1,316 ha y su producción es de 5,500 t y México tiene 152.50 ha y de la que se cosechan 474.38 t anualmente con la participación de tres estados, de los que Michoacán aporta el 77 % de la producción (**Figura 8**).

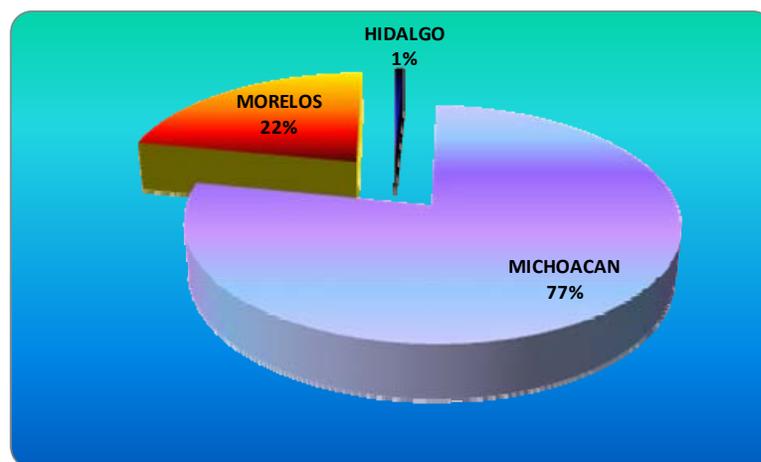


Figura 8. Distribución por estados de la producción de chirimoya en México para el año 2010.

Fuente: SIAP-SAGARPA (2011).

La producción de chirimoya es temporal, entre finales de septiembre y finales de febrero, lo que repercute negativamente en los precios, debido, al cultivo de una sola variedad, la vida comercial corta del fruto y la calidad variable del producto. Esta última como resultado de (Cerdas *et al.*, 2007):

- Mal manejo de las técnicas de producción (poda, polinización y riego) que se traduce en frutos pequeños con alto índice de semillas.
- La recolección antes de la fecha adecuada, lo que demerita el sabor y sube el índice de semillas.
- Manipulación inadecuada de la fruta durante la cosecha o el manejo en almacén. Los frutos golpeados tienen calidad disminuida. La chirimoya es especialmente

sensible a daños en los bordes de las areolas, cuando los frutos ruedan unos sobre otros, pues esto favorece el desarrollo de enfermedades.

- La chirimoya se ablanda aceleradamente tras la cosecha. Por ello, resulta fundamental el enfriamiento rápido hasta 9 o 10 °C, sobre todo cuando el fruto se destina a la exportación.

2.4.3. Tratamientos post-cosecha

Una vez que la anona ha sido seleccionada y clasificada, se procede a realizar tratamientos post-cosecha con el objetivo de reducir las infecciones por hongos, en el **Cuadro 13** se resumen algunos de los tratamientos en chirimoya.

Cuadro 13. Tratamientos postcosecha aplicados a chirimoya.

Tratamiento	Condiciones	Efecto	Referencias
Temperaturas bajas de almacenamiento	8-15°C, dependiendo del cultivar	Mantener calidad	Alique <i>et al.</i> (1994); Batten (1990); Brown y Scott (1985); Gutierrez <i>et al.</i> (1994); Ke <i>et al.</i> (1983); Palma <i>et al.</i> (1993)
	6° C	Mantener calidad microbiana	Montero <i>et al.</i> (1995)
Efecto de 1-methylcyclopropene (1-MCP)	0, 30, 90, 270 y 810 nL L ⁻¹ por 12 h a 25 °C	Mantener calidad	(Benassi <i>et al.</i> (2003)
	25 y 100 µL L ⁻¹ 1-MCP por 14 h a 20 °C	Mantener calidad	(Hofman <i>et al.</i> (2001)
	Concentración en relación con la expresión de endotransglycosylases xyloglucon (XET) y expansins (EXP)	Mantener calidad	Li <i>et al.</i> (2009).
Encerado	Carnauba	Mejorar apariencia	Yonemoto <i>et al.</i> (2002)
Efectos del calcio	CaCl ₂ (6%)	Mantener	Lima (2000)



2.5. GENERALIDADES DE NECTARINA MÍNIMAMENTE PROCESADA

El consumo de frutas y hortalizas en la alimentación es benéfico para la salud, ya que son ricas en fibra, vitaminas y minerales. La introducción en los mercados de los productos vegetales frescos cortados (PVFC) o productos mínimamente procesados en fresco (PMPF) es una forma de incrementar el consumo de frutas y hortalizas. Asimismo, la demanda de este tipo de productos listos para consumir abre el mercado a la industria de PMPF (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Artés, 2011).

2.5.1. Clasificación botánica

La nectarina (*Prunus persica*, *Nectarine*) es considerada como uno de los frutos preferido a nivel mundial, a causa de su atractivo color, delicioso sabor, agradable fragancia y excelentes propiedades nutricionales que lo hacen ser un producto ampliamente consumido (Anónimo, 2008).

La nectarina es un fruto climatérico que pertenece a la posición taxonómica siguiente (**Figura 9**):

Nombre científico:	<i>Prunus persica</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisión:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Rosales</i>
Suborden:	<i>Rosaceae</i>
Familia:	<i>Rosaceae</i>
Género:	<i>Prunus</i>
Especie:	<i>P. persica</i>



Figura 9. Fruto de nectarina

Fuente: *Prunus persica* (2011).

La nectarina es el fruto de un árbol derivado por mutación de los melocotoneros comunes, y los únicos caracteres diferenciales son la ausencia de tomentosidad en la piel del fruto. (**Figura 10**) (Iglesias y Echeverría, 2009).

La planta, si se deja crecer libremente, adopta un porte globoso con unas dimensiones medias de 4-6 metros



Es una drupa de forma redonda que alberga un hueso en su interior que guarda la semilla



Su calibre varía según la variedad, desde los 55-65 milímetros hasta los 75-85



Su color externo es de fondo amarillo, amarillo anaranjado, rojo intenso o rosa pálido según la variedad.



La pulpa es carnosa, dulce y jugosa, unas veces blanca o amarilla, compacta y muy dulce



Esta fruta se utiliza en la elaboración de diversos postres como: budines, relleno de tartas, mermelada, confituras, helados, pasteles, etc.



Figura 10. Características de la nectarina

Fuente: Badenes *et al.* (1999); Carrera (2002); Iglesias y Echeverría (2009).

Existe un gran número de variedades de nectarina, la mayoría procedentes de los Estados Unidos, pero en general, todas ofrecen una piel lisa, fina y brillante, tomando diversas coloraciones que se intensifican según los climas, siendo las variedades tempranas las que ofrecen coloraciones más fuertes. En el mercado se pueden encontrar nectarinas de pulpa blanca y nectarinas de pulpa amarilla (**Cuadro 14**). En 2010, la nectarina aportó el 40 % de la producción, de la cual el 76 % corresponde a variedades de carne amarilla y el 24 % carne blanca. (Badenes *et al.*, 1999; Iglesias y Echeverría, 2009; Iglesias, 2011).

Cuadro 14. Periodo de cosecha de las variedades comerciales más importantes de nectarina en España.

Periodo	Nectarinas de pulpa blanca	Nectarinas de pulpa amarilla
Junio	Silver King, NB-1524, Monnail	Armking, Primerinque, Pacific Star
Julio	Caldesi 2000, Syller, Big-Top, Majestic Giant, Queen Giant, Silver Gem, G. Diamond, Flavor Giant	Sunfree, Snow Queen, NJN-76, M ^a Laura, Flavorgolg, Stark Sunglo, Antares, Magali
Agosto	Venus, Saphir, Alesandra, Mid Silver, Monnaze	Nataly, Stark Redgold, Fantasia, Nectaross, M ^a Aurelia, Sweet Red, August Red
Septiembre	Silver Late	Fairlane, Seleccion 1989, Harvest Sun

Fuente: Badenes *et al.* (1999).

2.5.2. Importancia económica

Actualmente la nectarina es uno de los cultivos frutales más tecnificado y difundido mundialmente. Destacan como países productores: China, Estados Unidos, Argentina, Chile, Grecia, Francia y España (Iglesias, 2011).

Europa prevé una producción de 2,855,307 t de melocotón y nectarina para la cosecha de 2011. Italia mantiene la mayor producción (1,445,790 t), seguida de España (802,200 t) y a distancia Francia (308,713 t) y Grecia (298,200 t). La principal región productora de España es Cataluña (342,940 t), seguida de Andalucía (90,500 t), Extremadura (86,000 t), Murcia (74,000 t) y Valencia (28,688 t) (**Figura 11**) (Floristán, 2010; Artes, 2011).



Figura 11. Principales zonas de producción en España

Fuente: Anónimo (2008).



2.5.3. Productos mínimamente procesados

Los productos mínimamente procesados en fresco aparecieron en el mercado de EE.UU. a mediados de los años 70, y principalmente para los restaurantes de comida rápida y los denominados bares de ensaladas. El producto básico fue la lechuga Iceberg. Hacia 1980 se inició su consumo en Europa, comenzando en Suiza y Alemania y luego se extendió a Inglaterra, Francia, Países Bajos e Italia (Floristán, 2010).

Las denominaciones que reciben estos productos son muy diversas: productos mínimamente o ligeramente procesados (PMP) (“minimally processed”, “lightly processed”, “slightly processed”), productos procesados en fresco (PPF), productos de la cuarta gama de alimentación (“fourth range”, “IV gamme”), productos parcialmente procesados (“partially processed”), productos dispuestos para consumir (“pre-prepared”, “ready to eat”, “ready to use”), así como, productos frescos cortados o recién cortados (“fresh-processed”, “fresh-cut”) y especificando más en el área agrícola se les conoce como vegetales frescos cortados (VFC) (Artés *et al.*, 2009; Artés-Hernandez *et al.*, 2010; Oms-Oliu, 2010).

La definición de estos productos ha ido cambiando, en 1987 a Rolle y Chism sugirieron que el procesado mínimo incluía todas las operaciones (lavado, clasificación, pelado y cortado) considerando a todos estos productos como tejidos vivos, mientras que Shewfelt (1987) añade a esta definición la posible utilización de niveles bajos de irradiación, envasados individuales y conservación en refrigeración. Wiley (1997) definió a las frutas y hortalizas MP como aquellas que mantienen sus tejidos vivos, así como, aquellas ligeramente modificadas en sus características de frescura por los métodos de conservación (refrigeración, modificación y control de atmósfera) y Artés (2011) menciona que el PMPF es el producto original que recibió tratamientos suaves que producen cambios poco notables en sus propiedades deseables como alimento y, en particular, las nutritivas y organolépticas y que mejoran su facilidad de utilización o conveniencia.



La asociación internacional de productos frescos cortados (International Fresh-cut Produce Association -IFPA), menciona que Estados Unidos y Europa han presentado el mayor desarrollo en el mercado de PMPF, pero que su producción se limita a ciertos productos como: col, lechuga, pimientos, zanahoria, brócoli y otras hortalizas, las más explotadas, ya que presentan un mercado más estable que las frutas como: piña, melón, sandía, manzana, pera, uva y granada (Kim, 2007; Konopacka *et al.*, 2010).

La industria de PMPF en Latinoamérica está poco desarrollada, comparada con Europa y Estados Unidos, la forma como se ha introducido en el mercado ha sido describiendo a los PMPF como “un nuevo concepto de frescura”, como un clásico ejemplo de valor agregado (González-Aguilar *et al.*, 2005).

El sistema de PMPF puede variar dependiendo del producto. El diagrama de flujo general del proceso se muestra a continuación (**Figura 12**):

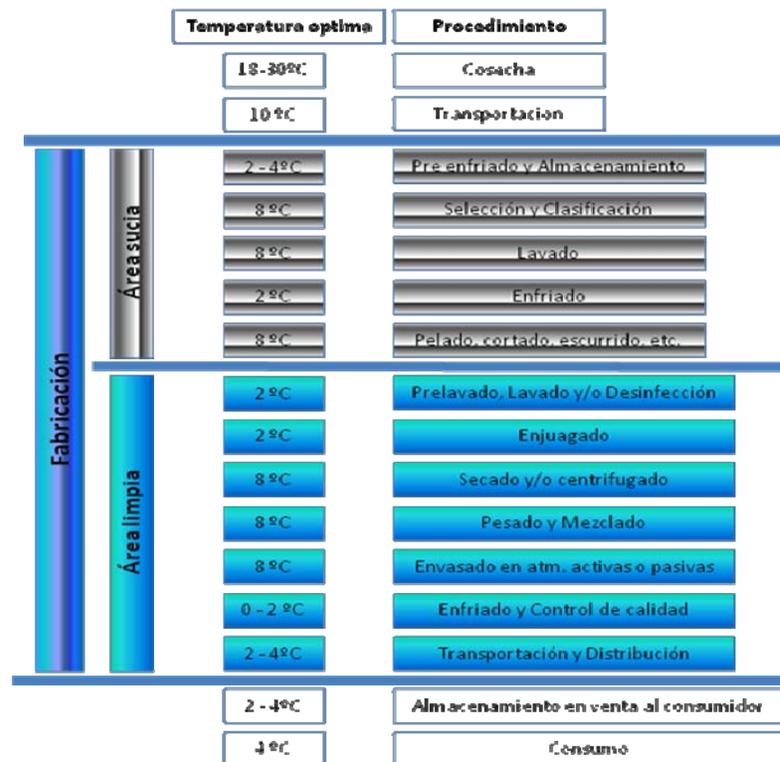


Figura 12. Proceso de los productos mínimamente procesados en fresco.

Fuente: Artés *et al.* (2009) y Artés-Hernández *et al.* (2010).



La fisiología de un producto fresco procesado es esencialmente la del tejido dañado. Este comportamiento se traducirá en (Artés *et al.*, 2007; Hodges y Toivonen, 2008; Toivonen, y Brummell, 2008; Oms-Oliu *et al.*, 2010):

- Daños mecánicos
- Desordenes fisiológicos
- Cambio en la respiración (emisión de CO₂, consumo de O₂, producción de calor, respiración anaerobia)
- Emisión de etileno
- Acumulación de metabolitos secundario
- Daños físicos (deshidratación, cambios en la firmeza)
- Cambios químicos (pardeamientos, deterioro de las membranas y oxidaciones lipídicas)
- Alteraciones del metabolismo fenólico (síntesis de fitoalexinas))
- Inducción de síntesis de sustancias cicatrizantes (lignina y suberina)
- Susceptibilidad microbiológica

Todo esto ocasionado principalmente por el daño que los frutos tuvieron durante su proceso. Por otro lado, la conservación de los PMPF es crítica debido a los daños físicos ocurridos en los tejidos vegetales durante el proceso. Estos daños aceleran el metabolismo y provocan deterioro de características sensoriales deseables, pérdida de nutrientes, así como desarrollo de microorganismos, que llevan a un rápido decaimiento de la calidad y acortamiento de la vida de estante, por lo que en este trabajo se pretende minimizar estos daños además de a largar la vida de anaquel del producto con el uso de nuevas tecnologías como el uso de películas comestibles.





OBJETIVOS





3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar películas comestibles a base de mucílagos (M) de los cultivares de “Milpa Alta” y “Toluca” aislados y combinados con un componente proteico (grentina = G), polisacárido (carboximetilcelulosa = C) y lipídico (cera de abeja = Ce) en mezclas binarias (M+G, M+C, M+Ce) y mezclas de tres componentes (M+G+C; M+G+Ce; M+C+Ce) con concentraciones variables (binarias 1:01, 1:0.5 y terciarias 1:1:1, 1:0.5:0.5). Además caracterizar las películas mediante sus propiedades físicas, fisicoquímicas y de barrera y estudiar su efecto como recubrimiento en chirimoya y nectarina mínimamente procesada.

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES

3.2.1. Objetivo particular 1: extracción de mucílago

Extraer los mucílagos de nopal de los cultivares “Milpa Alta” y “Toluca” de mayor producción, consumo y disponibilidad, determinar su contenido y usarlos en la elaborar películas comestibles.

3.2.2. Objetivo particular 2: elaboración de películas comestibles

Elaborar películas comestibles a base de mucílagos sólo y en combinación (G, C y Ce) en mezclas binarias (M+G, M+C, M+Ce) y mezclas de tres componentes (M+G+C; M+G+Ce; M+C+Ce) en proporciones binarias 1:1, 1:0.5, terciarias 1:1:1; 1:0.5:0.5, más la adición de Tween 80 y Glicerol.

3.2.3. Objetivo particular 3: caracterización de películas comestibles

Caracterizar las películas elaboradas mediante sus propiedades fisicoquímicas (viscosidad), físicas (color, transparencia y espesor), propiedades de barrera (hinchamiento, permeabilidad a vapor de agua y gases CO₂ y O₂, esfuerzo de punción, compresión y tensión) y estructura microscópica.





OBJETIVOS



3.2.4. Objetivo particular 4: aplicación de recubrimiento a chirimoya

Evaluar el efecto de aquella película que presente mejores parámetros y propiedades, aplicada como recubrimiento en chirimoya, sobre sus parámetros de calidad (color, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, pH y acidez).

3.2.5. Objetivo particular 5: aplicación de recubrimiento a nectarina mínimamente procesada

Evaluar el efecto de aquella película que presente mejores parámetros y propiedades, aplicada como recubrimiento en nectarina mínimamente procesada, sobre su composición atmosférica, calidad microbiana, evaluación sensorial y en sus parámetros de calidad (color, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, pH y acidez).





MATERIAL Y MÉTODOS

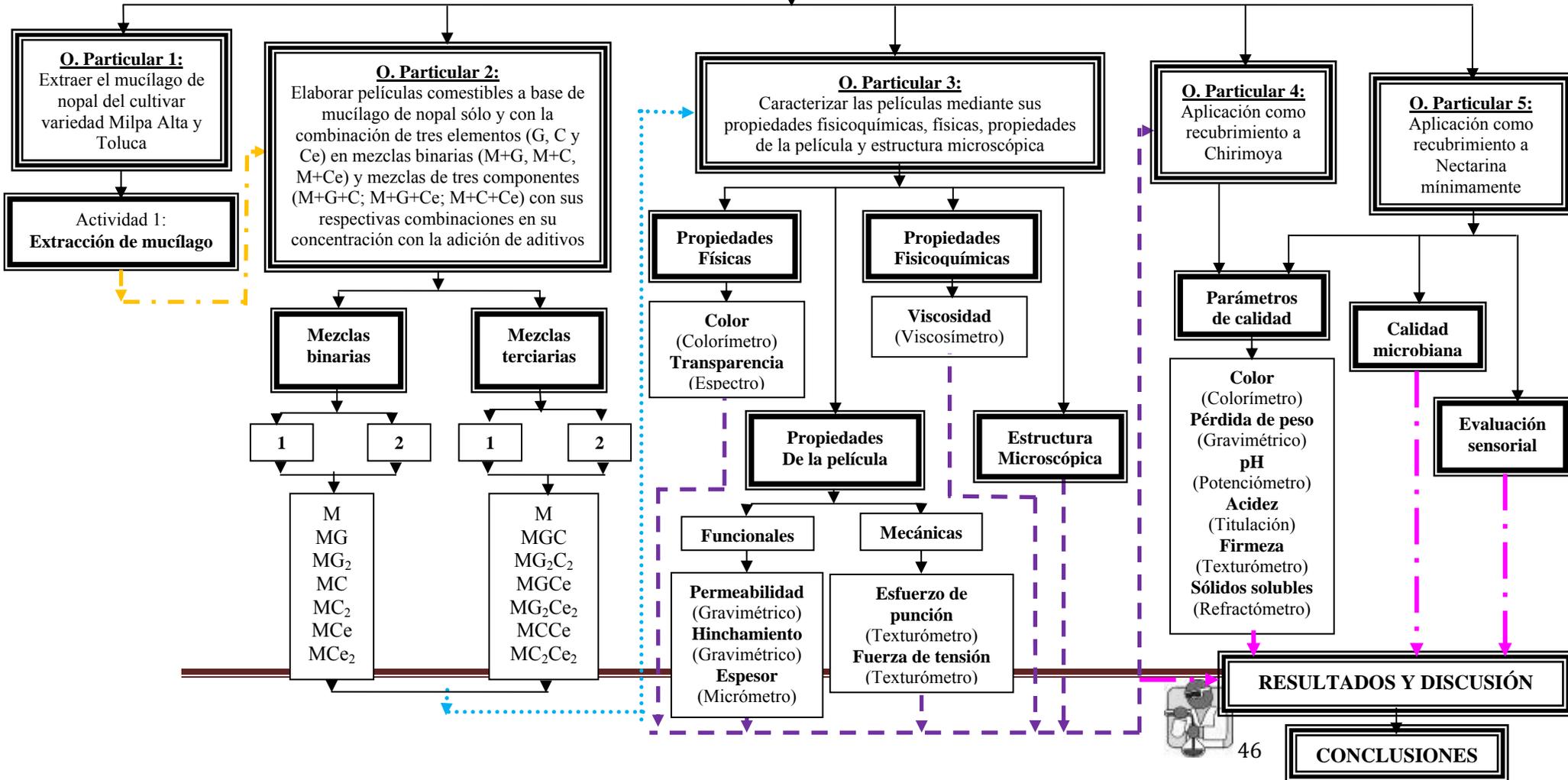




4.1. SECUENCIA METODOLOGICA

OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar películas comestibles a base de mucílago de diferentes variantes de nopal aislado y combinado con otros componentes (proteico (A), polisacárido (B) y lipídico (C)) en mezclas binarias (mucílago+A, mucílago+B, mucílago+C) y mezclas de tres componentes (mucílago+A+B; mucílago+A+C; mucílago+B+C) así como la combinación de concentraciones en ambas mezclas (Binarias (1:1; 1:0.5) terciarias (1:1:1; 1:0.5:0.5)) para caracterizarlas mediante sus propiedades físicas, fisicoquímicas y de película y aplicarlas como recubrimiento a productos íntegros (Chirimoya) o mínimamente procesados (Nectarina), para así proponer el uso de mucílago de nopal en la formulación de películas comestibles y en la aplicación de alimentos.





4.2. DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES

4.2.1. Material biológico

Se emplearon dos variantes de nopal: “Milpa Alta” y “Toluca”, de cada cultivar se utilizaron 10 Kg de nopal verdura, las cuales presentaron las mismas condiciones de cultivo, riego y cosecha, ya que se obtuvieron de siete plantas por cada variante, cultivadas en el campo experimental “La Nopalera experimental” de la Universidad Autónoma Chapingo. Los nopales se cosecharon cuando estos tenían aproximadamente 25cm de longitud, en un estado de madurez temprana y un color verde bandera.

4.2.2. Extracción de mucílago

La extracción de mucílago se llevó a cabo con la metodología usada por Peña y Sánchez (2004). Los cladodios lavados y sin espinas se seccionaron en cuadros de 2 cm x 2 cm aproximadamente, se mantuvieron durante 15 min a $90\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2$, con una proporción cactacea:agua en una relación 1:2 respectivamente. El líquido se decantó y se centrifugó a 4500 g durante 10 min. El sobrenadante se recuperó y se mezcló con etanol en una relación 1:1, la mezcla se dejó reposar durante una noche en refrigeración. Después la mezcla se centrifugó y el residuo (mucílago) se recuperó. El mucílago se dializó en una membrana para diálisis con MWCO (molecular weight cut-off) de 2000 Daltons (Spectra/Por@ Dialysis Membrane, marca SPECTRUM, Spectrum Laboratorios Inc.) con agua desionizada durante 72 h. Durante la diálisis el agua fue renovada cada 2 horas, el primer día, y cada 4 horas, los dos días siguientes. El contenido de cada membrana se congeló ($-35^{\circ}\text{C}\pm 3$) y se liofilizó en un liofilizador (LABCONCO, Freeze Dry System I Lyph Lock@4.5, Labconco Corporation, Kansas City, Missouri, EUA). El mucílago deshidratado y se calculó su proporción en el tejido de los nopales (**Figura 13**).





Figura 13. Proceso de extracción del mucilago de nopal. a) troceado del nopal, b) cocción, c) centrifugado, d) sobrenadante de centrifugado, e) separación de mucílago con etanol, d) dializado y g) liofilizador utilizado para la deshidratación de mucílago.

4.2.3. Elaboración de películas

Las diferentes soluciones preparadas pueden verse en la **Cuadro 15**, en donde primero se rehidrató el mucílago de nopal y luego a la solución rehidratada se le adicionó el componente(s) y aditivos a combinar (0.4 % de glicerol y 0.3 % tween), en condiciones de calentamiento a 30 °C por 30 min con agitación constante (**Figura 14**).

Cuadro 15. Formulación de las películas comestibles de mucílago de nopal.

Nomenclatura de Película	Componente						
	Concentración (%)						
	Mucílago	G (Grenetina)	C (CMC)	Ce (Cera)	G ₂ (Grenetina)	C ₂ (CMC)	Ce ₂ (Cera)
M	0.5	----	----	----	----	----	----
G	0.5	0.5	----	----	----	----	----
C	0.5	----	0.5	----	----	----	----
Ce	0.5	----	----	0.5	----	----	----
M-G	0.5	0.5	----	----	----	----	----
M-G ₂	0.5	----	----	----	0.25	----	----
M-C	0.5	----	0.5	----	----	----	----
M-C ₂	0.5	----	----	----	----	0.25	----
M-Ce	0.5	----	----	0.5	----	----	----
M-Ce ₂	0.5	----	----	----	----	----	0.25
M-G-C	0.5	0.5	0.5	----	----	----	----
M-G ₂ -C ₂	0.5	----	----	----	0.25	0.25	----
M-G-Ce	0.5	0.5	----	0.5	----	----	----
M-G ₂ -Ce ₂	0.5	----	----	----	0.25	----	0.25
M-C-Ce	0.5	----	0.5	0.5	----	----	----
M-C ₂ -Ce ₂	0.5	----	----	----	----	0.25	0.25

* M: mucílago en relación 1 (diferente variante), G1: proteína en relación 1 (grenetina), C1: polisacárido en relación 1 (carboximetilcelulosa), Ce1: lípido en relación 1(cera), G2: proteína en relación 0.5 (grenetina), C2: polisacárido en relación 0.5 (carboximetilcelulosa), Ce2: lípido en relación 0.5 (cera). Nota: Este cuadro es para mucílago de cada variante.



Figura 14. Elaboración de soluciones para las películas comestibles.

Las soluciones elaboradas fueron vaciadas sobre una superficie plana, nivelada, limpia y seca (plato de plástico con un diámetro de 15 cm). A cada recipiente se le adicionó 30 ml de cada una de las soluciones (**Figura 15**). Los recipientes se dejaron secar a temperatura ambiente (24 °C y 50 % HR aproximadamente) y por evaporación del solvente se formaron las películas (Atarés *et al.*, 2010).



Figura 15. Formación de películas comestibles.

4.2.4. Caracterización de las películas comestibles

4.2.4.1. Propiedades fisicoquímicas

Evaluación de la viscosidad: A cada solución elaborada, se le determinó su viscosidad con un viscosímetro Brookfield, a 60 rpm durante un 1 min por triplicado (**Figura 16**), siendo la viscosidad el valor promedio y expresada en MPa*s (Manual del viscosímetro, 2005).



Figura 16. Viscosímetro de Brookfield

4.2.4.2. Propiedades físicas

Color: Los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) de las diferentes películas fueron determinados en un colorímetro (HUNTER LAB, modelo MiniScan XE Phy) (**Figura 17**). Las lecturas fueron obtenidas en la escala CIELAB y se calculó ángulo *hue* ($h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$) y *chroma* ($C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$). El color fue determinado en la media de 6 replicas. (Atarés *et al.*, 2010).



Figura 17. Colorímetro Hunter Lab.

Trasparencia (Transmisión de luz): Se prepararon muestras rectangulares de 0.5x0.4cm que se colocaron en celdas de un espectrofotómetro (Spectronic Milton Roy modelo Genesy 5, USA) en forma perpendicular al paso de la luz (**Figura 18**). En cada muestra fue evaluada la transmitancia (%) en una longitud de onda de 550 nm y dividida entre su espesor. Como blanco se utilizó una celda vacía. El resultado se expresó como la transparencia de la media de 6 muestras (Al-Hassa y Norziah, 2011).



Figura 18. Espectrofotómetro

4.2.4.3. Propiedades funcionales

4.2.4.3.1. Propiedades de barrera

Espesor: El espesor fue medido en 6 puntos de la película formada y esto a su vez se hizo por triplicado con un micrómetro con una resolución de 0.001 mm (Starret, No 216, USA) (**Figura 19**). El promedio de todas las mediciones fue considerado el espesor final en mm (Imran *et al.*, 2010).



Figura 19. Micrómetro.

Hinchamiento: Se determinó empleando el método gravimétrico propuesto por García *et al.* (2004), que se obtuvo mediante la norma ASTM 570 con algunas modificaciones, la mitad de cada película formada fue rehidratada en 15 ml de agua (**Figura 20**) y cada 15 min fue filtrada (papel filtro Watman poro cerrado, previamente puesto a peso constante) hasta un tiempo final de 1.5 h, el porcentaje de hinchamiento fue calculado con la siguiente

$$\% \text{ Wi} = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

ecuación:

Donde: % Wi = porcentaje de hinchamiento; W_s = gramos de la muestra hinchada o húmeda y W_d = gramos de la muestra seca. El resultado se expresó como porcentaje de hinchamiento de la media de 6 muestras.



Figura 20. Hidratación de películas para determinación de hinchamiento



Permeabilidad a vapor de agua (WVP): Fue calculada con el método descrito por McHugh *et al.*, 1993 y Gennadios *et al.*, 1994 citados en Espino-Díaz *et al.*, 2010, con ligeras modificaciones, en donde se colocó la película sobre una celda de permeabilidad, a esta celda se le adicionaron 35 ml de una solución saturada de K_2SO_4 para generar una humedad relativa del 97 % y fuera de la celda (cámara de ambientación) se creó un ambiente de una humedad de 75 % con una solución saturada de NaCl. La celda de permeabilidad se pesó antes de meterse a la cámara de ambientación y posteriormente se fue monitoreando la cinética de pérdida de peso en lapsos de 2.5 h durante 24 h y mediante la pendiente de la regresión lineal se obtiene la tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) (**Figura 21**), para de este modo calcular el transporte de vapor de agua con la siguiente ecuación:

$$WVP = \frac{WVTR * x}{P_1 - P_2}$$

Donde: WVP es la permeabilidad a vapor de agua ($g/m*s*Pa$), WVTR es la tasa de transmisión de vapor de agua, x es el espesor de la película (m), P_1 presión de vapor de agua (KPa), P_2 presión de vapor de agua corregida ($P_2 = P - (P - P_3)e^{\frac{WVTR * R * T * \Delta z}{P * D}}$ en KPa), P es la presión atmosférica total (KPa), P_3 presión parcial del vapor de agua en la superficie de la solución en el desecador (Kpa), T = temperatura absoluta durante la prueba (K), R constante universal de los gases ($m^3*KPa/g*K$); D es el coeficiente de difusión del vapor de agua en el aire ($m^2/día$) y Δz es el espacio entre solución y película (m^2).



Figura 21. Monitoreo de la cinética de pérdida de peso para la determinación de permeabilidad a vapor de agua





Permeabilidad a gases: Cada película se colocó en una celda de permeación, a ésta se le hizo un barrido de N₂ por 30 min para eliminar el O₂ dentro de la celda, posteriormente a la celda se le inyectó 1 ml de CO₂ de alta pureza (98.2 %), la cinética de pérdida de CO₂ y ganancia de O₂ se determinó en un cromatógrafo de gases (Varian modelo 3400CX, USA) (**Figura 22**) mediante un monitoreo cada 15 min hasta la obtención de 8 lecturas. Los resultados se ajustaron mediante regresión de la ecuación (1), donde k_1 se definió por la ecuación (2) y k_2 (igual a $y_j^f - y_j^{d,0}$) fue la línea asintótica a la curva formada por la ecuación (1) (Valle-Guadarrama *et al.*, 2008):

$$\text{Ec. 1.... } y_j^{d,t} = y_j^{d,0} + k_2(1 - e^{-k_1 t}) \quad \text{y} \quad \text{Ec. 2.... } k_1 = \frac{R(T + 273.15)P_j' A^d}{V^d}$$

Donde R es la constante del gas ideal (Pa.m³/mol K), T es la temperatura de prueba (K), Volumen interno de la celda (m³), A es el área de la película (m²), $y_j^{d,t}$ es la concentración de O₂ o CO₂ en la celda con respecto al tiempo (%), $y_j^{d,0}$ es la concentración de O₂ ó CO₂ en la celda en el tiempo cero, P_j' es la permeancia de la película (mol/s*m*Pa).



Figura 22. Cromatógrafo de gases.

4.2.4.3.2. Propiedades mecánicas

Esfuerzo de punción, compresión y tensión: Se utilizó un texturómetro TA-TX2i, en el esfuerzo de punción se aplicó una fuerza de 0.5 g mediante una sonda de aguja a una velocidad de 0.5 mm/s; en el esfuerzo de compresión se utilizó una sonda de 2 mm de diámetro con una velocidad de 1 mm/s y una fuerza de 1 gf, en ambas pruebas fue hasta la ruptura de una muestra de 4 cm de diámetro, en el caso del esfuerzo de punción a la



muestra se le ocasionó la ruptura en 6 puntos. Para el esfuerzo de tensión se adaptaron al texturómetro tiras de película de 10 cm de largo por 2 cm de ancho, utilizando las mismas condiciones usadas en el esfuerzo de compresión (**Figura 23**) (Espino-Díaz *et al.*, 2010). Los resultados fueron expresados en MPa de 6 réplicas.

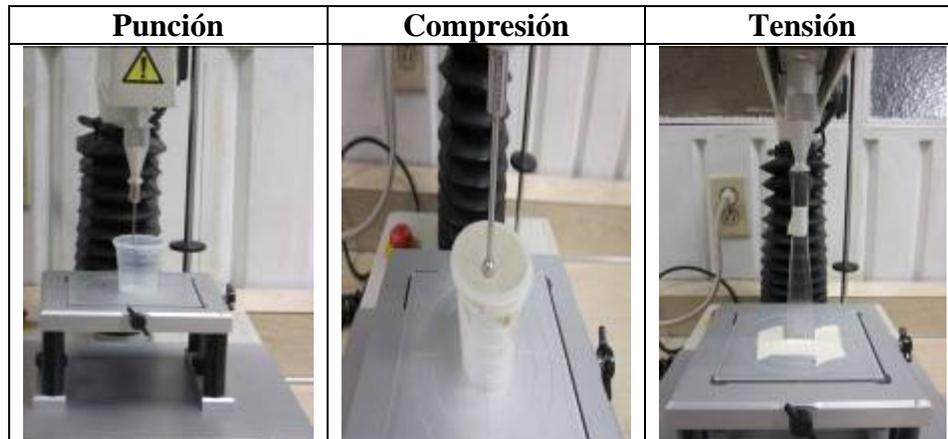


Figura 23. Determinación de pruebas mecánicas en películas comestibles

4.2.4.4. Estructura microscópica

Las imágenes de microscopia electrónica de barrido (SEM) fueron examinadas en un microscopio electrónico de barrido (marca, JEOL 35 CF Tokio, Japón) (**Figura 24**), las imágenes fueron tomadas de perfil y superficie a cada una de las películas (Jiménez *et al.*, 2010).

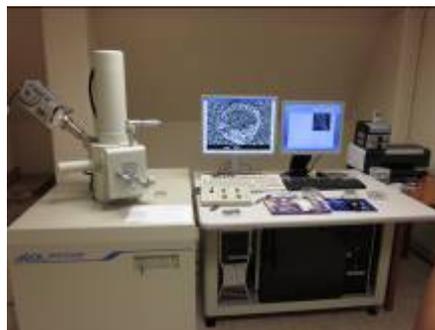


Figura 24. Microscopio electrónico de barrido.

4.3. APLICACIÓN EN CHIRIMOYA Y EN NECTARINA MÍNIMAMENTE PROCESADA

4.3.1. Material biológico

Chirimoya: Se emplearon chirimoyas (*Annona cherimola Mill*) provenientes de Morelos (**Figura 25**), compradas en la central de abastos de la Ciudad de México que posteriormente fueron llevadas a la Universidad Autónoma Chapingo donde a su llegada se almacenaron a 15 °C sólo por unas horas para así comenzar con su tratamiento.



Figura 25. Chirimoya ocupada para la aplicación de recubrimientos comestibles

Nectarina: Se emplearon nectarinas (*Prunus persica var. nectarina.*) de variedad “Arcela” y “Big Top” recolectadas en fincas de productores especializados de Cieza (Murcia-España) (**Figura 26**), que siguen sistemas de producción de control integrado de plagas. Tras la recolección manual los frutos se transportaron unos 90 km a la Planta Piloto con que cuenta el Grupo de Postrecolección y Refrigeración en la Universidad Politécnica de Cartagena-España (UPCT). A la llegada los frutos se almacenaron a 4 °C hasta el día siguiente, cuando comenzaron los trabajos experimentales.



Figura 26. A) nectarina “Arcela” y B) nectarina “Big Top” recién llegadas a la planta piloto del grupo de postrecolección y refrigeración



4.3.2. Tratamiento de la muestra

Chirimoya: La aplicación de recubrimientos comestibles, se realizó con la solución de mucilago 0.5 y grenetina 0.25 % (considerada como la mejor película en sus propiedades estudiadas) y elaborada como se menciona en el apartado 4.2.3, con la que de acuerdo al **Cuadro 16** se realizó el tratamiento correspondiente. Aquellas chirimoyas que fueron sumergidas en la solución de recubrimiento estuvieron un tiempo de 10 min, posteriormente se dejaron secar y después se almacenaron (14 °C y/o 20 °C), pero aquellas que no tenían recubrimiento también fueron inmersas en agua durante el mismo tiempo (Márquez *et al.*, 2009). Los análisis de calidad de la fruta se realizaron al día 0, 5, 10, 15 y 20 de almacenamiento.

Cuadro 16. Condiciones de los diferentes tratamientos aplicados a chirimoya.

Tratamiento	Temperatura
Sin recubrimiento	Ambiente (20-25 °C)
Con recubrimiento	
Sin recubrimiento	Refrigeración (14±1 °C)
Con recubrimiento	

Nectarina: El procesado mínimo de las frutas comenzó con un pre-enfriado a 4 °C, posteriormente una selección por color, libre de daños y calibre, seguido de un lavado al producto entero (uso de agua clorada a 100 ppm), un secado, un cortado con unas cuchillas para obtener rodajas de manzana con los que se obtenían rodajas de 1.5 cm, posteriormente se realizó la inmersión de las rodajas sobre el tratamiento a aplicar siendo 1) la solución antioxidante (AP) de ácido cítrico 1 % con cloruro de calcio a 1 %, 2) recubrimiento comestible de grenetina 0.5 % (Gre), 3) recubrimiento comestibles de mucílago 0.5 % (Mu) y 4) recubrimiento comestible de mezcla mucílago-grenetina 0.5-0.25 % (M-G), después un secado, pesado y por último un envasado en tarrinas de 750 ml selladas en la parte superior con un una película plástica de polipropileno bioentado (BOPP) con un microperforado de 50 µm. Todas estas operaciones se realizaron a una temperatura de 5 a 10 °C en el interior de una cámara acondicionada para esta finalidad debidamente higienizada (**Figura 27**) (Artés, 2011).





Figura 27. Distintas fases del procesado mínimo en la nectarina.

4.3.3. Parámetro fisiológico

4.3.3.1. Determinación de la tasa respiratoria

Para determinar la tasa respiratoria ($\text{mg} \cdot \text{CO}_2 / \text{Kg} \cdot \text{h}$) se utilizó el método estático tanto para chirimoya como en nectarina mínimamente procesada, los frascos se cerraron herméticamente durante 1 a 1.5 h y tras finalizar este periodo se tomaron muestras gaseosas de 1 ml del espacio de cabeza (**Figura 28**), para conocer la concentración de CO_2 acumulado que se analizó en un cromatógrafo de gases (Varian modelo 3400 CX, USA para chirimoya y en un cromatógrafo de gases (CG) (Thermo Finningan Trace, ThermoQuest, Milán, Italia) para nectarina mínimamente procesada (Márquez *et al.*, 2009).

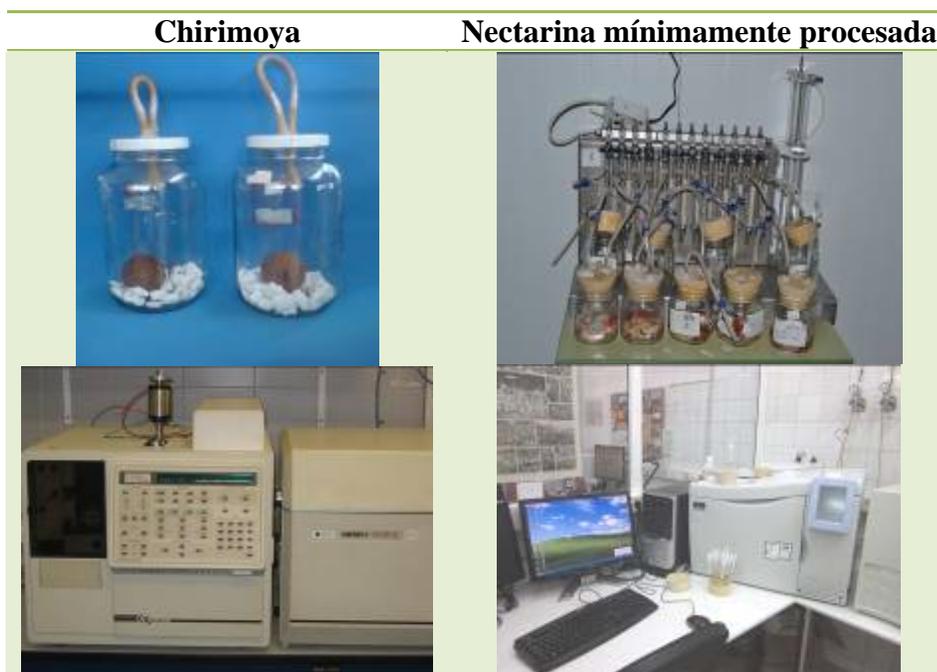


Figura 28. Método estático para determinación de la actividad respiratoria.

4.3.3.2. Determinación de la composición atmosférica en el envase de las tarrinas de nectarina mínimamente procesada

La composición gaseosa de las tarrinas se realizó en forma periódica en donde se determino CO_2 y O_2 en el interior de los envases termosellados tomando 1ml de muestra gaseosa el

cual fue analizado en un cromatógrafo de gases (CG) (Thermo Finningan Trace, ThermoQuest, Milán, Italia) (Oms-Oliu *et al.*, 2008).

4.3.4. Parámetros de calidad

4.3.4.1. Determinación del color

El color se midió al producto entero en 3 puntos equidistantes alrededor de la zona ecuatorial, para chirimoya se utilizó un colorímetro HUNTER LAB, modelo MiniScan XE Phy y para nectarina entera y nectarina un colorímetro MINOLTA, modelo CR-300. A la nectarina MPF la medición se realizó en sus dos caras (**Figura 29**). Las lecturas fueron obtenidas en la escala CIELAB y se calculó ángulo *hue* ($h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$) y *chroma* ($C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$). El color fue determinado en la media de 6 réplicas (McGuire, 1992).



Figura 29. Colorímetros para la medición del color.

4.3.4.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso (%) en chirimoya y nectarina mínimamente procesada, se determinó utilizando una balanza semianalítica, en la cual se obtuvo la variación del peso del producto al inicio de su proceso y después de un tiempo de conservación (**Figura 30**). La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los frutos fue expresada como el porcentaje de pérdida de peso (AOAC, 1990).



Figura 30. Balanzas semianalíticas ocupadas en la determinación de la pérdida de peso.

4.3.4.3. Determinación de firmeza

La firmeza se determinó con un texturómetro TA-TX2i para chirimoya y con texturómetro Ibertest para nectarina entera y mínimamente procesada, para producto entero se evaluó en la zona ecuatorial y la mínimamente procesada se midió en una de las caras (**Figura 31**), expresando los resultados en Newtons (N) (Bico *et al.*, 2009).

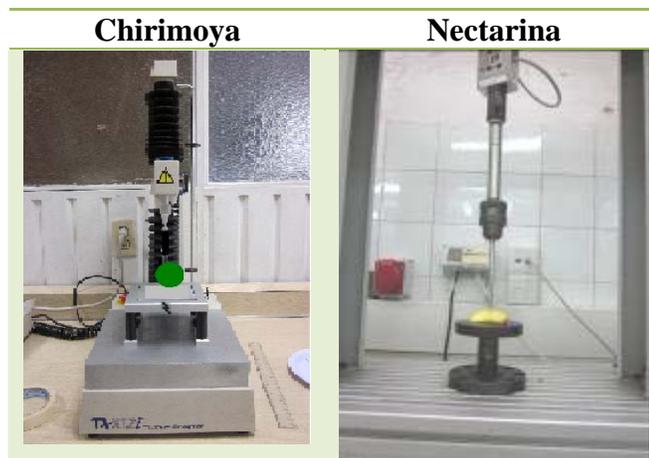


Figura 31. Texturometros utilizados en la determinación de firmeza.

4.3.4.4. Determinación de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles se determinó por medición directa del jugo del fruto con un refractómetro digital (Atago N1, Tokio, Japón) tanto para chirimoya como para

nectarina mínimamente procesada (**Figura 32**), previamente calibrado y ajustado a temperatura ambiente, los resultados se expresaron como °Brix (AOAC, 1990).



Figura 32. Refractómetros usados en la determinación de sólidos solubles.

4.3.4.5. Determinación del pH

Para chirimoya se tomaron 10 g de muestra los cuales se mezclaron con 90 ml de agua, donde la mezcla posteriormente fue filtrada y a la solución obtenida se le sumergió el potenciómetro (HANNA Instruments, HI 98239, Romania) y para nectarina mínimamente procesada, se obtuvieron 50 ml de jugo con la ayuda de un extractor y en esta solución se sumergió el medidor de pH (Crison 501, Barcelona, España) (**Figura 33**). La lectura de pH se tomó a temperatura ambiente (AOAC, 1990).

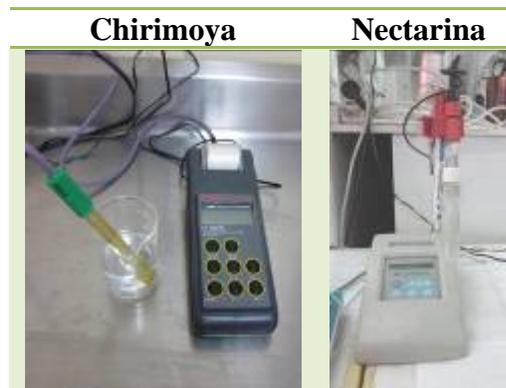


Figura 33. Potenciómetros usados para la medición de pH.

4.3.4.6. Determinación de la acidez titulable

La acidez se determinó por titulación directa de acuerdo al método descrito por la AOAC, 1990 tanto para chirimoya como para nectarina mínimamente procesada (**Figura 34**). Se



tituló 15 ml de mezcla de chirimoya-agua y 5 ml de jugo mezclados con 45 ml de agua destilada con NaOH 0.1 N. Se calculó la cantidad de ácido cítrico presente en los frutos y se expresó como g de ácido cítrico por 100 g de PF.

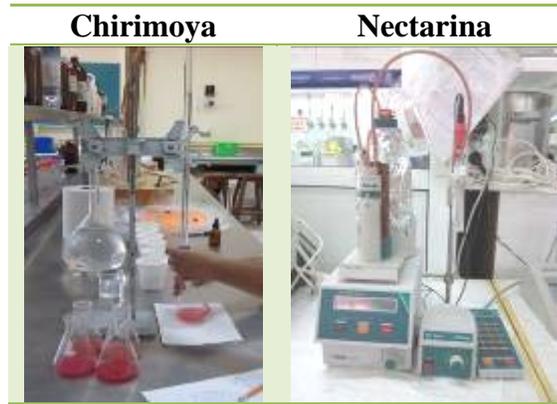


Figura 34. Cuantificación de la acidez.

4.3.5. Parámetros químicos

4.3.5.1. Determinación de etanol y acetaldehído

La cuantificación de etanol y acetaldehído sólo se realizó en chirimoya, se determinaron por cromatografía de gases, según el método descrito por Valencia-Chamorro *et al.* (2009) con ligeras modificaciones. Se colocaron 5 g de muestra sobre viales de 10 ml de capacidad, los cuales fueron sellados con tapón TFE/silicona y almacenados a -18 °C hasta su análisis. Previo al análisis, los viales se descongelaron a 20 °C y se incubaron durante 10 min a 60 °C. Tras la incubación se inyectó 1ml de aire de espacio de cabeza del vial, en un cromatógrafo de gases (Varian modelo 3400CX, USA) por triplicado. El etanol y el acetaldehído de las muestras se identificó por comparación de tiempos de retención con soluciones patrón. Los resultados se expresaron como mg de etanol o acetaldehído en 100 g de PF.

4.3.5.2. Determinación de azúcares

Los azúcares totales se determinaron por el método volumétrico de Lane-Eynon que se basó en la determinación del volumen de una solución de la muestra que se requirió para





reducir completamente 10 ml de reactivo alcalino de cobre (Feling A y B) diluidos en 50 ml de agua, el punto final se determinó por el uso del indicador azul de metileno (**Figura 35**). Se realizó una mezcla de 10 g de muestra, 100 ml de agua y 5 ml de crema de alumbre (sulfato de amonio y potasio con amoniaco) que posteriormente fue filtrada y se llevó a una hidrólisis (5 ml de HCl concentrado en calentamiento de 65 °C por 15 min) y finalmente a una neutralización con NaOH 1 N.



Figura 35. Cuantificación de azúcares totales

4.3.5. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se realizó a la nectarina, se tomaron 10 g de muestra por tratamiento y se mezclaron con 100 ml de agua peptonada estéril durante 1min dentro de una bolsa estéril usando un hominizador (Colwort Stoomacher 400 Lb, London-UK). Las diluciones se hicieron en 9 ml de agua peptonada, hasta una dilución 10^{-3} , por dilución, se extrajo una alícuota de 1 ml para el recuento de bacterias mesófilos que se realizó por profundidad con un medio nutritivo Agar para Conteo de Placas (PCA) y se encubaron por un tiempo de 48 h a 30 °C, para mohos y levaduras se tomaron 0.1 ml y se sembraron en superficie en placas de Agar Papa Dextrosa (PDA) y se encubaron a 25 °C por 5 y 7 días para mohos y levaduras, respectivamente (Ruiz-Cruz *et al.*, 2010) (**Figura 36**). El estudio de patógenos como *E. Coli* 0157:H7 se realizó por superficie en placas de TBX con 0.1 ml de cada dilución y se incubó a 37 °C por 24 h. Para el caso de *L. monocytogenes* se tomaron 25 g de muestra y se mezclaron con 225 ml de cultivo, la mezcla se incubó a 37 °C por 24 h, seguidamente se tomaron 0.1 ml de la mezcla y se sembró en placas de Oxford y se



volvió a encubar. Para *Salmonella enteritidis* también se tomaron 25 g de muestra y se mezclaron con 225 ml de cultivo de Salmonelosis, se incubó a 37 °C por 24 h, posteriormente se tomaron 10 ml de la mezcla y se adicionó una tableta de suplemento de salmonelosis y se volvió a incubar, después se tomó un 0.1 ml y se sembraron el placas Rambach y se volvió a encubar. Los recuentos totales se expresaran en unidades logarítmicas de unidades formadoras de colonias por g (UFC*g⁻¹). En el caso se *Salmonella* la prueba indicó presencia o ausencia (Po-En y Lih-Shiuh, 2010).



Figura 36. Distintas fases de determinación de los recuentos microbiológicos

4.3.6. Análisis sensorial

La evaluación sensorial sólo se realizó a la nectarina mínimamente procesada, mediante un panel formado por al menos 5 jueces semientrenados. La apariencia, el aroma, la textura, el sabor y la calidad global (aceptabilidad), se evaluaron utilizando una escala hedónica de 5 puntos (**Cuadro 17**) (**Figura 37**) (Olarte *et al.*, 2009).

Cuadro 17. Escala hedónica de 5 puntos para diferentes características sensoriales

	Escala General	Deshidratación y olores extraños	Textura	Pardeamiento
1	Muy mala	Mucha	Muy blanda	Más del 71 %
2	Mala	Alguna	Blanda	Entre el 51 y 70 %
3	Aceptable como límite de consumo			Entre el 31 y 50 %
4	Buena	Leve	Firme	Entre el 11 y 30 %
5	Muy buena	Ninguna	Muy firme	Menos del 10 %



Figura 37. Realización de la evaluación sensorial.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la caracterización de películas, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde los bloques fueron las variantes de nopal y los factores los tratamientos (M, G, C, M-G, M-G₂, M-C, M-C₂, M-G-C, M-G₂-C₂, M-G-Ce, M-G₂-Ce₂, M-C-Ce, M-C₂-Ce₂), para la aplicación a chirimoyas se realizó un diseño completamente al azar y para la aplicación en nectarina mínimamente procesada se sometió a un diseño de bloques completamente a azar, donde los bloques fueron las variedades de nectarina y los factores los tratamientos (AP, Gre, Mu y M-G) . De acuerdo con cada diseño estadísticos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación múltiple de medias con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Institute, versión 9.0).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**5.1. CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES****5.1.1. Propiedades fisicoquímicas (viscosidad)**

Las películas de mucílago variante “Milpa Alta” las que presentaron 10 % más de viscosidad en comparación a las de mucílago “Toluca” (**Figura 38**).

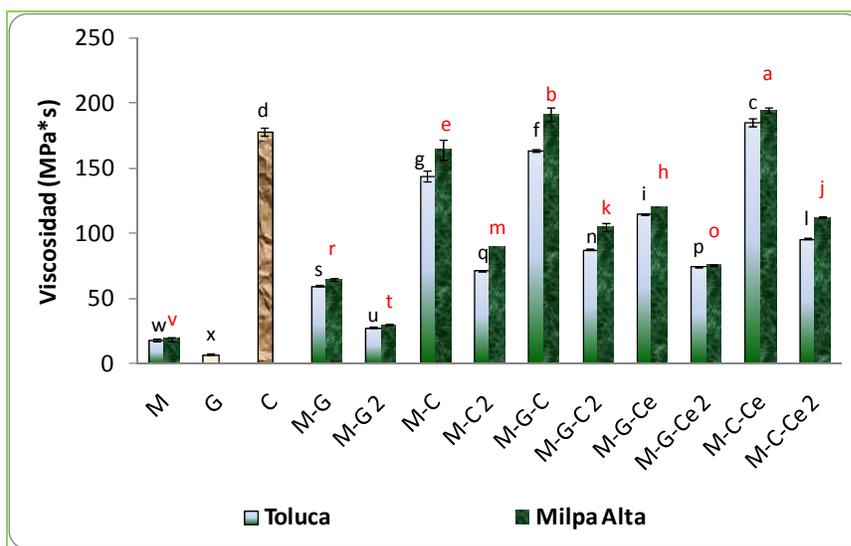


Figura 38. Viscosidad (MPa*s) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

La viscosidad de manera general aumentó conforme se aumentó el número de ingredientes en la formulación, es decir, 3 componentes en una película generaron mayor viscosidad que las películas de 2 ingredientes, así como de su concentración que éstas tuvieron, (la viscosidad fue mayor en las películas que tienen una concentración de 0.5-0.5% en comparación a las que su concentración de 0.5-0.25%). Cabe destacar que aquellas películas que tuvieron como uno de sus componentes a la carboximetilcelulosa presentaron mayor viscosidad.



La película con mayor viscosidad fue la elaborada con M-C-Ce en la variante “Milpa Alta” con 95% mayor viscosidad en comparación con la solución de grenetina sola que fue la de menor viscosidad, a su vez se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a la variante y formulación utilizada.

La viscosidad de las mezclas a base de mucílago de variante “Milpa Alta” y “Toluca”, fueron del mismo orden que el reportado para λ -carragenato (16.8 MPa*s) (Camacho *et al.*, 2005), así como al trabajo de Majdoub *et al.* (2001a) en mucílago purificado de pencas de *Opuntia ficus-indica*, disuelto en solución de NaCl 0.5 M y en solución de CaCl₂ 0.5 M que reportaron valores de 18.5 y 17.4 MPa*s, respectivamente.

Por otro lado Al-Hassan y Norziah (2011) reportaron un valores de 4.9 a 6.4 MPa*s de esta propiedad para β -glucanos de avena, asemejándose a los valores obtenidos con la solución de grenetina sola, mientras que Abugoch *et al.* (2011) con proteína-quitosán reportaron valores de 10 a 368 MPa*s encontrándose todos los resultados del presente trabajo dentro del rango que ellos obtuvieron a pesar de que se estudiaron diferentes ingredientes de elaboración.

La formulación de cada película así como el uso de dos variantes afectó al valor de la viscosidad. La mezcla de M-C-Ce presentó el mayor valor de viscosidad. Es decir, el mayor poder espesante en medio acuoso y la solución de grenetina sola fue la de menor viscosidad.

5.1.2. Propiedades físicas

5.1.2.1. Color

El color es el atributo percibido inicialmente por el consumidor y por tanto fundamental en la elección, por lo que su preservación es objeto de mucho cuidado para que el alimento tenga el color que el consumidor espera, que no es siempre el natural y más cuando se le adiciona algún agente que pueda intervenir como lo es el caso de las películas comestibles.



Luminosidad:

Las películas de mucílago de nopal variante “Milpa Alta”, presentaron mayor luminosidad en comparación con las de mucílago “Toluca” (**Figura 39**).

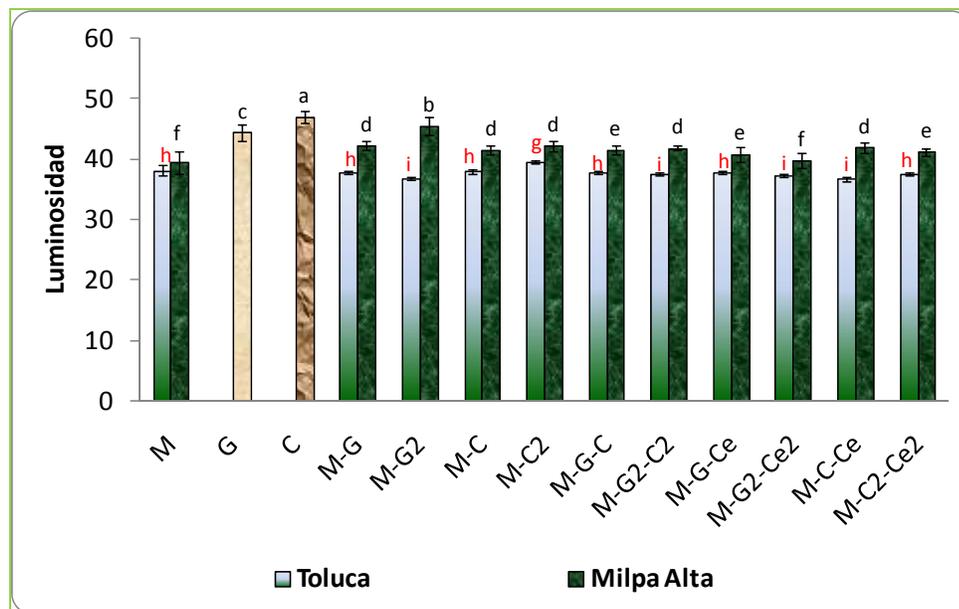


Figura 39. Luminosidad de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Todas las películas elaboradas mostraron valores por debajo de $L = 50$, con un promedio de $L = 41.6$ para “Milpa Alta” y $L = 37.7$ para “Toluca”. La película con mayor luminosidad fue la C en un 31 % mayor luminosidad con respecto a mucílago sólo “Milpa Alta” que fue la de menor luminosidad.

Los resultados de luminosidad obtenidos y comparados con los de Ghasemloua *et al.* (2011) y Espino-Díaz *et al.* (2010) que trabajaron con mucílago de nopal se encontraron un 20 % y 50 % menos luminosidad respectivamente, no así con los de Wang *et al.* (2011) que fueron similares.

Chroma:

Las películas de mucílago “Toluca” presentaron 36 % mayor *chroma* en comparación a las de “Milpa Alta”, siendo M-G-C la de mayor *chroma* y M-C-Ce 2 la de menor en variante “Milpa Alta” y para “Toluca” fueron M-C-Ce la de mayor y M sólo la de menor (**Figura 40**).

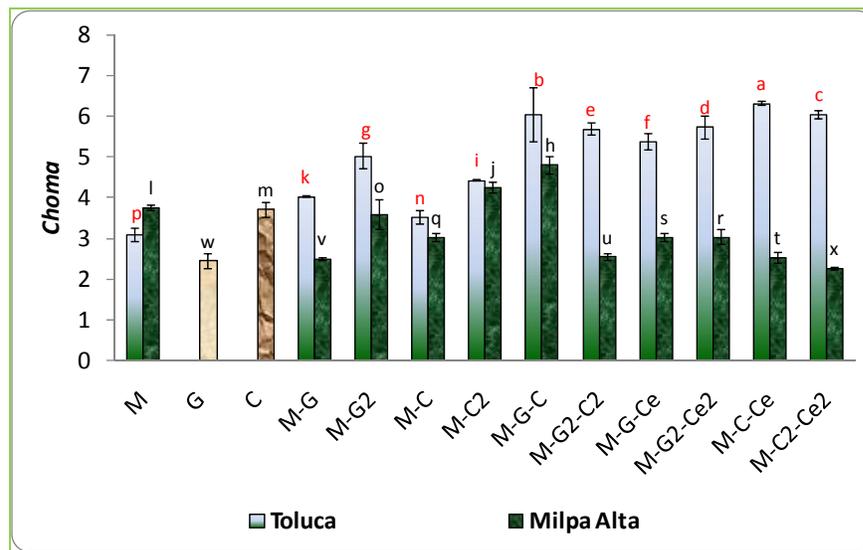


Figura 40. *Chroma* de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Los valores de *chroma* que reportaron Chana-Thaworn *et al.* (2011) ($C = 1.34$) y Espino-Díaz *et al.* (2010) ($C = 7.93$ a 16.27) difieren a los obtenidos en el presente trabajo, pero no así con los resultados de Pires *et al.* (2011) ($C = 6.11$) que se asemejan a los resultados de la variante “Toluca”.

Las películas presentaron un *chroma* bajo, es decir, que independientemente del tono de la película, éstas presentaron colores grisáceos y que el uso de estas películas como recubrimientos en productos hortofrutícolas podrían afectar negativamente la apariencia visual del producto.

Hue:

Las películas de mucílago “Milpa Alta” presentaron 10 % mayor *hue* que las “Toluca”, reportando la película de M “Milpa Alta” la de mayor tono y M-G 2 la de menor, mientras que para “Toluca” la de mayor tono fue M-C2 y la de menor M-G (Figura 41).

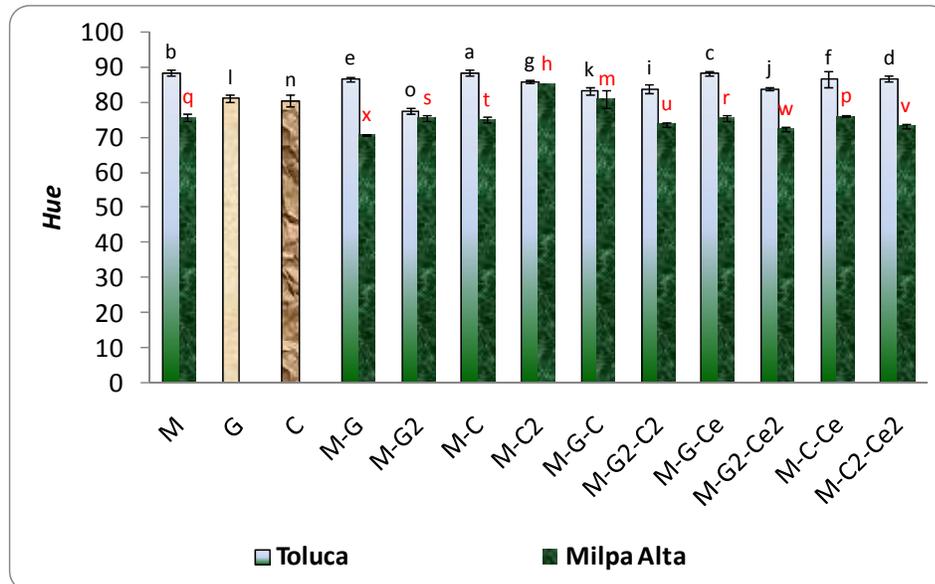


Figura 41. Hue de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Todas las películas se encontraron en el cuadrante de los tonos verde-amarillo. En general, las películas con cera presentaron valores más altos en las coordenadas a^* y b^* debido al color impartido por la cera que es ligeramente amarilla, pero debido a su bajo *chroma*, aparentemente no se mostraban tan coloreadas. Por otro lado, algunos autores mencionan que la adición de lípidos en vez de producir efectos negativos, ocasionan que las películas presenten alta luminosidad.

El *hue* en diversos estudios (Chana-Thaworn *et al.*, 2011; Pires *et al.*, 2011 y Espino-Díaz *et al.*, 2010) han presentado valores desde 99.76 a 181.31, y los resultados del presente



trabajo se encontraron por debajo de esos estudios a pesar que los materiales con los que se trabajó fueran similares.

Estadísticamente el efecto de la luminosidad, *chroma* y *hue*, presentó diferencia significativa a un nivel de confianza del 95 % tanto en películas de diferente formulación, como mucílago de diferente variante.

De acuerdo a otros trabajos de Ghanbarzadeh y Almasi (2011); Ghasemloua *et al.* (2011); Murillo-Martínez *et al.* (2011) y Wang *et al.* (2011) en los que no se calculó el *chroma* y *hue*, pero se reportaron las coordenadas de a^* y b^* ($a^* = -0.34$ a -1.73 y $b^* = 2.52$ a 11.26), se concuerda con sus resultados debido a que fueron de la misma magnitud.

Las propiedades ópticas de las diferentes películas de mucílago del nopal estuvieron afectadas por la formulación, la variante de nopal y por el contenido de cera, ya que ésta aumentó la saturación y desplazó el tono hacia el amarillo.

Las diferentes formulaciones dieron películas de aspecto mate en la cara expuesta al aire durante el secado y de aspecto brillante en la cara en contacto con la placa donde se llevo el secado (**Figura 42**).

La adición de cera acentuó las diferencias de aspecto entre ambas caras, debido a que hay una separación de fases en la cara expuesta al aire durante el secado, pero que también fue observada en las emulsiones de algunas otras formulaciones.

Las mezclas con cera proporcionaron películas opacas de color blanco, aspecto homogéneo, y poco estables a las 24 h de su elaboración, que tras la agitación volvían a dar una mezcla homogénea y que después en su formación continuaron presentando una capa blanca enriquecida en lípido sobre el componente del que fueron elaboradas.



Películas binarias	Imagen		Película terciarias	Imagen	
	Toluca	Milpa Alta		Toluca	Milpa Alta
M			M-G-C		
G			M-G-C 2		
C			M-G-Ce		
M-G			M-G-Ce 2		
M-G 2			M-C-Ce		
M-C			M-C-Ce 2		
M-C 2					

Figura 42. Fotografías de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = Mucílago, G = Grenetina, C = Carboximetilcelulosa, Ce = Cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25 g/100ml.

5.1.2.2. Transparencia

El índice de transparencia se vio afectado por la formulación de cada película, siendo las películas de un sólo componente (G, C y M “Milpa Alta”) las de mayor transparencia y las de menor aquellas que contenían cera, concordando con algunos autores (Pérez-Gago y Krochta, 2001; Bertan *et al.*, 2005) que mencionan que la adición de lípidos reducen la transparencia de distintas películas (**Figura 43**).

Las películas formuladas con variante “Milpa Alta” presentaron 38 % mayor transparencia en comparación con las de “Toluca”, reportando una transparencia promedio de 2.6 y 1.7 respectivamente.

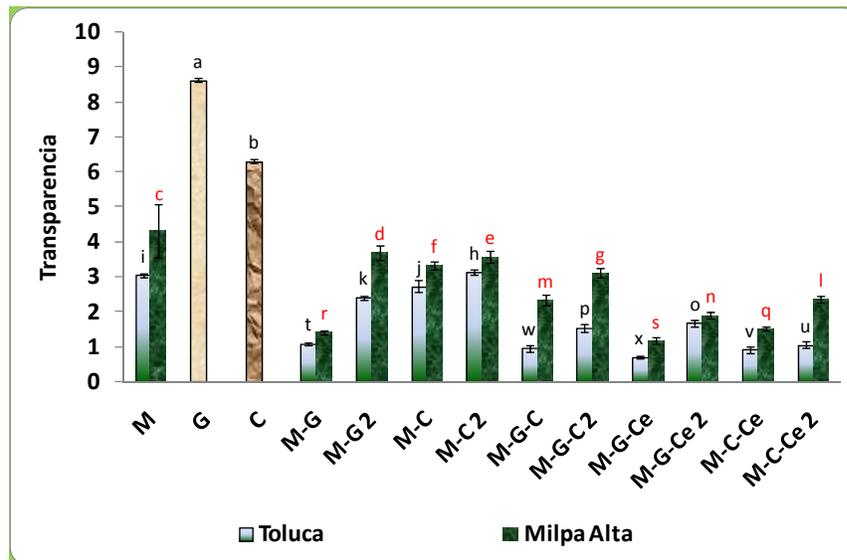


Figura 43. Transparencia de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Las películas de mezclas binarias y terciarias afectó la transparencia en comparación con las películas de formulación unitaria. El efecto de la transparencia presentó diferencia significativa con un nivel de confianza del 95 % ocasionada por el mucílago de diferente variante, así como por la diferente formulación de cada película elaborada.

La transparencia promedio para todas las películas de mucílago de nopal fue de 2.1 y comparada con los trabajos de Al-Hassan y Norziah (2011), Chana-Thaworn *et al.* (2011) y Pires *et al.* (2011), se encontraron similares a los que ellos obtuvieron (transparencia = 1.45) tomando en cuenta que se estudiaron otros componentes. Las películas de G y C se asemejan más al trabajo de Murillo-Martínez *et al.* (2011) y al de Valle-Guadarrama *et al.*, 2008 que presentaron transparencias de 6.81-16.39 y 8, en películas de carboximetilcelulosa con pectina y películas de carboximetilcelulosa con goma arábica, respectivamente.

5.1.3. Propiedades de barrera

5.1.3.1. Espesor

La composición de las películas y el uso de diferente mucílago (“Milpa Alta” y “Toluca”) influyó directamente en su espesor. Las películas elaboradas con mucílago de variante “Milpa Alta” presentaron 25 % mayor espesor que las de “Toluca” y las películas que contenían a la carboximetilcelulosa como uno de sus componentes presentaron mayor espesor (**Figura 44**).

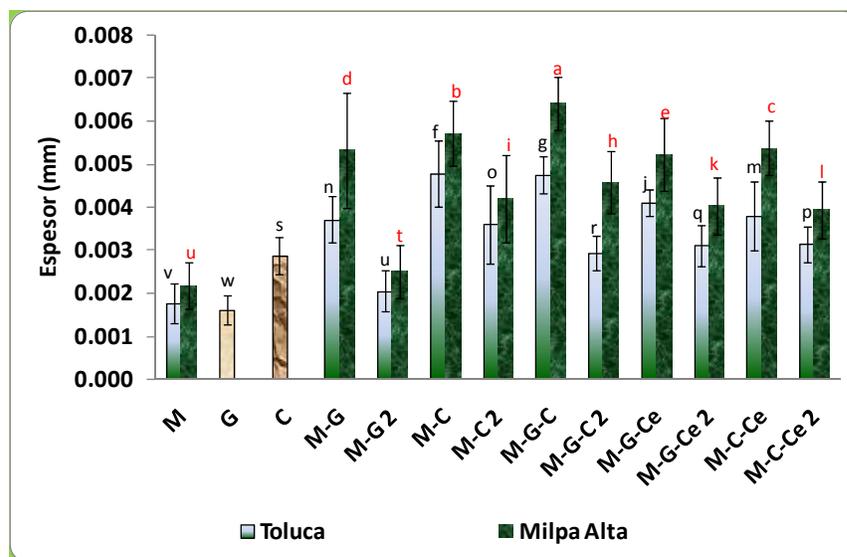


Figura 44. Espesor (mm) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 =



Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

La película con mayor espesor fue M-G-C “Milpa Alta” y la de menor espesor la presentó la elaborada con grenetina sola.

Las películas que contenían cera en su formulación presentaron un aumento en el espesor de éstas, concordando con diversos autores que han reportado que las películas comestibles que contienen sustancias hidrofóbicas en su formulación tales como las ceras contribuyen a limitar la transferencia del vapor de agua, sin embargo, éstas tienden a ser más gruesas y quebradizas (Osés *et al.*, 2009; Sánchez-González *et al.*, 2009).

El espesor se vio estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) por la formulación de las películas (concentración y material de combinación) así como por el uso de mucílago de diferente variante, tal como el estudio realizado por Abugoch *et al.*, (2011) que trabajaron con quitosán con proteína y obtuvieron espesores de 0.054 a 0.142mm, Ghanbarzadeh y Almasi (2011) que estudiaron a la carboximetilcelulosa y obtuvieron espesores de 0.008mm similares a los obtenidos en este trabajo con éste material, pero no a los reportados por Espino-Díaz *et al.*, (2010) y Sanyanjali *et al.* (2011) que también trabajaron con mucílago de nopal y carboximetilcelulosa, obteniendo espesores de 0.0022mm y 0.1052-0.1391mm.

Otros trabajos en los que no se concuerda fueron los de Ghasemloua *et al.*, (2011 a y b), Imran (2010) y Murillo-Martínez *et al.*, (2011) que realizaron películas comestibles con Kefiran, hidroxipropilmetilcelulosa y carboximetilcelulosa con pectina reportando espesores de 0.058-0.074mm, 0.047mm y 0.185-0.200mm respectivamente.

5.1.3.2. Hinchamiento

El mayor hinchamiento lo presentó la película de grenetina sola, seguida de M-G-C en la variante “Milpa Alta” y las de menor hinchamiento fueron las películas de M-G-Ce 2 en la variante “Toluca”, concordando en el último resultado con Farris *et al.* (2009) los cuales



mencionan que al adicionar materiales lípidicos, apolares e hidrofobicos el espesor se ve reducido en comparación con otros materiales no lípidicos (**Figura 45**).

El porcentaje de hinchamiento en las diferentes películas presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por el uso de mucílago de diferente variante y por su diferente composición.

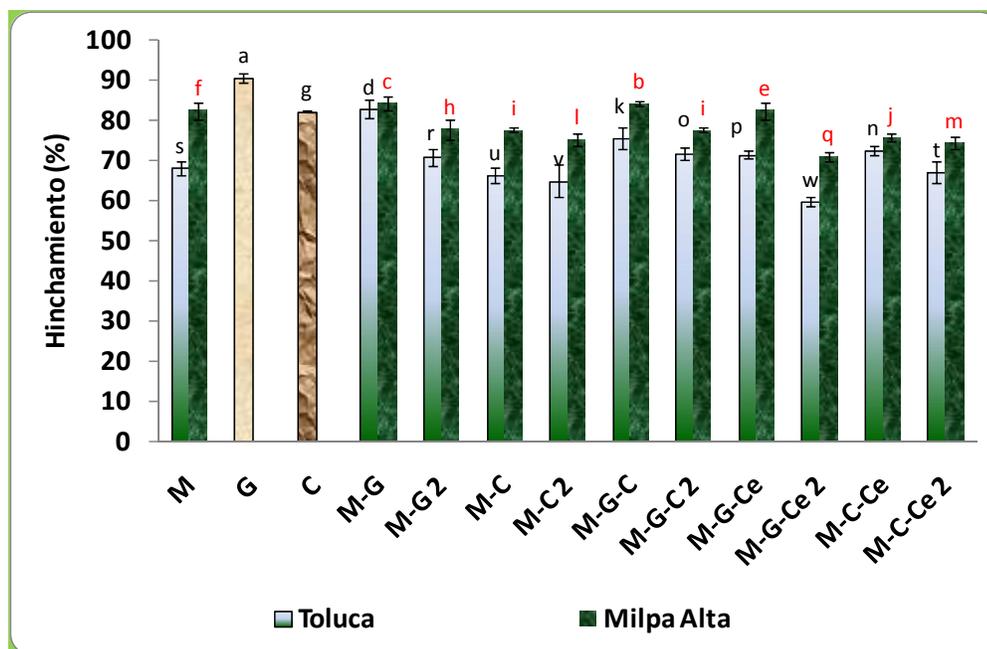


Figura 45. Hinchamiento (%) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Las películas con un solo componente presentaron una mayor fragilidad provocando su fragmentación y aumentando por tanto la superficie de contacto entre la película y el agua. Las películas adicionadas con cera tuvieron un efecto contrario en su estructura, debido a su hidrofobia al agua (Liu *et al.*, 2005; Ávila *et al.*, 2010).

El porcentaje de hinchamiento de las diferentes películas se vio afectado por la diferente formulación de cada película y por el uso de mucílago de diferente variante.

5.1.3.3. Permeabilidad a vapor de agua

La permeabilidad a vapor de agua (WVP) es una medición de la tendencia de adsorber, transferir y desorber vapor de agua de un lado de la película al otro, donde los dos lados de la película están expuestos a diferentes concentraciones del permeante (Souza *et al.*, 2009; Vasconez *et al.*, 2009; Villalobos-Carbajal *et al.*, 2009; Chillo *et al.*, 2008).

La permeabilidad a vapor de agua en las películas de mucílago “Toluca” presentaron 15 % mayor valor de WVP en comparación con las de “Milpa Alta” (Figura 46).

Las películas de M-G-C en ambas variantes mostraron la mayor WVP, así mismo no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en la WVP por efecto de la variante, lo que se confirma que los hidrocoloides (polisacáridos y proteínas), por su carácter hidrofílico, forman películas de alta WVP (Atarés *et al.*, 2010; Jia *et al.*, 2009).

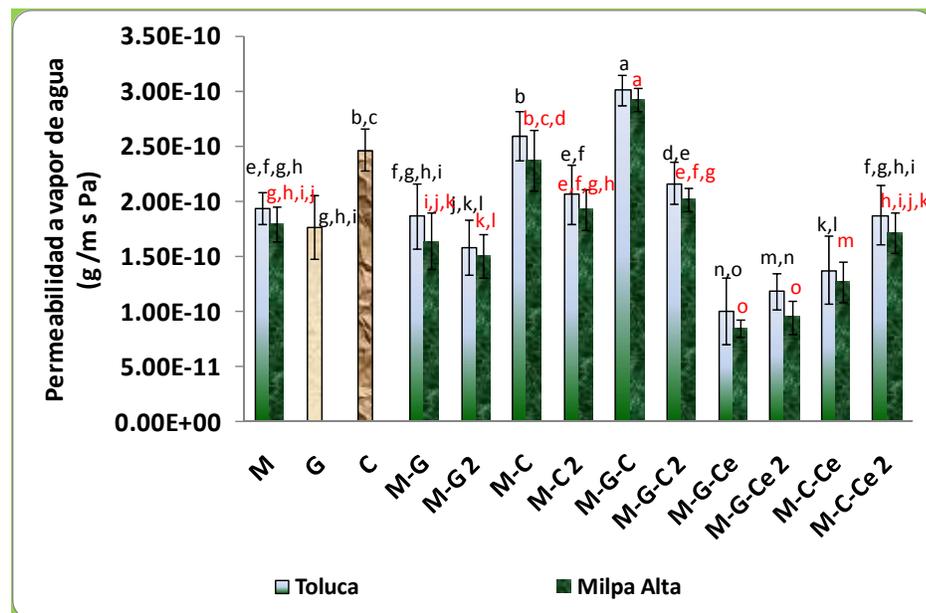


Figura 46. Permeabilidad a vapor de agua ($\text{g/m}^2\text{sPa}$) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Las películas formadas por hidrocoloides de concentración 0.5-0.5% presentaron mayor WVP que las películas en concentración 0.5-0.25%, viéndose lo contrario en películas que contenían cera.

Las películas que incluían a la cera de abeja como uno de sus ingredientes disminuyeron la WPV en comparación con las películas que no tenían. Sin embargo, en estudios previos de películas a base de hidrocoloide y con adición de lípidos indicaron que una reducción de la longitud de la cadena hidrocarbonada y del grado de saturación del lípido disminuye la WPV de las películas (Jongjareonrak *et al.*, 2006).

La WPV presentó estadísticamente diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en ambas variedades, formándose tres grupos principalmente, quedando en el primer grupo las películas de C, M-G-C y M-C en las dos variantes (“Milpa Alta” y “Toluca”), en el segundo grupo: M, G, M-G, M-G2, M-C2, M-G-C2 y M-C-Ce2 y en el tercer grupo: M-G-Ce, M-G-Ce2 y M-C-Ce.

La WPV fue intermedia a la reportada para películas de otros hidrocoloides, lo que puede deberse al diferente carácter hidrofílico de cada material, asociado en parte a la presencia de solutos polares, iónicos y de bajo peso molecular, quedando por debajo de los trabajos de Al-Hassan y Norziah (2011), Bonilla *et al.* (2011), Vargas *et al.* (2011) que dieron valores de 5 a 9×10^{-11} , 61.8×10^{-11} y 112×10^{-11} g/m*s*Pa respectivamente para películas de quitosán; Dias *et al.* (2011) en películas de harinas de arroz con celulosa reportaron valores de 1.1 a 3.9×10^{-11} g/m*s*Pa, Ghanbarzadeh y Almasi (2011) de 3.5×10^{-11} g/m*s*Pa en películas de carboximetilcelulosa, Ghasemloua *et al.* (2011) en películas de Kefiran obtuvieron valores de 3.6 a 5.9×10^{-11} g/m*s*Pa y por arriba a los de Espino-Díaz *et al.* (2010) en películas de mucílago de nopal reportaron valores de 1.4×10^{-9} g/m*s*Pa, Navarro-Tarazaga *et al.* (2011) y Chana-Thaworn *et al.* (2011) dieron valores de 1.9×10^{-8} y 1.8×10^{-9} respectivamente en películas de hidroxipropilmetilcelulosa, Murillo-Martínez *et al.* (2011) en películas de carboximetilcelulosa con pectina mostró valores de 4.2×10^{-9} g/m*s*Pa. Sin embargo fueron similares a los trabajos de Abugoch *et al.* (2011) y Bourbon *et al.* (2011) en películas de quitosán con valores de 1.07 a 2.6×10^{-10} g/m*s*Pa y 1.64×10^{-10}



g/m*s*Pa respectivamente, también con el trabajo de Imran (2010) con valores de 4.2×10^{-10} g/m*s*Pa en películas de hidroxipropilmetilcelulosa, con Sanyanjali *et al.* (2011) en películas de carboximetilcelulosa con 1.38×10^{-10} g/m*s*Pa, con Shih *et al.* (2011) 9.25×10^{-10} g/m*s*Pa en películas de goma arábica y con Wang *et al.* (2011) en películas de puré de zanahoria con grenetina y carboximetilcelulosa con valores de 21.2 a 26.9×10^{-10} g/m*s*Pa.

La WVP fue afectada por la formulación de las películas, no así por el mucílago de diferente variante, viéndose de manera favorable cuando ésta se redujo al adicionar cera de abeja como uno de los ingredientes a las películas elaboradas y viéndose de manera negativa cuando las películas se elaboran de puras materias hidrofílicas como M-G-C que hicieron que la WPV fuera alta.

5.1.3.4. Permeabilidad a gases (O₂ y CO₂)

La Permeabilidad a O₂ (PO₂) fue mayor que la permeabilidad a CO₂ (PCO₂), que normalmente se atribuye a la solubilidad de estos gases en el agua, ya que el O₂ es más soluble que el CO₂, por lo que hay más difusión de gas y por lo tanto mayor permeabilidad (Lima *et al.*, 2010).

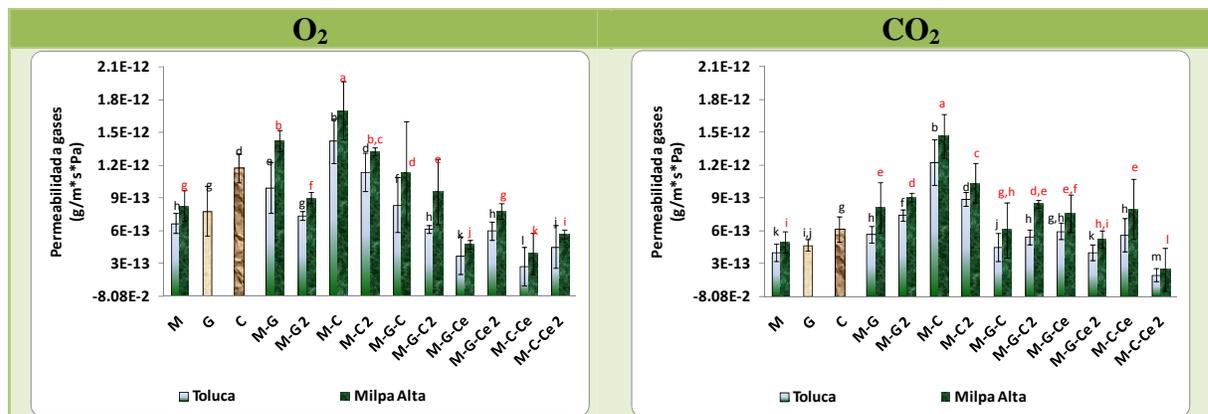


Figura 47. Permeabilidad a gases (g/m*s*Pa) de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal. M = mucílago, G = grenetina, C = carboximetilcelulosa, Ce = cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25g/100ml. Las barras verticales representan la media de 6 películas \pm SD. Diferentes letras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).



Las películas de mucílago “Toluca” presentaron 19 % menos permeabilidad a gases (O_2 y CO_2) que las de mucílago “Milpa Alta”. Estadísticamente existió diferencia significativa a un nivel de confianza del 95 % en la permeabilidad a gases en las diferentes formulaciones y variante utilizada. Las películas de M-C en ambas variantes tuvieron la mayor permeabilidad de gases (O_2 y CO_2).

La PO_2 y PCO_2 se vio afectada negativamente con la adición de cera, presentando menores permeabilidades a gases. Las películas de M-C-Ce fueron las más afectadas en la PO_2 y las películas de M-C-Ce2 en PCO_2 .

Los valores de permeabilidad a gases (O_2 y CO_2) que reportó Bourbon *et al.* (2011) con el estudio en películas de quitosán ($PO_2=1.23-5.17 \times 10^{-14}$ y $PCO_2=1.04-9.84 \times 10^{-14}$ g/m*s*Pa) se encuentran por debajo de los mostrados en el presente trabajo, de igual forma con el trabajo de Wang *et al.* (2011) en películas de puré de zanahoria con carboximetilcelulosa y grenetina que reportó valores de $PO_2 = 1.28-2.03 \times 10^{-13}$ g/m*s*Pa y con el de Fajardo *et al.* (2010) en películas de quitosán, no así con el trabajo de Sothornvit y Pitak (2007) en películas de plátano que obtuvieron valores similares a los mostrados en el presente trabajo ($2.32-4.65 \times 10^{-13}$ g/m*s*Pa. La similitud o desacuerdo con otros trabajos es debido a que esta propiedad se ve afectada por la formulación de las películas elaboradas en cada trabajo.

La permeabilidad a gases fue afectada por la formulación de las películas y por el mucílago de diferente variante utilizados, siendo favorable cuando se utilizan materiales proteicas o polisacáridos, al aumentar la permeabilidad pero negativamente cuando se adicionan lípidos.

5.1.4. Propiedades mecánicas (esfuerzo de punción, de compresión y tensión)

Los resultados obtenidos en la caracterización mecánica (esfuerzo de punción, esfuerzo de compresión y esfuerzo de tensión) mostraron que el mucílago solo tuvo valores de esfuerzo por debajo de 2 MPa, siendo éste un 80 % menos esfuerzo en comparación a las demás películas (**Cuadro 18**).



La integridad física de la película disminuyó cuando la formulación contenía mucílago y aumentó cuando tenía carboximetilcelulosa. Las películas de M en las dos variantes utilizadas presentaron el menor valor de fuerza de fractura en los tres esfuerzos evaluados con valores promedio de 2, 1.2 y 0.9 MPa para punción, tensión y compresión respectivamente, siendo estos valores del mismo orden a los reportados por Abugoch *et al.* (2011) en películas de quitosán (2.3 MPa) y al de Murillo-Martínez *et al.* (2010) en películas de carboximetilcelulosa con pectina (0.93-1.49 MPa).

Cuadro 18. Propiedades mecánicas de diferentes películas comestibles a base de mucílago de nopal.

Película	Esfuerzo de Punción		Esfuerzo de compresión		Esfuerzo de tensión	
	Toluca	Milpa Alta	Toluca	Milpa Alta	Toluca	Milpa Alta
M	2.02 ± 0.23 a	1.88 ± 0.03 r	0.72 ± 0.00 o	1.06 ± 0.00 o	0.93 ± 0.00 p	1.42 ± 0.31 o
G	7.17 ± 0.81 d		8.22 ± 0.95 c		7.64 ± 0.42 h	
C	8.4 ± 0.78 c		11.65 ± 1.82 a		11.23 ± 1.63 e	
M-G	3.31 ± 0.23 m	5.41 ± 0.71 h	3.41 ± 0.22 i, j	5.05 ± 0.52 e, f, g	2.84 ± 0.19 m, n	5.91 ± 1.25 J
M-G 2	1.42 ± 0.00 t	3.35 ± 0.62 m	1.72 ± 0.00 n	2.23 ± 0.00 m	1.22 ± 0.00 o, p	2.45 ± 0.11 n
M-C	5.63 ± 0.62 g	6.04 ± 0.57 e	5.46 ± 0.65 e	6.35 ± 0.83 d	7.91 ± 1.41 h	0.33 ± 1.9 f
M-C 2	3.74 ± 0.41 k	4.16 ± 0.85 j	3.77 ± 0.84 h, i	4.09 ± 0.00 h	4.23 ± 0.89 l	5.42 ± 1.57 k
M-G-C	9.08 ± 1.73 b	9.62 ± 0.89 a	10.08 ± 0.72 b	11.84 ± 0.29 a	14.95 ± 2.10 c	17.14 ± 2.49 a
M-G-C 2	4.47 ± 1.24 i	6.03 ± 0.86 f	4.95 ± 0.52 f, g	6.27 ± 0.65 d	6.97 ± 1.81 i	10.69 ± 0.88 f
M-G-Ce	3.16 ± 0.15 n	4.36 ± 0.92 i	4.62 ± 0.14 g	5.03 ± 0.97 e, f	2.92 ± 0.29 m	5.98 ± 1.66 j
M-G-Ce 2	1.87 ± 0.00 s	3.09 ± 0.55 o	2.83 ± 0.16 k, l	3.16 ± 0.86 j, k	1.14 ± 0.00 o, p	2.77 ± 0.24 m
M-C-Ce	5.75 ± 1.66 g	5.98 ± 0.93 f	6.44 ± 0.55 d	8.54 ± 0.75 c	13.09 ± 1.45 d	15.82 ± 1.32 b
M-C-Ce 2	2.24 ± 0.27 p	3.67 ± 0.41 l	2.76 ± 0.21 l	3.92 ± 0.71 h	5.77 ± 1.31 j, k	9.13 ± 0.21 g

M = Mucílago, G = Grenetina, C = Carboximetilcelulosa, Ce = Cera de abeja y 2 = Concentración de 0.5:0.25 g/100ml. Los valores representan la media de 6 películas ± SD. Diferentes letras en la misma propiedad indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).



Las películas de mayor fuerza fueron las películas de M-G-C en ambas variantes con valores promedio de 15.68 Mpa para el esfuerzo de tensión, 10.75 MPa para el esfuerzo de compresión y 9.33 MPa para el esfuerzo de punción, siendo éstos valores similares a los reportados por Al-Hassan y Norziah (2011) en películas de grenetina (9.8 MPa), quitosán con valores de 11.58 MPa (Bourbon *et al.*, 2011), al de Dias *et al.* (2011) harina de arroz con celulosa (10-14 MPa), al de Ghasemloua *et al.* (2011) en películas de Kefiran (8-14 MPa) y al de Wang *et al.* (2011) en películas de puré de zanahoria con carboximetilcelulosa y grenetina (6.87-10.71 MPa).

La adición de cera en las películas afectó en las propiedades mecánicas de cada película, debido a que algunos lípidos como el glicerol o el tween, presentan carácter viscoelástico, formando películas de mayor flexibilidad y extensibilidad, fácilmente deformables y presentando mayor adaptabilidad a los frutos y no con otros lípidos como las ceras, que presentan mayor rigidez o resistencia a la deformación, haciendo películas fuertes y poco dúctiles, rígidas y menos adaptables al fruto, debido a que los lípidos presentan una baja cohesividad estructural y son fácilmente fracturables (Talens y Krochta, 2005, Maftoonazad *et al.*, 2007).

Otros trabajos previos a éste muestran la reducción de las propiedades mecánicas en las películas al incrementar el contenido de lípido de las mismas (Zahedi *et al.*, 2010; Thakhiew *et al.*, 2010; De Moura *et al.*, 2009; Osés *et al.*, 2009; Talens y Krochta, 2005), por lo tanto, la modificación en el contenido y tipo de lípido en las películas elaboradas afectó negativamente a las propiedades mecánicas pero favorablemente a las propiedades de barrera.

Las películas elaboradas únicamente con mucílago fueron frágiles mostrando bajas propiedades mecánicas. La formulación de las películas afectó las propiedades mecánicas, haciéndolas más fuertes a mayor concentración y número de componentes, pero más frágiles cuando hubo adición de cera.





5.1.4. Estructura microscópica

La microscopia electrónica de barrido (SEM) de las diferentes películas elaboradas mostraron claramente algunas diferencias en la superficie y la morfología de la estructura interna (sección transversal) (**Figura 48**).

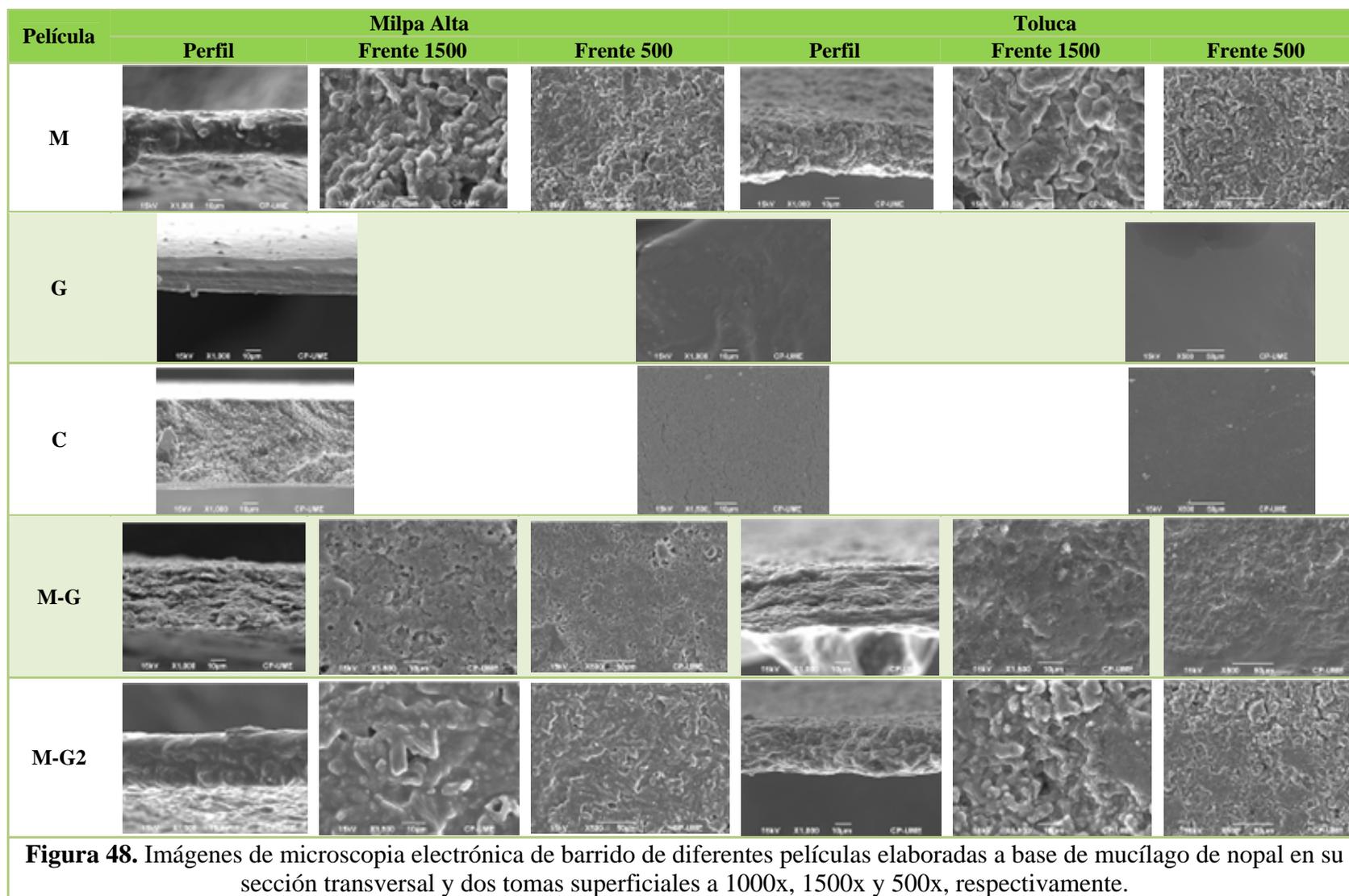
Películas de mucílago solo presentaron apariencias rugosas en su superficie que fue disminuyendo cuando se combinaron con otros componentes (carboximetilcelulosa y/ o grenetina a diferentes concentraciones), presentándose más esta característica en mucílago de variante “Toluca” que “Milpa Alta”. La mayoría de las películas mostraron la presencia de algunos microporos o cavidades que podrían estar relacionados con la formación de canales en las películas y que podrían afectar en las propiedades de barrera, no así las películas de grenetina y carboximetilcelulosa que presentaron un diseño más suave, compacto y homogéneo. Con respecto a la sección transversal se observó que hubo mayor espesor en las películas combinadas, comparadas con las películas unitarias. Las películas de grenetina fueron las más homogéneas, sin presentar alguna rugosidad en su imagen, lo que indica una buena integridad estructural y por consiguiente, buenas propiedades mecánicas y de barrera. Algunos autores han encontrado que la mezcla de gelatina de pescado, grenetina y carragenina producen películas de apariencia áspera, densa y frágil, con algunas partículas irregulares y zonas discontinuas con grietas notables distribuidas al azar a lo largo de la red, que pueden estar presentes es como resultado los canales que se produjeron a través del secado (Malí *et al.*, 2002).

La SEM reveló que la estructura de las películas fueron homogéneas, suaves, continuas, compactas y comparables con películas comestibles de proteínas de suero de leche (Gupta y Magee, 2007), quitosán (Abugoch *et al.*, 2011; Bonilla *et al.*, 2011; Bourbon *et al.*, 2011 y Vargas *et al.*, 2011), grenetina (Al-Hassan y Norziah, 2011), Kefiran (Ghasembu *et al.*, 2011), harina de arroz y celulosa (Dias *et al.*, 2011) y carboximetilcelulosa con pectina (Murillo-Martínez *et al.*, 2011). Significando que las películas a base de mucílago de nopal no provocaron discontinuidades o estructuras porosas en su formación.





RESULTADOS Y DISCUSIÓN





RESULTADOS Y DISCUSIÓN

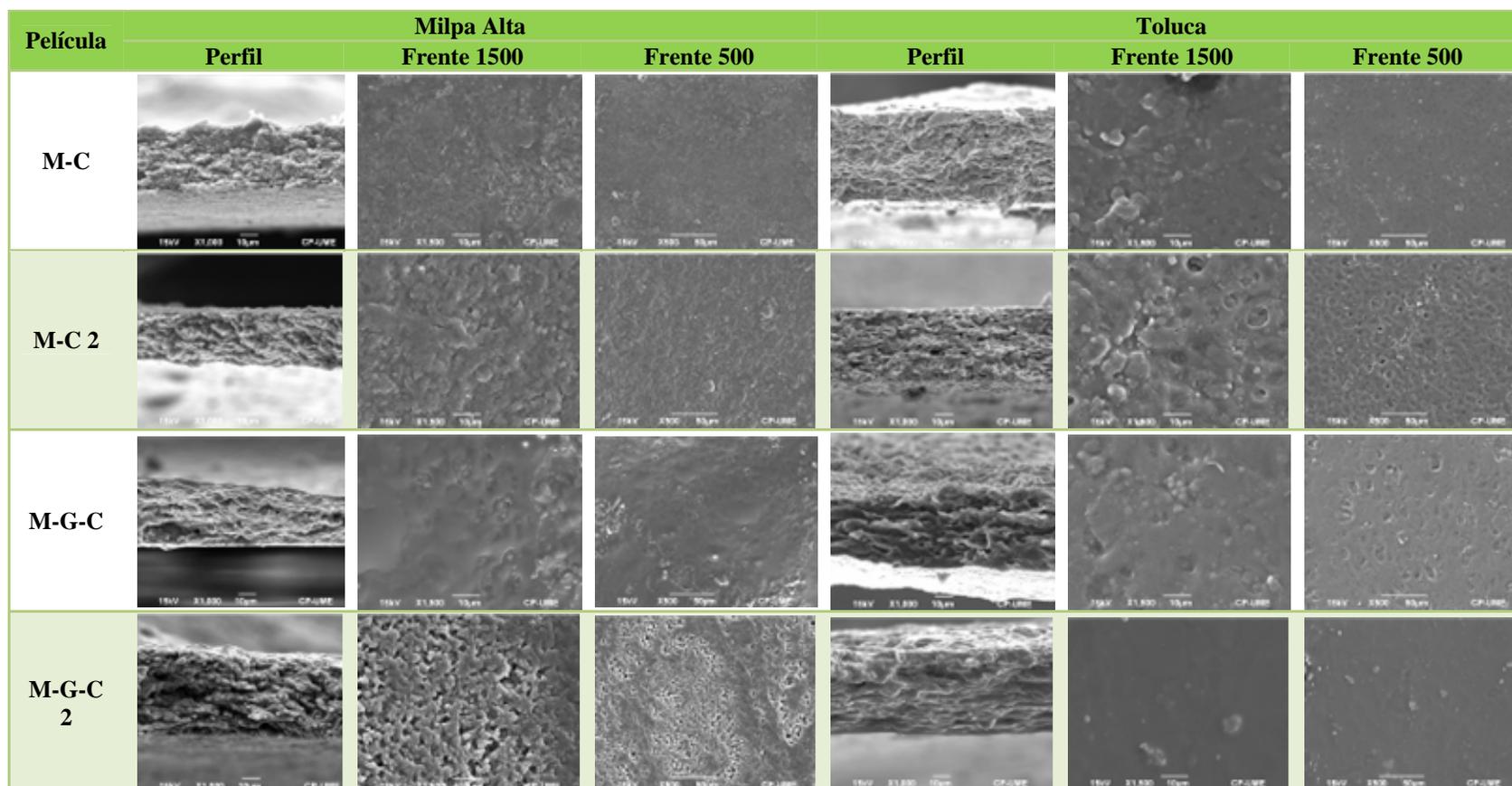


Figura 48. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de diferentes películas elaboradas a base de mucílago de nopal en su sección transversal y dos tomas superficiales a 1000x, 1500x y 500x, respectivamente.

(Continuación)





RESULTADOS Y DISCUSIÓN

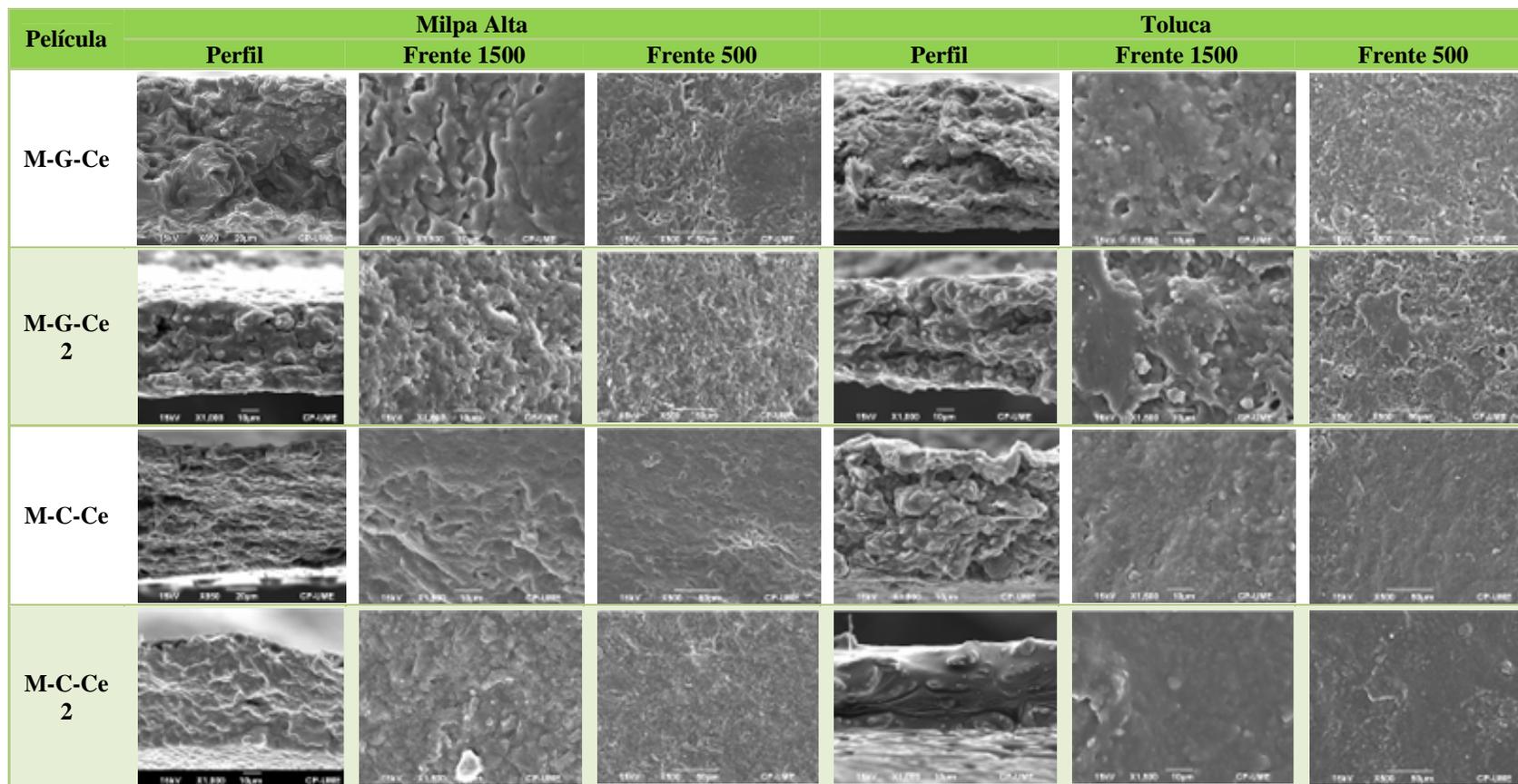


Figura 48. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de diferentes películas elaboradas a base de mucílago de nopal en su sección transversal y dos tomas superficiales a 1000x, 1500x y 500x, respectivamente.

(Continuación)



5.2. APLICACIÓN EN CHIRIMOYA

5.2.1. Parámetros de calidad en chirimoya sin tratar

Los frutos cumplieron con las especificaciones para ser clasificados de primera categoría de acuerdo con un reglamento europeo: (CE) N° 1221/2008, a pesar de que presentaron ligeros defectos de forma, desarrollo y coloración y ligeras alteraciones de la epidermis, pero sin ningún deterioro en la pulpa (**Figura 49**).



Figura 49. Apariencia visual de las chirimoyas estudiadas.

La chirimoyas mostraron las características propias de la variedad y en base al mismo reglamento, los frutos se posicionaron en un calibre de 5, es decir un peso promedio entre 225 y 300 g, siendo éste el calibre mínimo para aceptar a las chirimoyas de primera calidad (**Cuadro 19**).

Cuadro 19. Caracterización física de las chirimoyas de estudio

	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (cm)	Diámetro Longitudinal (cm)	Luminosidad	Croma	Tono
Chirimoya	258.8 ± 28.24	23.68 ± 1.79	13.12 ± 0.96	34.83 ± 3.1	17.86 ± 1.28	80.5 ± 7.87

Los datos son la media de 24 frutos por variedad ± SD.

5.2.2. Parámetro fisiológico

La intensidad respiratoria (IR) de las chirimoyas varió con el tiempo de almacenamiento y con el tratamiento aplicado (**Figura 50**).



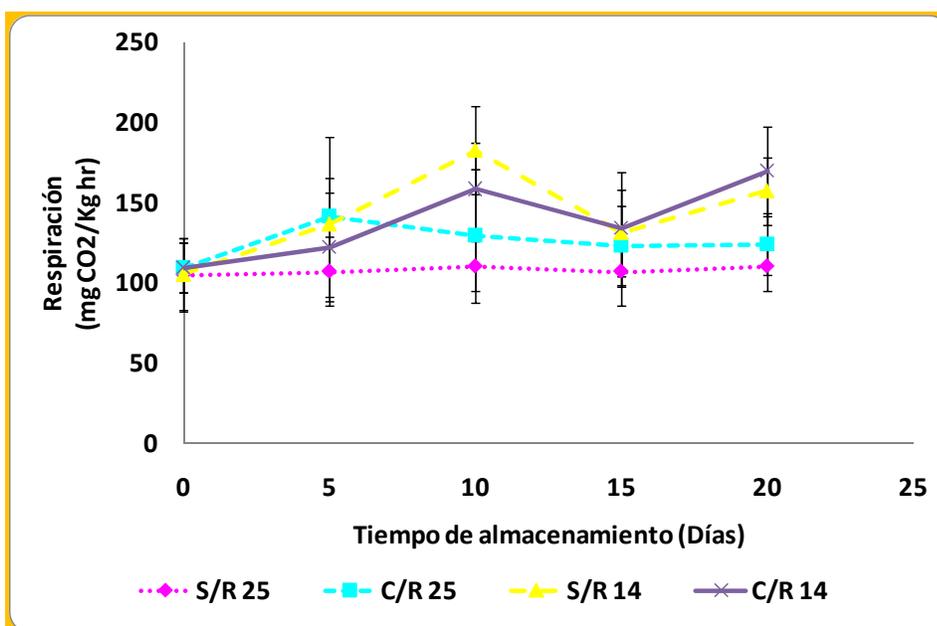


Figura 50. Evolución de la tasa respiratoria (mg CO₂/g de PF**h*) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14 °C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25 °C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

Al almacenar a 14 °C se observó un aumento de la IR a partir de los 5 días, mientras que a 20 °C sin recubrimiento se mantuvo constante. El tratamiento de S/R 14 °C fue el de mayor tasa respiratoria presentando a los 10 días de almacenamiento su máximo climaterio, seguido de C/R a 14 °C que a los 20 días de almacenamiento presentó su máximo climaterio, por lo que la aplicación del recubrimiento afectó favorablemente en la IR, ya que las chirimoyas recubiertas tuvieron mayor vida de anaquel.

Las chirimoyas sometidas al tratamiento de S/R 25 °C en todo el almacenamiento no mostró el comportamiento de un fruto climatérico reportando una tasa promedio de 100 mg CO₂/Kg de PF**h*, así mismo tuvieron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a las demás chirimoyas sometidas a otros tratamientos que no mostraron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellas.

Algunos estudios (Broughton y Tan, 1979; Paull, 1982; Brown, *et al.*, 1988; Morena y De La Plaza, 1993) han confirmado la forma irregular de la curva de las vías respiratorias de





cosecha de fruta *Annona*, y también mostraron que el aumento de etileno se queda días tras el inicio de la subida respiratoria, chirimoyas y atemoyas mostraron dos aumentos sucesivos en la tasa de respiración mientras que otras anonas mostraron sólo un aumento (Pareek *et al.*, 2011).

Algunos autores concluyen que el aumento de CO₂ en la evolución preclimática de la respiración mitocondrial es debido a un mayor suministro de carboxilatos como sustratos, probablemente inducido por el desprendimiento del árbol y el segundo aumento corresponde con la respiración durante la maduración de las frutas (Desmand *et al.*, 1994).

Los frutos recubiertos mostraron una IR mayor a los no recubiertos, con lo que se contraponen a los resultados obtenidos por otros autores, debido a que ellos observaron que los recubrimientos crean una barrera semipermeable a los gases (CO₂ y O₂) y reducen la IR de las mismas (Rojas-Graü *et al.*, 2009), mientras que otros (Bonilla *et al.*, 2011) no observaron un efecto de los recubrimientos en la IR de frutas recubiertas.

5.2.3. Parámetros de calidad

5.2.3.1. Color

El color de los frutos es probablemente el factor más importante, por el cual el consumidor evalúa la calidad. Puede considerarse bajo tres aspectos: Luminosidad, *chroma* y *hue* (Flores, 2000).

Luminosidad:

La luminosidad de las chirimoyas varió con el tiempo de almacenamiento y con la aplicación de recubrimientos (**Figura 51**), la cual disminuyó conforme avanzó el tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos.



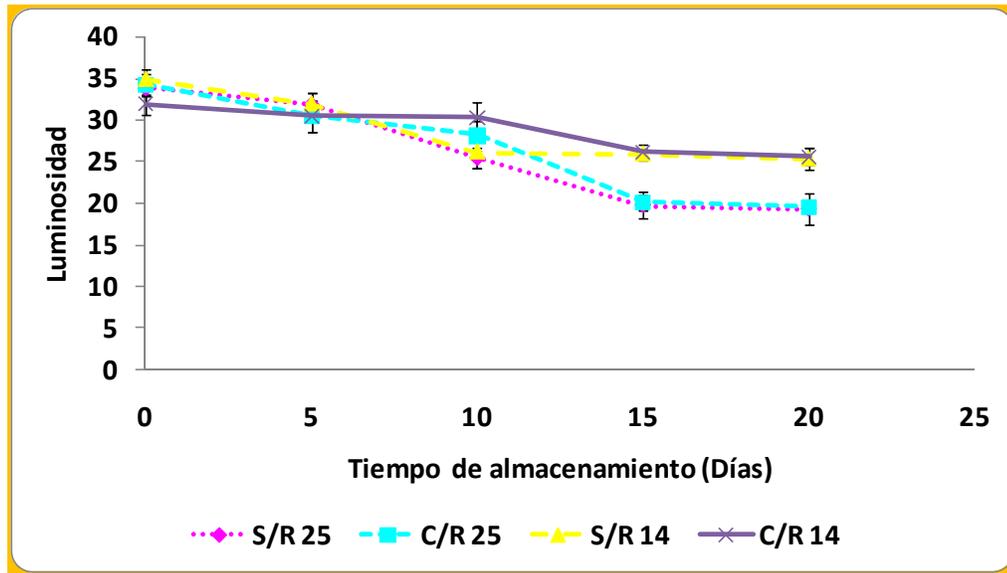


Figura 51. Evolución de la luminosidad en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

A los 0 y 5 días de almacenamiento todos los tratamientos no ocasionaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la luminosidad, para el día 10 se observó que el recubrimiento afectó los resultados de luminosidad, ya que S/R 25 y S/R 14 fueron iguales con una luminosidad promedio de $L=28$, mientras que las chirimoyas con mayor luminosidad las presentaron C/R 14 y las de menor fueron S/R 25, para los días 15 y 20 se formaron dos grupos, quedando en el primero las chirimoyas recubiertas y en el segundo las no recubiertas, esto se cree fue debido a que las chirimoyas que fueron recubiertas conservaron o adquirieron cierta brillantez al producto, obteniendo resultados por debajo de los reportados por Berger y Galleti (2005) que también trabajaron con chirimoya ($L=55.5$).

Chroma:

El *chroma* considerado como la pureza del color, descendió conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos aplicados (**Figura 52**). La chirimoya recubierta y expuesta a 14 °C inicialmente presentó el menor *chroma* para al final del almacenamiento ser la que mayor *chroma* tuviera, haciendo que a los 15 y 20 días de



almacenamiento presentaran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con respecto a las demás chirimoyas.

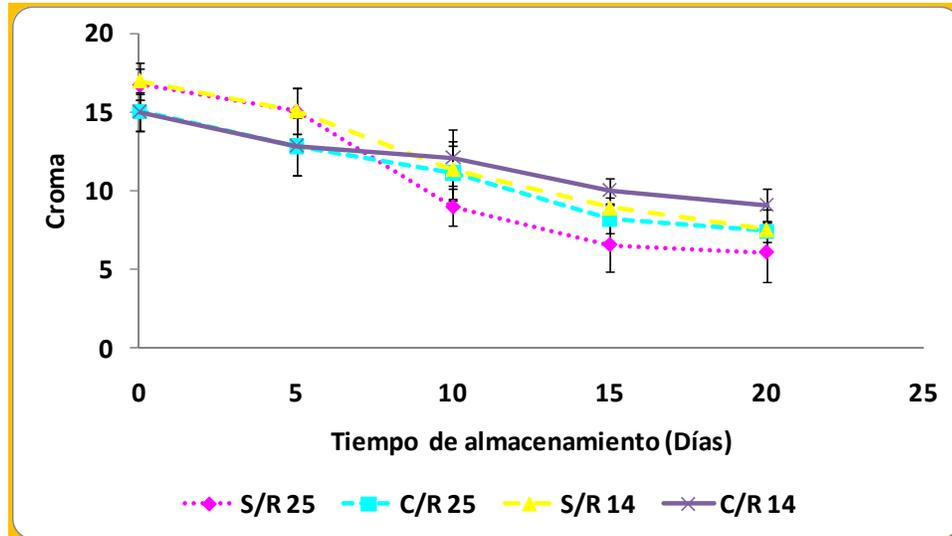


Figura 52. Evolución del *chroma* en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

El tratamiento de S/R a 25 °C presentó un comportamiento inverso al tratamiento de C/R 14. Por otro lado las chirimoyas tratadas con C/R 25 y S/R 14 reportaron ser similares desde los 10 días hasta los 20 días de almacenamiento, por lo que hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en el *chroma* de estas chirimoyas.

En el *chroma* hubo un descenso conforme avanzó el tiempo de almacenamiento similar comportamiento a lo reportado por Paull (1982) que trabajó con guanábana, pero no así con el trabajo realizado por Berger y Galleti (2005) los cuáles analizaron chirimoya ($C = 36$).

Hue:

El *hue* siendo de manera general el color en sí de los frutos no presentó una tendencia definida, mostrando al final del almacenamiento diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de *hue* ocasionada por los diferentes tratamientos (**Figura 53**).



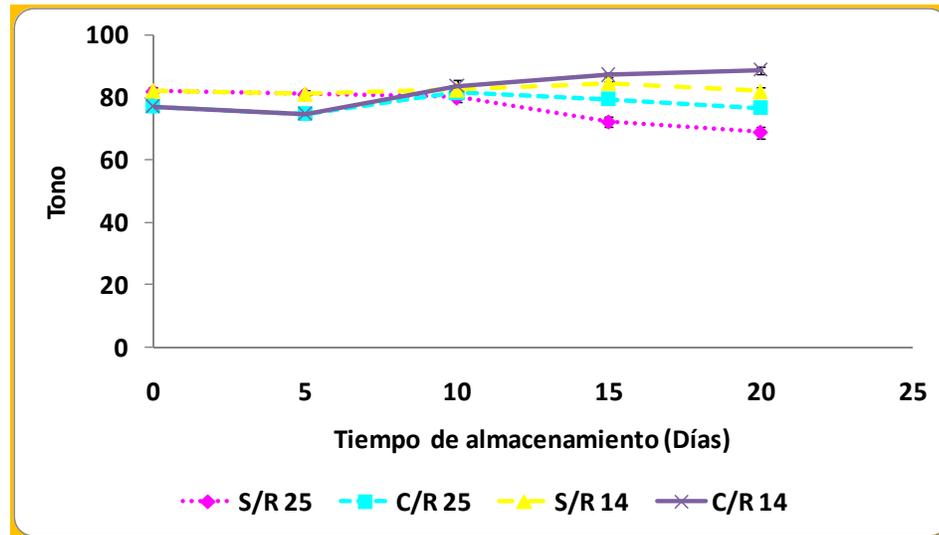


Figura 53. Evolución de *hue* en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

A los 10 días de almacenamiento, el tono de las chirimoyas se vio afectado por el tratamiento aplicado, reportando un tono promedio de 83, por lo que no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en *hue*.

Las chirimoyas que no fueron sometidas a recubrimiento mantuvieron constante su tono hasta los 10 días de almacenamiento, por lo que no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$), pero después de este tiempo éstas mismas chirimoyas se vieron afectadas por la temperatura, mostrando a 25 °C una disminución de tono y a 14 °C un aumento de éste.

El color de manera visual mostró que las chirimoyas recubiertas al día 0 presentaron cierta opacidad en comparación con las no recubiertas que no presentaron éste efecto (**Figura 54**). Conforme avanzó el tiempo de conservación se mostró todo lo contrario debido a que el recubrimiento comestible favoreció el retraso de la maduración y por lo tanto sus cambios en el color no se vieron afectados negativamente, es decir, no presentaron cambios de tono característico de la chirimoya, mientras que las chirimoyas que no fueron recubiertas y expuestas a 25 °C maduraron a los 5 días mostrando este fenómeno en sus cambios de color.



Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (Días)				
	0	5	10	15	20
S/R 25					
C/R 25					
S/R 14					
C/R 14					

Figura 54. Evolución de apariencia visual en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C.

La temperatura de almacenamiento afectó el color visual en las chirimoyas, mostrándose que las sometidas a 25 °C presentaron tintes negros-cafés y opacos por un exceso de maduración, mientras que los expuestos a 14 °C continuaron con la tonalidad verde inicial que estos presentaron al día 0. Pinto *et al.* (2005) mencionan que los cambios de color en la piel de color verde oscuro a verde claro o verde-amarillento son el principal índice de madurez de la chirimoya. Sin embargo, a veces el cambio de color en la piel no es muy pronunciado tal y como se mostró en el presente trabajo.

5.2.3.2. Pérdida de peso:

El porcentaje de pérdida de peso incrementó gradualmente conforme avanzó el tiempo de almacenamiento. A los 5 días todos los tratamientos mostraron una pérdida de 5 % para



después de este tiempo formarse dos grupos de acuerdo a la temperatura de almacenamiento (14 °C y 25 °C) (**Figura 55**).

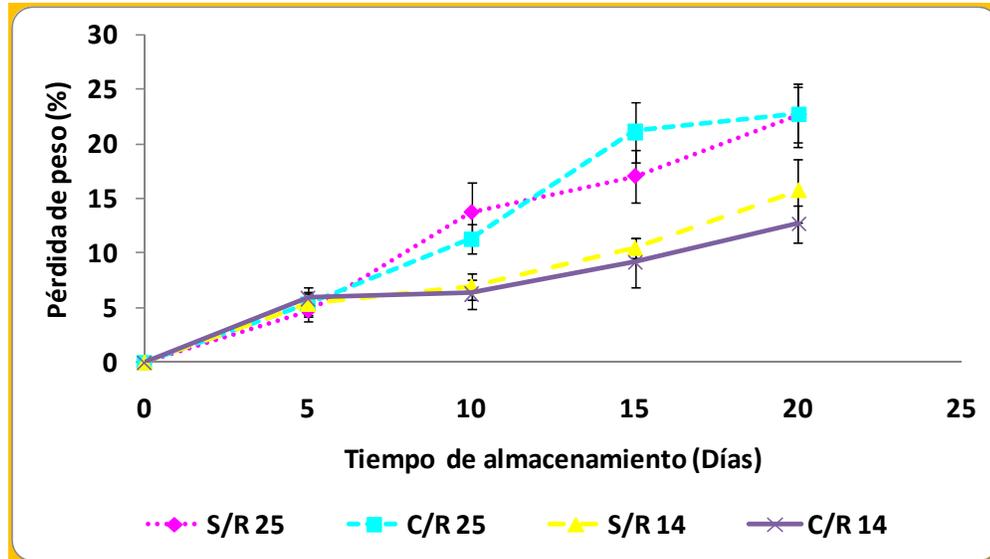


Figura 55. Evolución de la pérdida de peso (%) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

Las chirimoyas que mayor pérdida tuvieron fueron las que se almacenaron a 25 °C fueran o no recubiertas, sin presentar diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellas, seguidas de éstas fueron las no recubiertas almacenadas a 14 °C y por último las chirimoyas recubiertas a 14 °C mostrando estas dos últimas diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ellas y con las demás chirimoyas.

El presente trabajo queda en desacuerdo con algunos trabajos en los que mencionan que frutos recubiertos mostraron mayor pérdida de peso, debido a que consideran que los materiales con los que se elaboró el recubrimiento son en la mayoría de las veces higroscópicos, absorben agua del fruto y que posteriormente la liberan al medio ambiente. Sin embargo, se concuerda con Goñi *et al.* (2007), que piensan que los recubrimientos ocasionan la formación de una costra en las células superficiales que impiden la salida de agua.



5.2.3.3. Firmeza

La firmeza disminuyó en todos los chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos conforme transcurrió el tiempo de conservación (**Figura 56**). La menor firmeza se dio en chirimoyas sin recubrimiento almacenadas a 25 °C y las de mayor firmeza fueron las recubiertas almacenadas a 14 °C. La mayor pérdida de firmeza se dio a los primeros cinco días de almacenamiento, la cual descendió un promedio de 105 N, no presentando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) a partir de este tiempo en las chirimoyas tratadas con S/R 14 con las C/R 25, pero si ($P \leq 0.05$) en las sometidas a S/R 25 y C/R 14.

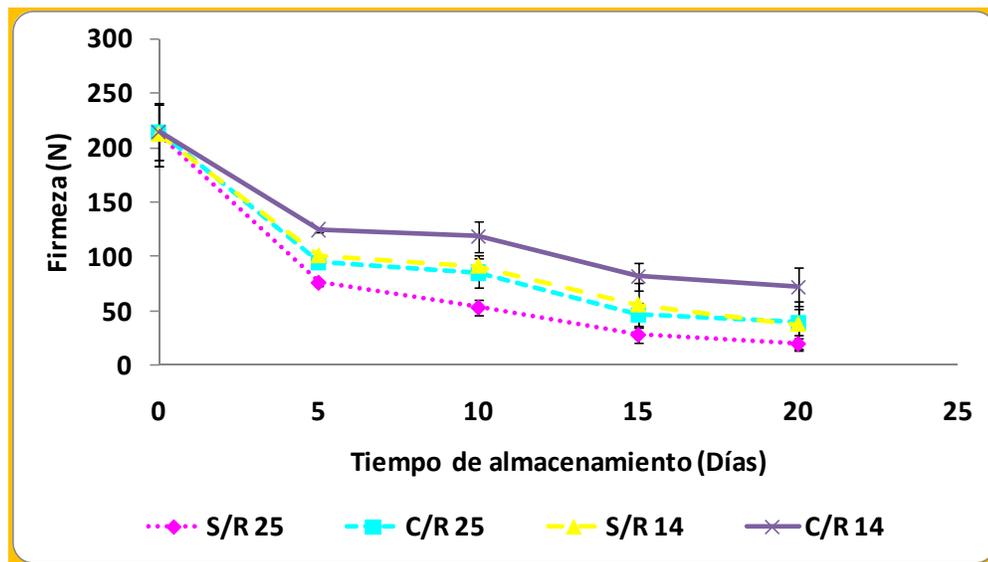


Figura 56. Evolución de la firmeza (N) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

En algunos estudios se ha observado una relación entre la firmeza del fruto y la pérdida de peso de los mismos, siendo la deshidratación responsable de la pérdida de turgencia del fruto y, por tanto, de la pérdida de firmeza global (Saucedo-Pompa *et al.*, 2009; Shotornvit, 2011). Sin embargo, en el presente trabajo, las chirimoyas de mayor firmeza correspondieron con las de menor pérdida de peso. Según Rojas-Graü *et al.* (2009) los



recubrimientos comestibles permiten controlar la respiración y senescencia de las frutas de forma similar a las atmosferas modificadas. Por tanto, el efecto de los recubrimientos que tienen de mantener la firmeza se puede atribuir a que estos modificaron la atmosfera interna de las chirimoyas.

5.2.3.4. Sólidos solubles

Los sólidos solubles aumentaron con la maduración debido a que tienen una relación con los ácidos orgánicos que tienden a disminuir influyendo al final en la calidad sensorial (Figura 57).

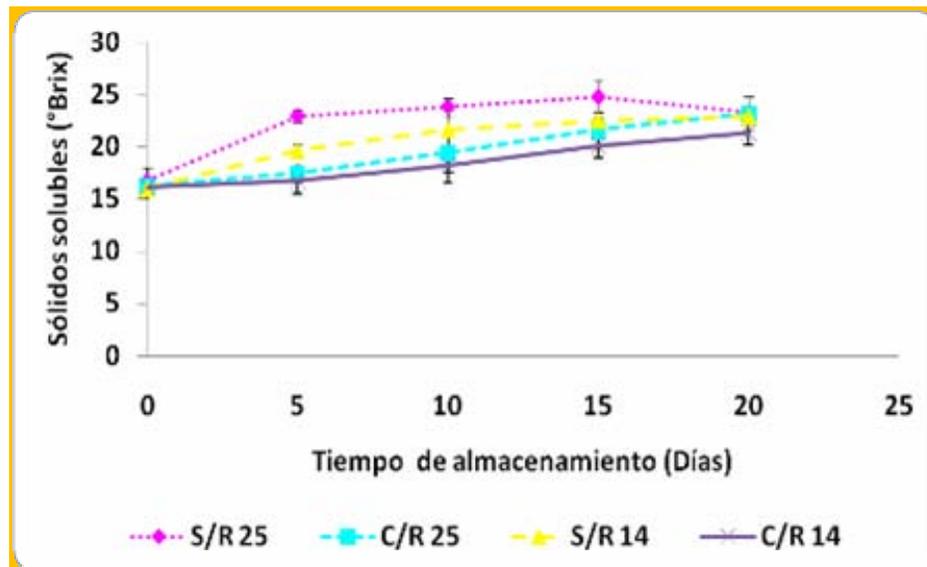


Figura 57. Evolución de sólidos solubles (°Brix) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

Estadísticamente al final de estudio (20 días), los sólidos solubles no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$), reportando valores promedio de 25 °Brix, no así en los días intermedios (5, 10 y 15 días) en los que si se presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$).





Los sólidos solubles de las chirimoyas sin recubrir a 25°C a los 15 días en vez de continuar con un aumento éstos descendieron debido a que ya se estaba pasando del estado de madurez a la senescencia y con ello empezó una fermentación que en vez de seguir la conservación de los azúcares comenzó la degradación de los mismos.

Resultados obtenidos en el presente trabajo y comparados con el de Goñi *et al.* (2007) que trabajaron con chirimoya (11.1-22.4 °Brix), y al de Paull (1982 y 1983) que estudió guanabana (10 a 26 °Brix) fueron similares.

5.2.3.5. pH

El pH incrementó conforme transcurrió el tiempo de conservación, no presentando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) para los 0, 5, 10 y 15 días de almacenamiento, no así a los 20 días en donde se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre las chirimoyas recubiertas expuestas a 14 °C con las chirimoyas sin recubrir almacenadas a 25 °C (**Figura 58**).

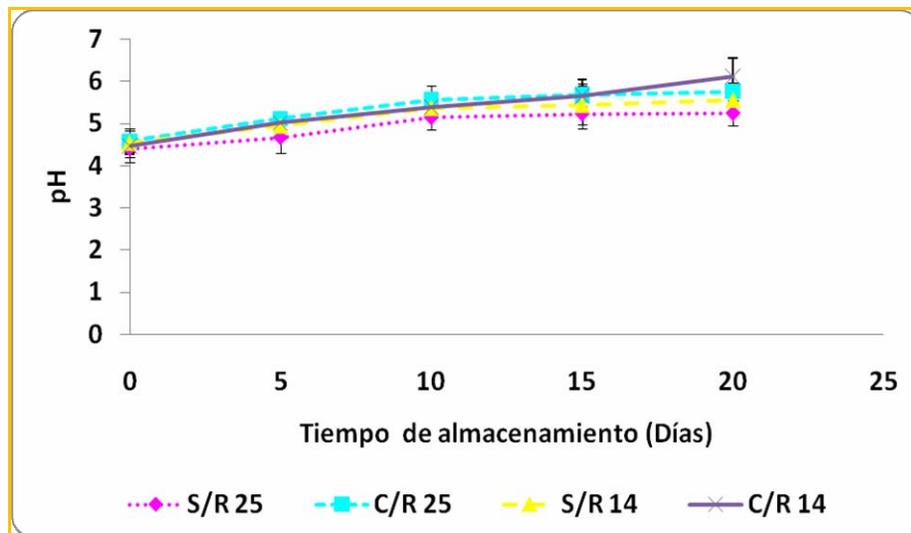


Figura 58. Evolución del pH en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.





El presente trabajo comparado con otros estudios como el de Goñi *et al.* (2007) se observa que ambos trabajos tienen el mismo comportamiento y valores similares (4.3 a 6.2), del mismo modo con el trabajo de Pall (1982 y 1983) que reportó valores de 3.6 a 5.8 en guanabana, no así con el trabajo de Bolivar -Fernández *et al.* (2009) que mencionaron que el pH descendió conforme maduraron los frutos de *Annona*.

5.2.3.6. Acidez

La acidez disminuyó conforme avanzó el tiempo de conservación. Las chirimoyas C/R almacenadas a 14 °C presentaron la menor disminución de acidez y las chirimoyas sin recubrir a 25 °C las que tuvieron mayor descenso de acidez (**Figura 59**).

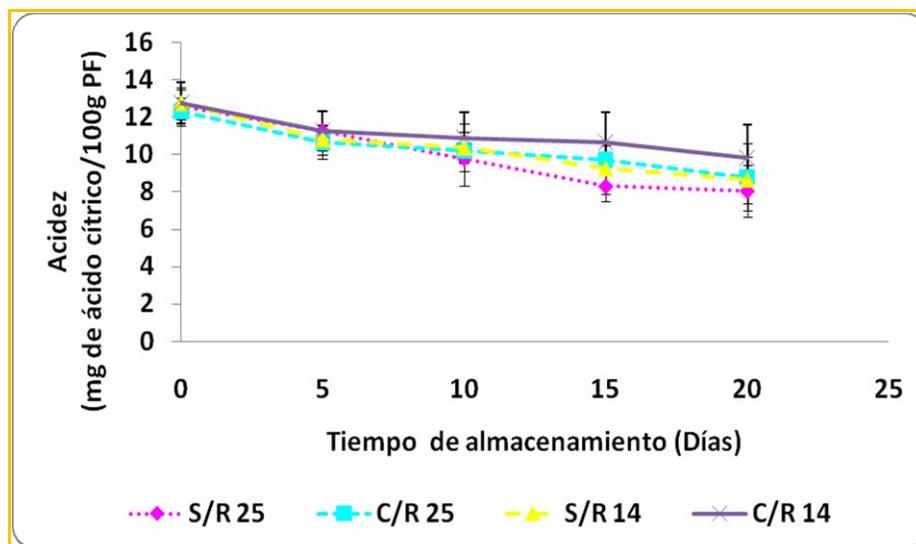


Figura 59. Evolución de la acidez (mg de ac. cítrico/100g de PF) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

Estadísticamente a los 0, 5 y 10 días de almacenamiento, la acidez no presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$), pero si ($P \leq 0.05$) para los 15 y 20 días ocasionada por los tratamientos C/R 14 con respecto a S/R 14 que fueron diferentes, mientras que C/R 25 y S/R 14 resultaron ser iguales.



Los resultados del presente trabajo comparados con otros trabajos como el de Gutiérrez *et al.* (1994) que trabajaron con chirimoya y al de Paull *et al.*, (1983) que estudiaron a la guanabana, fueron inversos a los que ellos reportaron, donde mencionan que la acidez aumentó debido a la producción de ácidos orgánicos durante la maduración.

La acidez disminuyó conforme avanzó el tiempo de conservación y fue afectada por la temperatura a la que fueron almacenadas las chirimoyas, así como si éstas fueron sometidas o no a recubrimiento.

5.2.4. Parámetros químicos

5.2.4.1. Azúcares totales

Los azúcares totales en la mayoría de las chirimoyas fueron incrementando desde el inicio de estudio hasta los 20 días de conservación a excepción de las chirimoyas sin recubrir y almacenadas a 25 °C, las cuales después de 10 días de almacenamiento descendieron, debido a que las chirimoyas sometidas a estas condiciones rápidamente maduraron y empezaron una senescencia presentando una reducción de los azúcares (**Figura 60**).

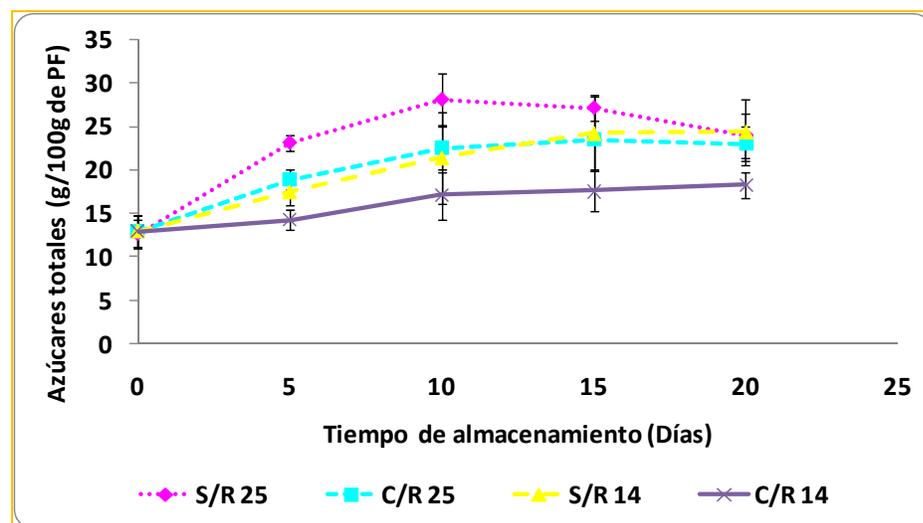


Figura 60. Evolución de azúcares totales (g/100g de PF) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 =





temperatura de 14°C y 25= temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

El menor aumento de azúcares totales lo presentaron las chirimoyas sometidas al tratamiento de C/R 14, ocasionando diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos durante todo el tiempo de conservación, afectando la calidad sensorial del fruto, mientras que las chirimoyas tratadas con C/R 25 y S/R 14 resultaron durante todo el estudio ser similares.

5.2.4.2. Etanol

Un aumento en la producción de etanol durante el almacenamiento se observó en todas las condiciones de tratamiento (**Figura 61**). Sin embargo, la producción de este gas fue mayor en chirimoyas sin recubrimiento almacenadas a 25°C que en chirimoyas recubiertas, en tal sentido se puede explicar este fenómeno con la fermentación de azúcares que las chirimoyas estaban presentando creyendo que en particular fueron levaduras y mohos las que ocasionaron esta fermentación, para así sucesivamente ocasionar un alto contenido de etanol y mostrar diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a los 15 y 20 días de almacenamiento con respecto a los demás tratamientos.

Por otra parte, los demás tratamientos (C/R 25, S/R 14 y C/R 14) ocasionaron una menor producción de este gas, lo que demuestra que la aplicación de recubrimientos comestibles aplicados a chirimoyas no afecta en la producción de etanol, si no lo contrario (pueden limitar la producción de etanol), concordando con el trabajo de Rojas Grau *et al.* (2007) que trabajo con manzanas mínimamente procesada y recubiertas con alginato, donde mencionan que hubo mayor producción de etanol en manzanas no recubiertas en comparación con las que sí fueron recubiertas. Pero no así con los trabajos de Pérez-Gago *et al.* (2003), Baldwin *et al.* (1999) y Valencia-Chamorro *et al.*, 2009, donde estudiaron con ciruelas recubiertas hidroxipropilmetilcelulosa con lípido, mangos mínimamente procesados recubiertos con derivados de celulosa y naranjas recubiertas con hidroxipropilmetilcelulosa con lípido,





respectivamente, donde reportan que el recubrimiento al ser una barrera a los gases CO₂ y O₂, hicieron que se incrementaran los niveles de etanol y acetaldehído.

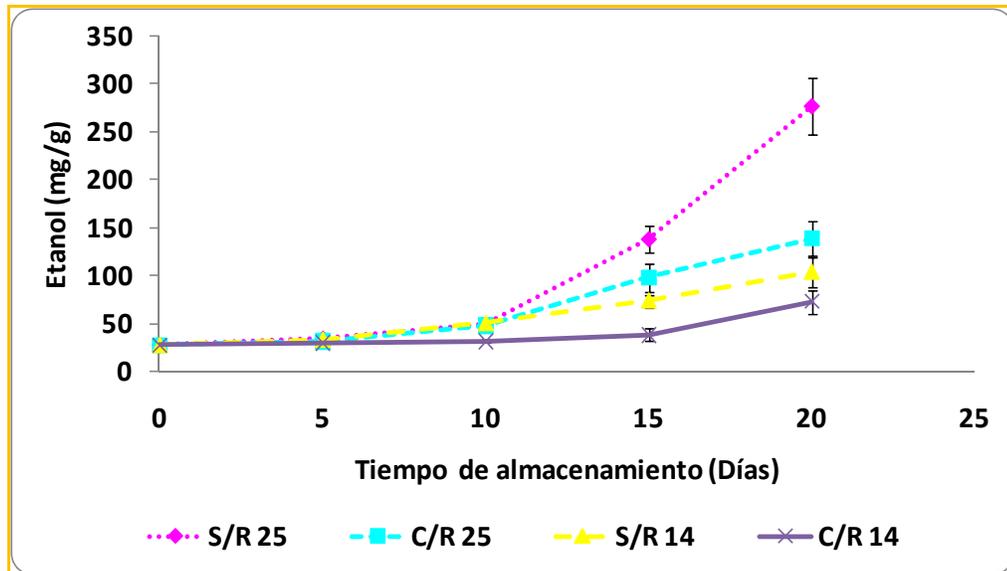


Figura 61. Evolución del contenido de etanol (mg/g) en chirimoyas sometidas a diferentes tratamientos, donde S/R = sin recubrimiento; C/R = con recubrimiento; 14 = temperatura de almacenamiento de 14°C y 25 = temperatura de almacenamiento de 25°C. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD.

En el presente trabajo, al inicio de la conservación se detectaron cantidades de acetaldehído menores de 6 mg/g con y sin recubrimiento, así mismo no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$), pero posteriormente a este tiempo no se volvió a detectar contenido de acetaldehído.

La concentración de etanol en las chirimoyas estuvo en el rango de 60-300 mg/g, asemejándose al trabajo de Raybaudi-Massilia *et al.* (2008) en melón mínimamente procesado que reportó valores de 150-1000 mg/g, pero por debajo de lo reportado en naranja (1040-1240 mg/g) y mandarina (3000-4000 mg/g) (Valencia-Chamorro *et al.*, 2009 y Navarro-Tarazaga *et al.*, 2008).



5.3. APLICACIÓN EN NECTARINA MÍNIMAMENTE PROCESADA

5.3.1. Parámetros de calidad en nectarina entera

Los frutos cumplieron con las especificaciones y fueron clasificados de primera categoría de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 2335/1999, presentaron las características propias de la variedad, sin defectos de forma ni de desarrollo o de coloración, sin ningún deterioro en la pulpa y sin que estuviesen abiertas en el punto de unión del pedúnculo (Carrera, 2002) (Figura 62).



Figura 62. Apariencia visual de las nectarinas estudiadas.

Con base al mismo reglamento, la nectarina “Big Top” presentó un calibre de 41 mm, inferior al D, que establece como mínimo 51 mm y la nectarina “Arcela” cumplió con el calibre B (61-67 mm) como recoge la Cuadro 20 (Carrera, 2002).

Cuadro 20. Caracterización física de las variedades de nectarina “Arcela” y “Big Top”.

Variedad	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (mm)	Diámetro Longitudinal (mm)	Luminosidad	Croma	Tono
“Arcela”	158.81* ± 28.24 a	64.67* ± 3.79 a	55.97* ± 2.9 a	44.03* ± 7.1 a	42.86* ± 4.28 a	51.5* ± 7.87 a
“Big Top”	143.09* ± 21.92 b	41.09* ± 3.39 b	38.16* ± 4.17 b	39.31* ± 4.48 b	43.44* ± 3.59 a	49.08* ± 7.83 b

* Los datos son la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).





La variedad “Big Top” presentó diferencia significativa ($P \leq 0,05$) con respecto a la “Arcela” en peso, diámetro ecuatorial, longitudinal, luminosidad y tono, no siendo así en el *chroma*.

5.3.2. Parámetros fisiológicos

5.3.2.1. Respiración

El máximo climaterio para “Arcela” fue a los 10 días en tratamientos de Mu y en Gre y a los 9 días en los tratamientos de AP y M-G, mientras que para “Big Top” sus máximos se presentaron a los 8 días en AP, Mu y Gre, no siendo así en M-G que lo presentó a los 4 días (Figura 63).

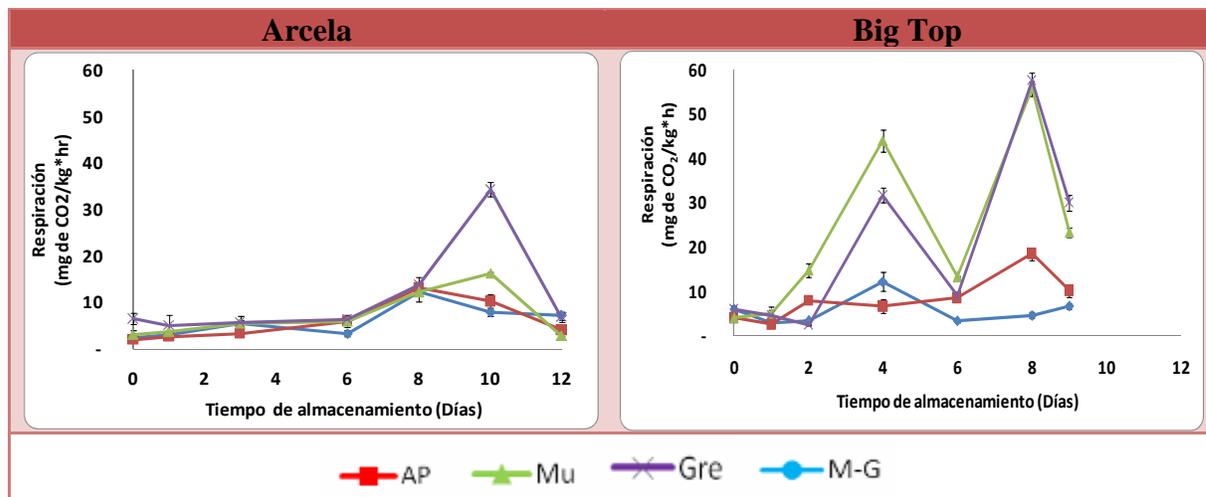


Figura 63. Cambios de la tasa respiratoria (mg de CO₂)/kg de PF**h*) de nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

La variedad “Big Top” fue la que mayor producción de CO₂ presentó en comparación con “Arcela”, la cual mostró menor tiempo de vida de anaquel al presentar 9 días de conservación, mientras que las nectarinas de “Arcela” presentaron 12 días. Ambas variedades mostraron valores de máximo climaterio similares a los reportados por Tsantili





et al., 2010 en duraznos que presentaron su máximo climaterio a los 8 días después de la cosecha con una producción de 20 mg CO₂/kg*h

De acuerdo a estos resultados, los patrones respiratorios de los frutos cambiaron dependiendo de la variedad. En trabajos de ciruela, (Díaz-Mula *et al.*, 2011), o de la misma especie (Dong *et al.*, 2001) la tasa de respiración es menor a la reportada en este trabajo, no siendo así en duraznos que presentan similitud en sus valores (Tsantili *et al.*, 2010).

Las nectarinas presentaron un comportamiento climatérico, ya que aumentaron los niveles de CO₂ en la medida que transcurrió el tiempo, presentando un incremento paulatino de la respiración.

5.3.2.2. Composición atmosférica en tarrinas

La variedad de “Big top” presentó mayor inestabilidad en el comportamiento de los gases en comparación con “Arcela” (Figura 64). En la evolución de las concentraciones de O₂ y CO₂ en el espacio de cabeza del envase con los distintos tratamientos, presentó la tendencia al equilibrio dinámico para ambos gases. Este equilibrio se establece en el momento en que se igualan los flujos del gas (O₂ o CO₂) generados por la respiración y permeados a través del envase. La velocidad de flujo del gas a través del envase aumentó con el tiempo a medida que se potenció la diferencia de concentración entre el interior y el exterior del mismo y el flujo asociado a la respiración se vio disminuido a medida que se modifican las concentraciones internas.

La solución de antioxidante (AP) fue la que menos estrés provocó en los frutos al inicio de estudio; sin embargo, conforme pasó el tiempo se pudo observar que fue similar a los demás tratamientos. En nectarinas “Arcela” la concentración de O₂ como de CO₂ alcanzaron un estado de equilibrio a los 6 días de almacenamiento, similar el comportamiento a lo encontrado por Ansorena *et al.*, (2011) que trabajo con brócoli donde el equilibrio lo reporto a los 4 días de almacenamiento.



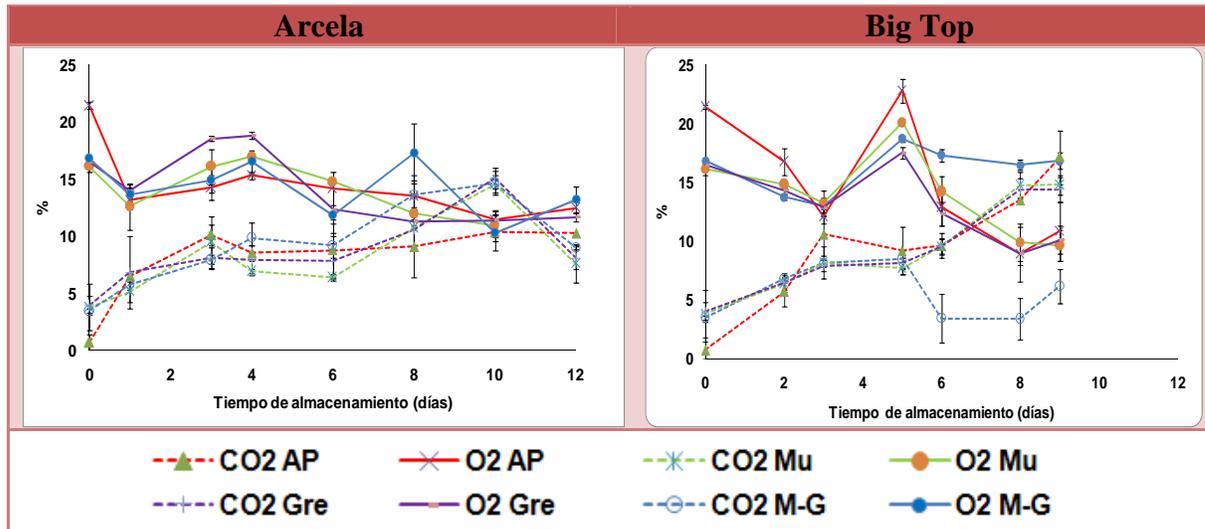


Figura 64. Cambios en la composición atmosférica (%) de nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de gretina y M-G = recubrimiento de mucílago-gretina.

Comparando nuestros resultados con los de otros trabajos se puede explicar el porqué la solución AP muestra mayor estabilidad, ya que este al contener calcio ocasiona la ralentización de la actividad respiratoria debido al ion divalente que interfiere en la regulación respiratoria (Artés *et al.*, 2009).

Malakou y Nanos (2005), han concluido que el envasado en atmósferas modificadas por si solo, es insuficiente para el mantenimiento de la calidad de varias variedades de nectarinas y duraznos, así como no promover cambios en la composición gaseosa, ya que en su trabajo la composición interna es similar a la del aire (Chiumarelli *et al.*, 2011).

En el almacenamiento de las muestras las concentraciones de O₂ y CO₂ cambian con el tiempo antes de alcanzar el equilibrio, por lo que se ha considerado que el intercambio gaseoso a través del contenedor de polipropileno biorentado (BOPP) con un microperforado de 50 µm, no es significativo, al igual que en otros trabajos encontrados (Díaz-Mula *et al.*, 2011; Ansorena *et al.*, 2011; Oms-Oliu *et al.*, 2008).



5.3.3. Parámetros de calidad

5.3.3.1. Color

Es un parámetro que puede ser distintivo entre las diferentes variedades de nectarina.

Luminosidad:

La luminosidad de las nectarinas, se incrementó conforme avanzó la maduración en las dos variedades (“Arcela” y “Big Top”) con sus diferentes tratamientos aplicados, no ocasionando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) por los tratamientos pero si por las variedades (**Figura 65**).

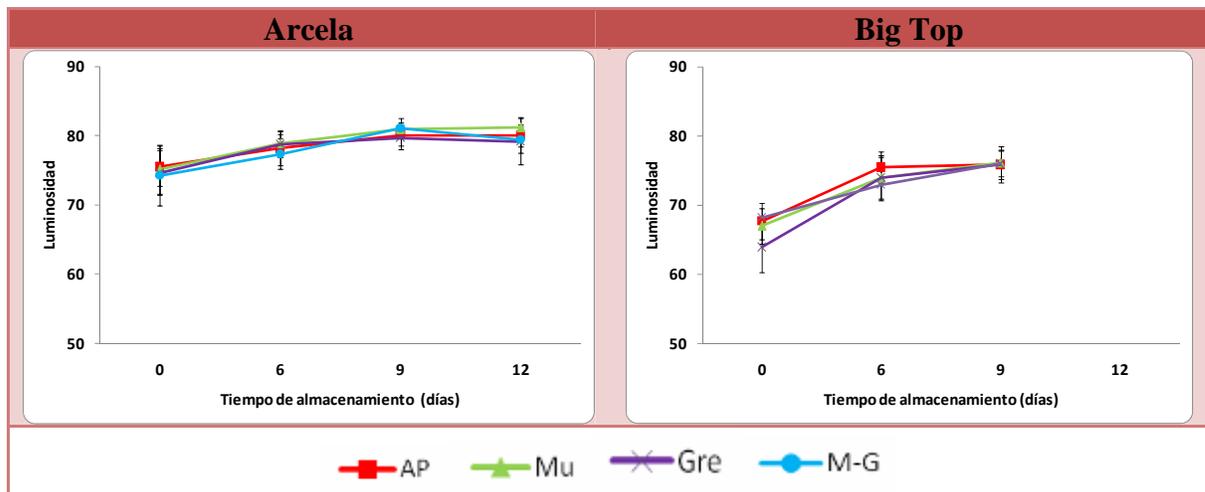


Figura 65. Evolución de luminosidad en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

La variedad “Arcela” fue la que presentó mayor luminosidad en todos sus tratamientos, en comparación con “Big Top”. El recubrimiento de Gre aplicado en “Big Top” al día 0, ocasionó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la luminosidad con respecto a los demás tratamientos (AP, recubrimiento de Gre y M-G).



Los resultados obtenidos comparados con el trabajo de Lurie *et al.*, 2011 y Pace *et al.*, 2011, con nectarinas son similares a los reportados, ya que presentaron valores de luminosidad de 74-78 y de 73-76 respectivamente.

Chroma:

El *chroma* disminuyó conforme avanzó el tiempo de almacenamiento en la dos variedades (“Arcela” y “Big Top”) con sus diferentes tratamientos aplicados, mismos que no provocaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en el *chroma*, no así ($P \leq 0.05$) las variedades. Al final de la conservación la variedad “Arcela” fue la que menor pureza presentó en todos sus tratamientos en comparación con “Big Top” (Figura 66).

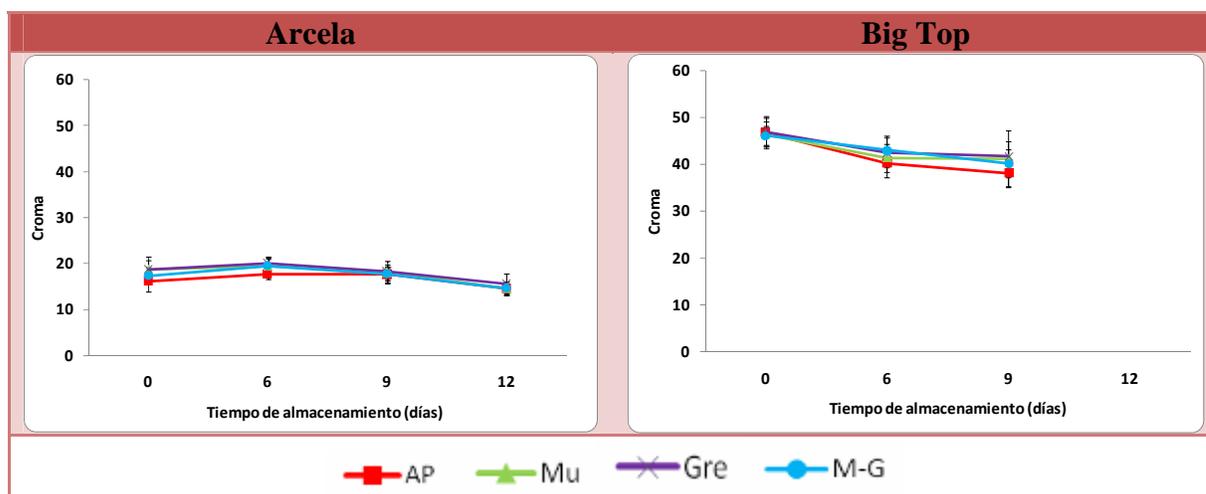


Figura 66. Evolución de *chroma* en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

Diferentes autores que determinaron *chroma* en nectarina (Lurie *et al.*, 2011 y Pace *et al.*, 2011) presentaron valores similares a los reportados en el presente trabajo para la variedad “Big Top” con valores de C=40-44 y 38.8-44.9, respectivamente, ya que para “Arcela” mostró 55 % menos *chroma* que “Big Top”.





RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Otros autores como Tsantili *et al.* (2010) que han trabajado con durazno también presentaron valores similares a los reportados a “Big Top”, pero otros como Díaz-Mula *et al.*, (2009) que trabajaron con ciruela reportaron valores de $C=12.5-20.5$ lo que se asemeja a la variedad “Arcela”.

Hue:

El valor de *hue* presentó un aumento gradual a lo largo de la maduración del fruto, indicando que el tono de la coloración de la pulpa de nectarina “Arcela” es blanco-amarilla y para “Big Top” es amarillo, por lo que hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en éste parámetro (**Figura 67**).

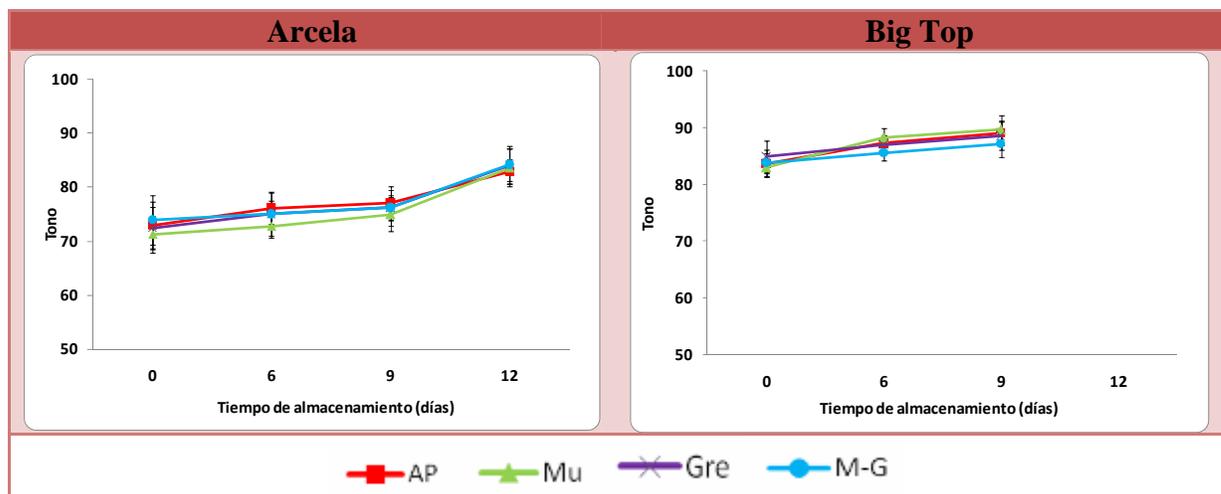


Figura 67. Evolución de *hue* en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

Las nectarinas “Arcela” sometidas a tratamiento de Mu ocasionó al sexto día de conservación diferencia significativa ($P \geq 0.05$), con respecto a las demás nectarinas, mientras que la nectarinas “Big Top” en todo su almacenamiento no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$). Los resultados obtenidos y comparados con otros estudios (Legua



et al., 2011) en los que se trabajó con nectarina, se encontraron por arriba de los que ellos obtuvieron ($Hue = 45-70$), no así en comparación con los de Lurie *et al.* (2011) y Pace *et al.* (2011) que presentaron valores de $Hue = 81-86$ y $89-93$ respectivamente.

Al inicio del estudio ambas nectarinas presentaban tintes verdes de inmadurez pero que debido a la degradación de la clorofila conllevó a la desaparición del color verde y el aumento en el tono, viéndose de manera visual en la **Figura 68**, donde se observa que al inicio del estudio, las nectarinas en el centro presentaron tonalidades verdes, este fenómeno se vio mejor en las nectarinas “Arcela” ya que éstas fueron de carne blanca lo que hizo que se apreciara mejor en comparación con “Big Top” que eran de carne amarilla.

Tratamiento	Arcela				Big Top		
	Días de almacenamiento						
	0	6	9	12	0	6	9
AP							
Mu							
Gre							
M-G							

Figura 68. Evolución de la apariencia visual en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

Las nectarinas tuvieron una deshidratación y a su vez un pardeamiento por ello que tuviesen cambios de color. El cambio de color que sufrieron las nectarinas durante su



completa maduración les dio las características principales de aceptabilidad en el mercado; sin embargo, el color es un parámetro difícil de correlacionar con la madurez debido a que cada variedad presenta diferente color.

5.3.3.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso aumentó conforme avanzó los días de almacenamiento de las nectarinas, tanto en “Arcela” como en “Big Top”. La variedad que mayor pérdida presentó fue la “Big Top” perdiendo un promedio de 5.5 % a los nueve días de su almacenamiento y la “Arcela” a los 12 días perdió un promedio de 5 %, por lo que hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre variedades (**Figura 69**).

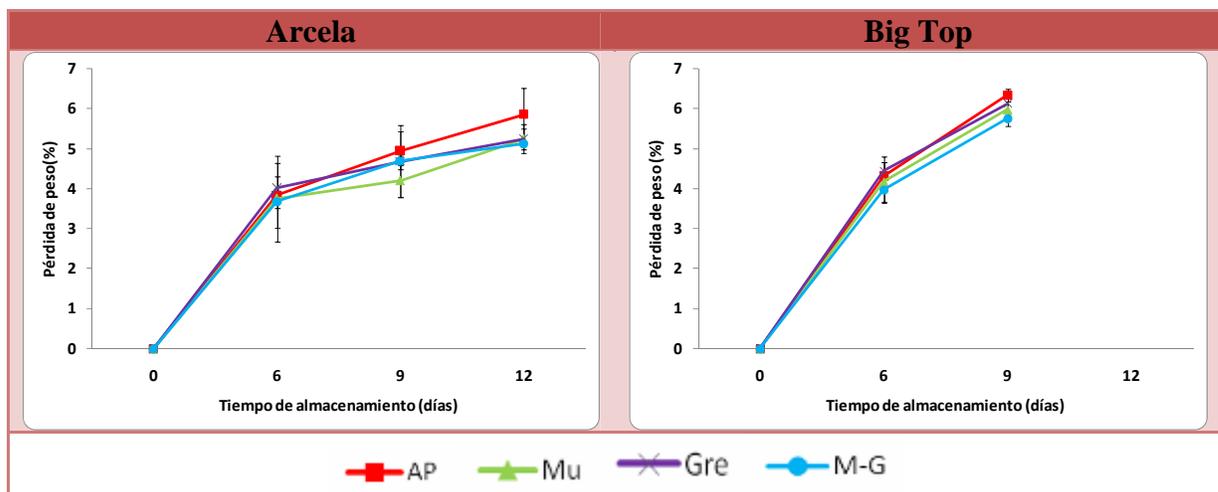


Figura 69. Evolución de pérdida de peso (%) en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

Nectarinas “Arcela” sometidas a los diferentes tratamientos no provocaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) a los 0 y 6 días de almacenamiento, pero si para los 9 y 12 días, siendo el recubrimiento de Mu el que presentó diferencia ($P \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos para el día 9 y el AP para el día 12. Las nectarinas de “Big Top” con





sus diferentes tratamientos presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) a los 6 y 9 días, donde AP y Mu fueron iguales y Gre y M-G diferentes al sexto día, mientras que para el día 9, Mu y Gre fueron iguales y AP y M-G diferentes.

Al comparar los resultados del presente trabajo con otros estudios de nectarina (Lurie *et al.*, 2011; Dagar *et al.*, 2011), se encontró que en todos la pérdida de peso aumentó con forme avanzó el tiempo de conservación de 3 a 7 % de pérdida de peso, no así para frutos como los duraznos que solo perdieron 3.5 %.

5.3.3.3. Firmeza

La firmeza descendió progresivamente en el periodo de almacenamiento La mayor firmeza la presentó las nectarinas de “Big Top”, seguido de las “Arcela”, ocasionando diferencia significativa entre variedades (**Figura 70**).

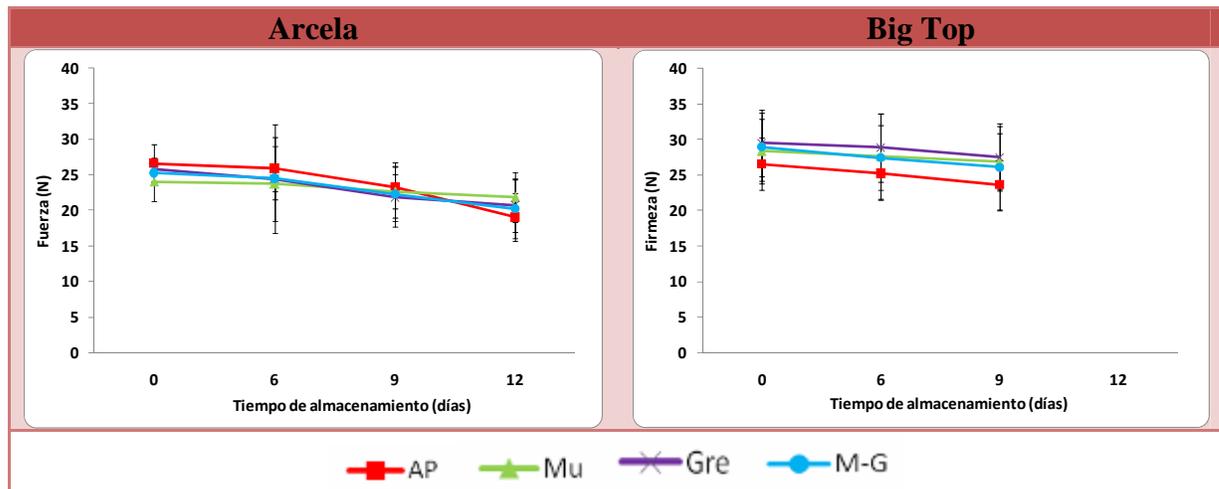


Figura 70. Evolución de firmeza (N) en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de gretina y M-G = recubrimiento de mucílago-gretina.

La firmeza al inicio de estudio en nectarinas de “Arcela” con el tratamiento de AP presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos, mostrando la





mayor firmeza y el recubrimiento de Mu el de menor firmeza. Para el día 6 se formaron dos grupos, en uno se encuentran AP y Mu con una firmeza promedio de 25.5 N y en el otro Gre y M-G con una firmeza promedio de 24.8 N, para el día 9 no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con una firmeza promedio de 24.5 N y para el día 12 hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre AP y Gre.

La firmeza en las nectarinas “Big Top” con sus diferentes tratamientos para el día 0 y 9 no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) obteniendo valores promedio de 28.5 N y 26.3 N respectivamente, mientras que para el día 6 el tratamiento Gre resultó ser diferente al de AP y Mu.

De acuerdo con los resultados de otras especies de *Prunus* como la ciruela (Díaz-Mula *et al.*, 2009; Puerta-Gomez y Cisneros-Zevallos, 2011) y el durazno (Dagar *et al.*, 2011; Prinsi *et al.*, 2011; Tsantili *et al.*, 2010 y Meng *et al.*, 2009) así como en nectarina (Dagar *et al.*, 2011; Lurie *et al.*, 2011; Ziliatto *et al.*, 2008; Iglesias y Echeverría, 2009) el comportamiento que la firmeza presentó al disminuir con respecto al tiempo de almacenamiento, es similar a estos trabajos, reportando firmezas de 60-100 N para duraznos, de 40-50 N para ciruela y de 10-100 N para nectarina.

5.3.3.4. Sólidos solubles

El comportamiento de los sólidos solubles fue opuesto al de la firmeza mostrando una tendencia general a aumentar conforme avanzó el tiempo de almacenamiento de los frutos (**Figura 71**), teniendo un 30 % más de °Brix las nectarinas “Big Top” que las “Arcela” y por lo tanto mostrando diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre variedades.

Mostraron valores por arriba de 8 °Brix, valor mínimo que requiere la Unión Europea para la comercialización de melocotón y nectarina (Comisión Reglamento n ° 1861/2004), lo que puede ser atribuido a la degradación de polisacáridos en forma de hidrólisis, particularmente almidón y pectinas, durante la maduración en sacarosa, glucosa y fructosa, principalmente (Nicola *et al.*, 2006 y Morandi *et al.*, 2008).





RESULTADOS Y DISCUSIÓN

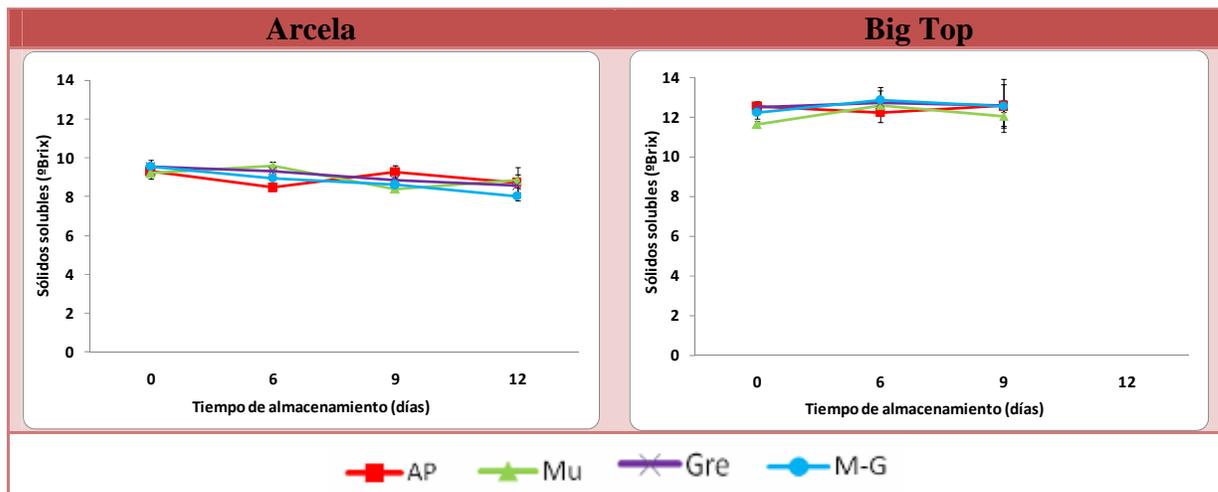


Figura 71. Cambios de sólidos solubles (°Brix) en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

Las nectarinas “Arcela” sometidas a los diferentes tratamientos en el día 0, formaron dos grupos, quedando en el primero los tratamientos de Gre y M-G con un promedio de 9.5 °Brix y en el segundo los tratamientos de Mu y AP con un promedio de 9.25 °Brix, para los días 6 y 9 todos los tratamientos ocasionaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los °Brix y finalmente a los 12 días de almacenamiento no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con un promedio de 8.5°Brix.

Los sólidos solubles en las nectarinas “Big Top” con sus diferentes tratamientos al inicio de estudio presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) siendo AP y Gre iguales y Mu y M-G diferentes, para el día 6 y 9 todos los tratamientos no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellos mostrando valores medios de 12 y 12.5 °Brix para cada día.

Se ha reportado en otros trabajos que el contenido de sólidos solubles fue similar al obtenido en frutos de la misma especie pero de diferente variedad (Dagar *et al.*, 2011; Legua *et al.*, 2011, Pace *et al.*, 2011; Cantín *et al.*, 2009 y 2010; Iglesias y Echeverría, 2009; Di Vaio *et al.*, 2009, Lavelli *et al.*, 2009) así mismo en trabajos en los que se estudió





con durazno (Prinsi *et al.*, 2011; Puerta-Gómez y Cisneros-Zevallos, 2011; Meng *et al.*, 2009) o ciruela (Díaz-Mula *et al.*, 2009 y 2011).

5.3.3.5. pH

El pH aumentó conforme pasó el tiempo de conservación, encontrándose diferencia significativa ($P \leq 0.05$) ocasionada por variedades, siendo las nectarinas de “Arcela” las que presentaron menor pH en comparación con las “Big Top” en todo el tiempo de almacenamiento (**Figura 72**).

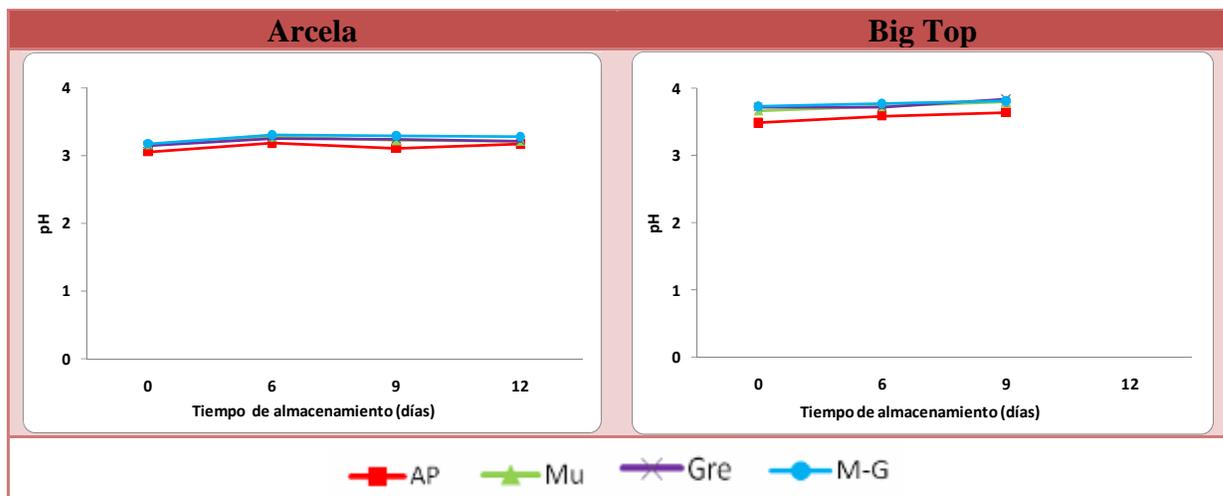


Figura 72. Evolución de pH en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

El recubrimiento de M-G fue el que mayor pH mostró durante la conservación y el de menor pH lo presentó el tratamiento de AP. El pH al día 0 presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre Mu y M-G con respecto a AP y Gre, para los 6 y 9 días de almacenamiento, todos los tratamientos provocaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) y para el día 12 hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre Mu y Gre con respecto a AP y M-G.





El pH de las nectarinas “Big Top” sometidas a los diferentes tratamientos mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre AP y el resto de los tratamientos aplicados en todo el tiempo de conservación.

El pH obtenido en el presente trabajo fue similar al reportado por Pace *et al.* (2011) y Lavelli *et al.* (2009) que trabajaron con nectarina y al de Prinsi *et al.* (2011) y Puerta-Gómez y Cisneros-Zevallos (2011) que estudiaron durazno.

El pH de las nectarinas “Arcela” en todos los días de estudio presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el tratamiento de AP en comparación con los demás tratamientos, esto se cree es debido a que la composición del antioxidante contenía ácido cítrico que pudo adherirse al fruto y ocasionar un descenso en el pH de las nectarinas, sucediendo esto también en nectarinas “Big Top”.

5.3.3.6. Acidez

Las nectarinas estudiadas presentaron un descenso gradual de ácidos conforme avanzó el tiempo de conservación, debido a que los ácidos orgánicos responsables de la acidez de los frutos son utilizados como sustratos respirables. Las nectarinas “Arcela” mostraron 31 % mayor contenido de acidez que “Big Top” haciendo que hubiera diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la acidez (**Figura 73**).

La acidez de las nectarinas “Arcela” en los 0, 6 y 12 días de almacenamiento, no tuvieron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre tratamientos, obteniendo valores promedio de 7, 6.8 y 6 mg de ac. cítrico/100g de PF respectivamente, no así para el día 9, que presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) ocasionada por M-G con respecto a los demás tratamientos.

El contenido de acidez en nectarinas “Big Top” para el día 0 presentaron diferencia significativa entre todos los tratamientos dando un valor medio de 4.5 mg de ac. cítrico/100g de PF, mientras que para el día 6 no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$)





entre tratamientos, no así para el día 9 donde se formaron dos grupos quedando en el primero AP y Mu y en el segundo Gre y M-G con valores de 5 y 6 mg de ac. cítrico/100g de PF respectivamente.

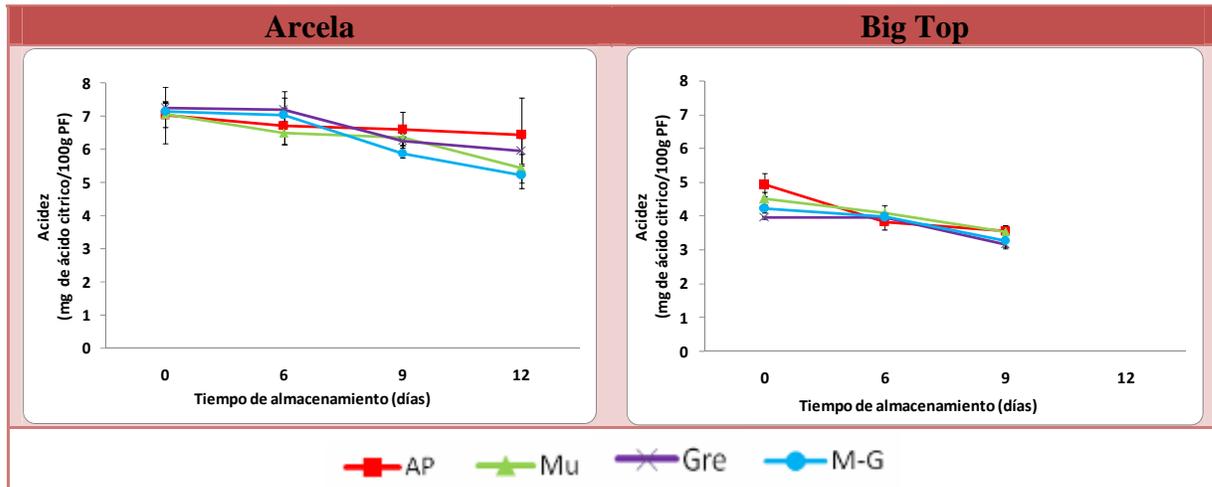


Figura 73. Evolución de acidez (mg de Ácido cítrico/100g PF) en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.

Los niveles de acidez estuvieron en el rango de otros trabajos, en los que se ha mostrado un amplio valor de la acidez 0.5 a 14.8 mg de ac. cítrico/100g de PF dependiendo de la variedad (Cantín *et al.*, 2009; Iglesias y Echeverría, 2009; Di Vaio *et al.*, 2009; Legua *et al.*, 2011 y Pace *et al.*, 2011), así mismo se reportaron valores similares trabajando con durazno y ciruela (Prinsi *et al.*, 2011; Díaz-Mula *et al.*, 2011).

5.3.4. Análisis microbiológico

La **Figura 74** muestra solo los recuentos de levaduras y mesofilos de nectarinas tratadas durante su almacenamiento, ya que para los demás microorganismos (mohos, *E. Coli*, *L. monocytogenes* y *Salmonella enteritidis*) no presentaron recuento de log UFC/g.



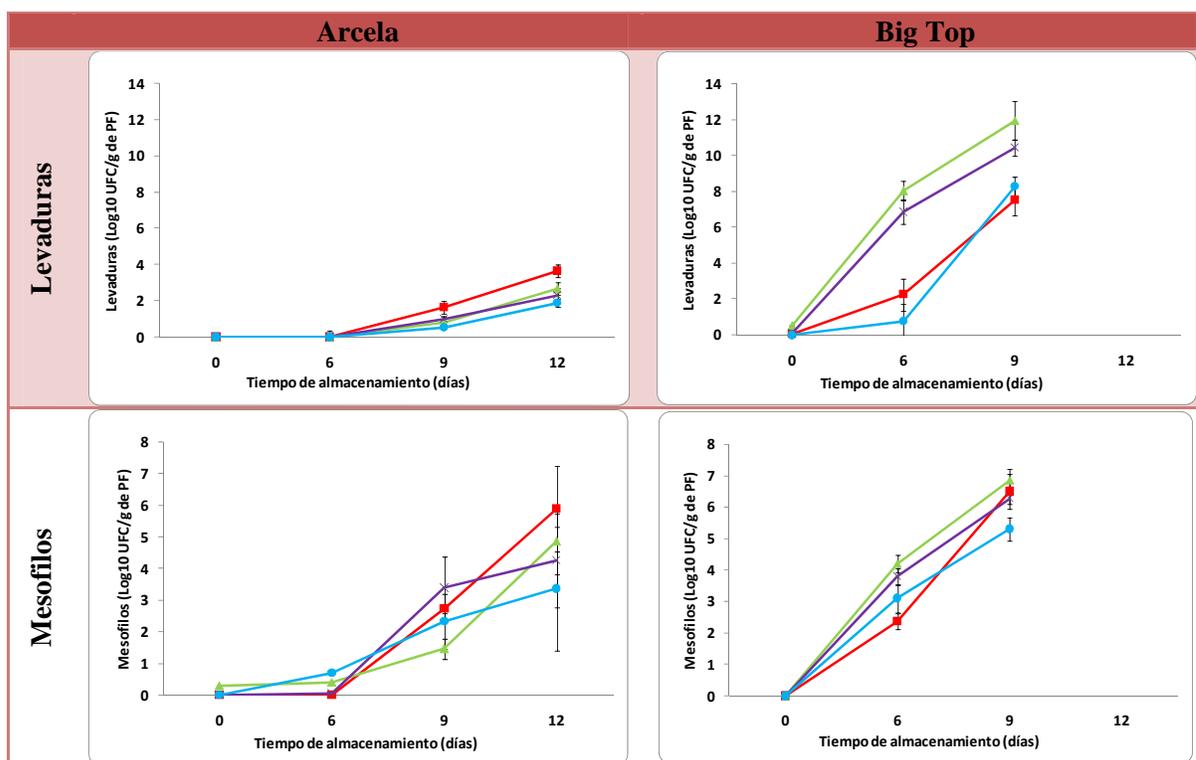


Figura 74. Evolución microbiológica (log UFC/g de levaduras y mesofilos) en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de gretina y M-G = recubrimiento de mucílago-gretina.

Los análisis microbiológicos realizados a las muestras mostraron concentraciones iniciales del orden de 0 UFC/g para levaduras y mesofilos, tanto en “Arcela” como en “Big Top”, pero conforme fue pasando el tiempo de almacenamiento la cuantificación microbiana fue incrementando, mostrando diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por las variedades. El recuento de levaduras en nectarinas “Arcela” sometidas a los diferentes tratamientos no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) a los 0 y 6 días de almacenamiento, pero sí a los 9 y 12 días, siendo el tratamiento de AP el que provocara esta diferencia con respecto a los demás tratamientos.

La cuantificación microbiana en nectarinas “Big Top” no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre tratamientos para el día 0, pero posterior a éste tiempo se





formaron dos grupos, quedando en el primero los tratamientos de AP y M-G y en el segundo Gre y Mu, presentando cargas promedio de 1.5 y 7.5 log UFC/g respectivamente para el día 6 y de 8.8 log UFC/g para el primer grupo y 11.9 log UFC/g para el segundo a los 9 días de almacenamiento.

Con respecto a la carga microbiana de mesofilos estos también se incrementaron con respecto al tiempo de conservación no presentando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) por las variedades. Para el día 0 y 6 las nectarinas “Arcela” no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) a los tratamientos aplicados, para el día 9: AP y M-G estadísticamente fueron similares con valores de 2.5 log UFC/g como mesofilos promedio, no así el recubrimiento de Gre que tuvo la mayor carga y Mu la menor carga, para el día 12, no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre Mu y Gre con una carga promedio de 4.5 log UFC/g, pero si ($P \leq 0.05$) entre AP y M-G.

La cuantificación de mesofilos en “Big Top” presentó que Mu fue la que mayor carga tuvo al final de su conservación, además de mostrar el recuento límite permitido de acuerdo a la normativa española vigente (BOE, 2001) que permite en frutas alcanzar concentraciones alrededor de 10^7 log UFC/g. La nectarina “Big Top” presentaron menor carga de mesofilos en comparación a la carga de levaduras, la cual presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) por los tratamientos para el día 0, mientras que para el día 6, todos los tratamientos ocasionaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$), y para el día 9, el tratamiento de M-G provocó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos.

La cuantificación microbiana ha sido poco estudiada, pero Martínez-Romero *et al.* (2006) mencionan que con recubrimientos de aloe vera se redujo la carga microbiana de mesofilos, bacterias, mohos y levaduras en cerezas, concordando con esto se encuentra Ansorena *et al.* (2011) que trabajaron con brócoli y Simoes *et al.* (2009) en zanahorias también mencionan que los recubrimientos reducen la carga microbiana al grado de ser demasiado baja hasta incontable, mientras que todo lo contrario opinan Chauhan *et al.* (2011) que trabajaron con aloe-gel en manzana mínimamente procesada.





La presencia de microorganismos en las nectarinas parece estar también relacionada con la producción de volátiles no deseados, causando alteraciones de la calidad sanitaria y sensorial en las muestras, además de que los productos mínimamente procesados en fresco son un terreno fértil para que los microorganismos puedan crecer debido a la gran cantidad de humedad y el azúcar presente en su superficie aunado los recubrimientos aplicados en frutas precortadas crear una atmósfera modificada, que puede cambiar la tasa de crecimiento de microorganismos patógenos y el deterioro (Olivas *et al.*, 2005).

5.3.5. Análisis sensorial

En el análisis sensorial, los catadores solo detectaron pérdidas de carácter significativo en todos los atributos (apariencia visual, olor, deshidratación, olores extraños, pardeamiento, sabor, textura y calificación global) conforme pasó el tiempo pero no entre las diferentes tratamientos aplicados, ni entre variedades utilizadas (**Figura 75**).

La calidad sensorial con respecto al tiempo de almacenamiento fue siendo en cada día de evaluación menor, mostrando al inicio una calificación de muy buena (5) en la mayoría de los atributos evaluados para ambas nectarinas (“Arcela” y “Big Top”) independientemente de los tratamientos aplicados, para el sexto día de conservación la calificación descendió a una calificación de buena (4) en ambas variedades y para el día 9 en “Arcela” la calificación fue de buena (4) en la mayoría de los atributos, excepto en el parámetro de deshidratación que fue calificada en el límite de la aceptación (3), al igual que las nectarinas “Big Top”, haciendo con estos resultados el final de estudio para “Big Top”, debido a que no tendría caso continuar con el estudio en los demás parámetros estudiados si el consumidor no la adquiriría. Por otro lado las nectarinas “Arcela” continuaron con su estudio hasta los 12 días presentando una calificación de aceptable (3) a este tiempo en la mayoría de los atributos evaluados y de los tratamientos aplicados, no así en el tratamiento de Mu, donde el evaluador calificó a estas nectarinas como malas (calificación 2), por lo que se decidió con estos resultados finalizar el estudio de esta variedad a este tiempo de almacenamiento.



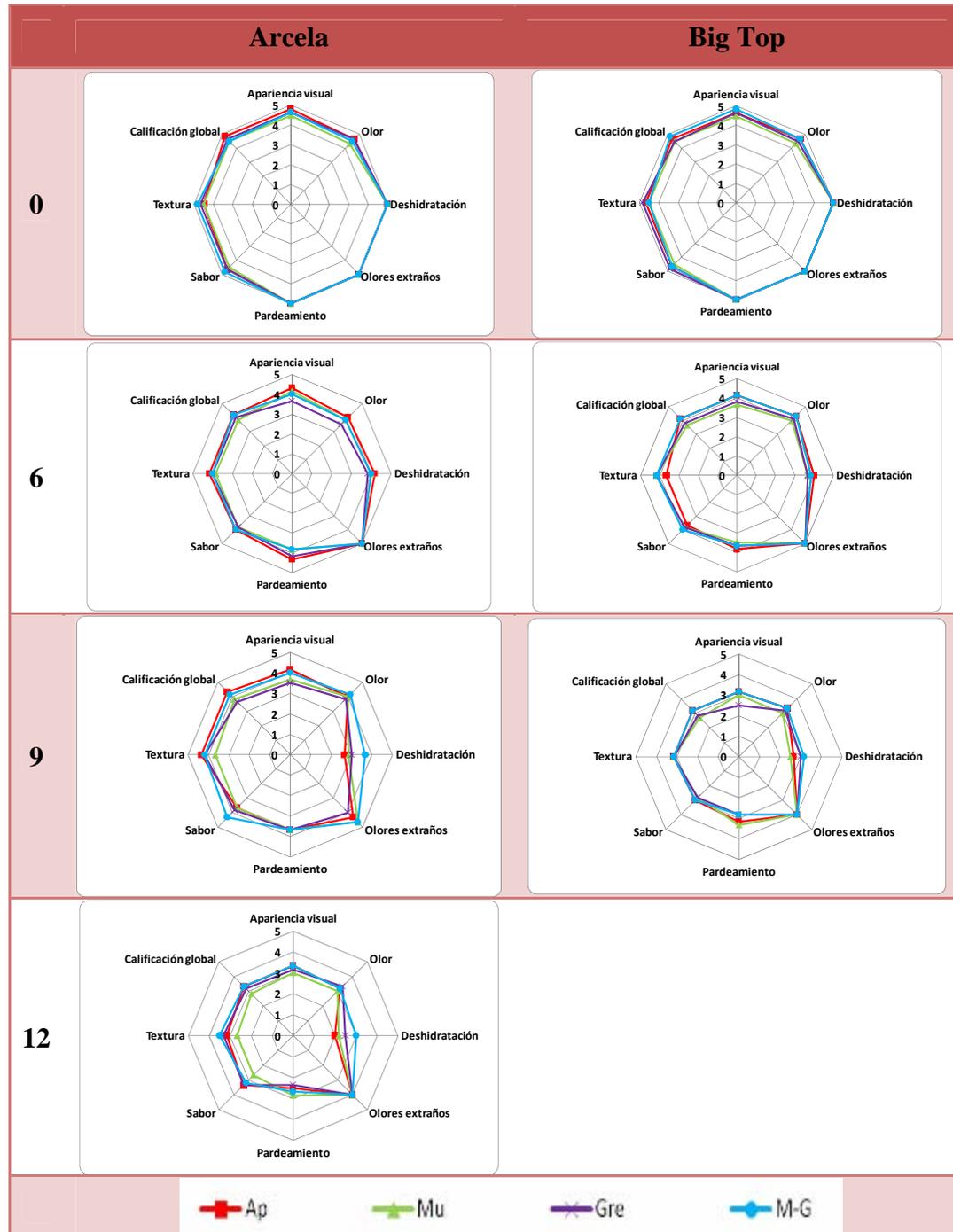


Figura 75. Evolución de la evaluación sensorial en nectarinas “Arcela” y “Big Top” mínimamente procesada, durante su almacenamiento a 5°C y 90% HR. Las barras verticales representan la media de 6 frutos + SD. AP = solución antioxidante (Ac. Cítrico 1% + CaCl₂ 1%), Mu = recubrimiento de mucílago, Gre = recubrimiento de grenetina y M-G = recubrimiento de mucílago-grenetina.





Los resultados obtenidos y comparación con otros trabajos (Colaric *et al.*, 2005; Pace *et al.*, 2011) que trabajaron con nectarina muestran ser similares a los nuestros, por otro lado se concuerda con Chauhan *et al.* (2011) en donde mencionan que a pesar del uso de recubrimientos comestibles como tratamientos de conservación estos no presentan grandes efectos en la aceptabilidad sensorial, aunque también se concuerda con Oms-Oliu *et al.* (2008) y Sothornvit (2011) que mencionan que dependiendo de los diferentes materiales, formulación y/o concentración de los recubrimientos será la aceptabilidad del consumidor.

La calidad de las nectarinas en ambas variedades fue reduciéndose conforme pasó el tiempo de almacenamiento, al día 0 los consumidores consideraron que la nectarina mínimamente procesada era de excelente calidad para finalmente llegar a 9 días en nectarinas “Big Top” y a 12 días en “Arcela” con calificaciones de aceptables.





CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y objetivos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

Caracterización de películas comestibles:

- Fue posible desarrollar películas a base de mucílago e nopal combinadas con otros componentes (grentina, carboximetilcelulosa y cera de abeja) de manera binaria y terciaria con dos diferentes concentraciones, excepto las de mucílago solo con cera de abeja.
- La formulación de cada película (manera binaria y/o terciaria y diferente concentración) así como la variedad de mucílago tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en todos los parámetros evaluados (viscosidad, color, transparencia, espesor, hinchamiento, permeabilidad a vapor de agua, permeabilidad a gases (O_2 y CO_2) y a su estructura microscópica).
- La viscosidad y el espesor aumentaron al incrementar el número de ingredientes (3 componentes > 2) así como al incrementar la relación en la concentración (1:1 $>$ 1:0.5), siendo las películas de mucílago-carboximetilcelulosa-cera de abeja las de mayor viscosidad y las películas de mucílago-grentina-carboximetilcelulosa las de mayor espesor para ambas variantes (“Milpa Alta” $>$ “Toluca”).
- El color y la transparencia fueron afectados por la variedad de mucílago utilizado y por la formulación de las películas, en especial en aquellas a las que se les adiciono cera de abeja como uno de sus componentes, mostrándose la mayor luminosidad en películas de carboximetilcelulosa, las películas de mayor *chroma* lo presentaron las de mucílago variante “Milpa Alta” con carboximetilcelulosa y cera de abeja y las de mayor tono las de mucílago “Milpa Alta” con carboximetilcelulosa.
- El porcentaje de hinchamiento incrementó conforme disminuyó el espesor de las películas, las películas de grentina fueron las de mayor hinchamiento.



CONCLUSIONES



- La permeabilidad a vapor de agua y a gases (O_2 y CO_2) estuvo afectada por la formulación de las películas y por la variedad de mucílago utilizado, en especial por la adición de la cera de abeja, ocasionando resultados favorables para la permeabilidad a vapor de agua, no así para la permeabilidad a gases (O_2 y CO_2), siendo las películas de mucílago-grenetina-cera de abeja en ambas variantes (“Milpa Alta” y “Toluca”) las que menor permeabilidad a vapor de agua presentaron y las de mucílago-carboximetilcelulosa las de mayor permeabilidad a gases (O_2 y CO_2) también en ambas variedades.
- Las imágenes de microscopia electrónica de barrido de las películas elaboradas mostraron que a pesar de la diferente formulación y diferente variedad de mucílago, se obtuvieron películas con apariencia suave, continúa, compacta y homogénea.
- Con este trabajo se tiene información suficiente que nos permite pensar que en algunas condiciones, las películas evaluadas son adecuadas para usarlas como películas o recubrimientos en productos hortofrutícolas en particular en chirimoya y nectarina mínimamente procesada.
- Las películas de mucílago-grenetina-cera de abeja y mucílago-carboximetilcelulosa fueron las que en la mayoría de los parámetros evaluados (viscosidad, color, transparencia, espesor, hinchamiento, permeabilidad a vapor de agua, permeabilidad a gases (O_2 y CO_2) y a su estructura microscópica) presentaron los mejores resultados, sin embargo se escogió la película de mucílago-grenetina como la película para ser aplicada como recubrimiento, debido a que la cera de abeja en apariencia afectaría demasiado al producto y la carboximetilcelulosa provocaría alta permeabilidad a vapor de agua.

Aplicación en chirimoya:

- La aplicación del recubrimiento de mucílago-grenetina en chirimoya resultó eficaz para reducir la pérdida de peso, mantener la firmeza, el color y el pH, pero no para



CONCLUSIONES



producir los sólidos solubles, azúcares totales y acidez adecuada para una buena calidad sensorial.

- Los parámetros de calidad en la chirimoya además de haberse afectados por la aplicación de recubrimientos o no, también fueron afectados por la temperatura de almacenamiento, mostrando que en la mayoría de estos no tuvieron efecto significativo en las chirimoyas recubiertas a temperatura ambiente (25°C) con respecto a las no recubiertas pero almacenadas a 14°C, proponiendo que es indistinto utilizar recubrimientos que almacenar en refrigeración.

Aplicación en nectarina:

- La utilización del recubrimiento comestible (mucílago-grenetina) fue una buena opción para la conservación de nectarina mínimamente procesada, ya que sus parámetros de calidad (color, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, pH, acidez) no se vieron afectados significativamente entre tratamientos, además de que se conservó una carga microbiana aceptable de acuerdo a la normativa española (10^7 log UFC/g), así como una aceptación por parte del consumidos a los 9 días de almacenamiento para nectarinas “Arcela” y 12 días para nectarinas “Big Top”.
- El recubrimiento de mucílago-grenetina en la nectarina mostró no presentar diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, (recubrimiento de mucílago sólo, recubrimiento de grenetina y solución de ac. cítrico con cloruro de calcio), lo que indicó que es indistinto utilizar cualquier tratamiento para la conservación de nectarina, ya que esta se vio más afectada por la variedad de nectarina estudiada que por el tratamiento aplicado.



RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

7. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados presentados del presente trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

- Evaluar el método de extracción del mucílago de nopal (diferentes secados, sin dializar, en frío sin hervir, etc.) y caracterizarlo (determinación de compuestos presentes: xilosa, arabinosa, galactosa, etc.).
- Estudiar otras variedades de nopal (Tovarito, Copena F1, V1, etc.) y otros estados de madurez.
- Evaluar propiedades reológicas del mucílago de nopal.
- Utilizar otros componentes (quitosán, cera de candelilla, proteína de suero de leche, gomas de carragenina, alginato, etc.) y aditivos (ácido oleico, ácido linoleico, etc.), en especial los de origen lipídicos, ya que en el presente trabajo se tuvo dificultad con este tipo de material.
- La aplicación de los recubrimientos hacerla antes de la caracterización, ya que los recubrimientos en los productos hortofrutícolas pueden actuar diferente a lo que se reporta en la caracterización.
- Estudiar los diferentes factores de aplicación (tiempo y forma de exposición en los frutos, diferentes frutos de interés comercial en México).
- Adicionar compuestos antagónicos en las soluciones para la preparación de películas o recubrimientos comestibles (aceites esenciales, microorganismos naturales, extractos naturales, etc.)
- A los productos sometidos a recubrimientos evaluarles otros parámetros, (actividad enzimática de polifenoloxidasas, peroxidasas, vitamina C, etc).



REFERENCIAS





8. REFERENCIAS

- Abugoch, L E.; Tapia, C.; Villamán, M.C.; Yazdani-Pedram, M y Díaz-Dosque, M. (2011). Characterization of quinoa protein chitosan blend edible films. *Food Hydrocolloids*. 25: 879-886.
- Adeodato, V. M.G.; Altenhofen da Silva, M; Oliveira dos Santos, L. y Masumi, B.M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. 47: 254–263.
- Akbudak, B. y Eris, A. (2004). Physical and chemical changes in peaches and nectarines during the modified atmosphere storage. *Food Control*. 15: 307–313.
- Alegre, I.; M. Abadias; M. Anguera; J. Usall y I. Viñas. (2010). Fate of Escherichia coli O157:H7, Salmonella and Listeria innocua on minimally-processed peaches under different storage conditions. *Food Microbiology*. 27: 862-868.
- Al-Hassan, A.A. y Norziah, M.H. (2011). Starchgelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*. 3: 1-10.
- Ali, A.; Maqbool, M; Ramachandran, S. y Alderson, P.G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 58: 42–47.
- Alique, R. (1995). Residual effects of short term treatments with high CO₂ on the ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. *Journal of Horticultural Science*. 70: 609–615.
- Alique, R., y Oliveira, G. S. (1994). Changes in sugars and organic acids in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit under controlled atmosphere storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42: 799–803.
- Alique, R., y Zamorano, J. P. (2000). Influence of harvest date within the season and cold storage on cherimoya fruit ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 4209–4216.
- Alique, R.; Zamorano, J. P.; Calvo, M. L.; Carmen, M. y De La Plaza, J. L. (1994). Tolerance of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) to cold storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 119: 524–528.
- Álvarez, A.R; Peña-Valdivia, C.B. (2009). Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *Journal of Professional Association for Cactus Development*. 11: 26-44.
- Annona cherimola. (2011) Consultada: 15-Febrero-2011. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Annona_cherimola





REFERENCIAS



- Anónimo. (2008). Consultado: Junio 2011. Disponible en: www.mercadosmunicipales.es/uploads/frutas/Melocoton.pdf.
- Ansorena, M.R.; Marcovich, N.E. y Roura, S. (2011). Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*. 59: 53–63.
- AOAC. (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, food composition; additives; natural contaminants*. Volumen II, The association of official analytical chemist. 15^a ed. Inc. Arlington, Virginia-USA. pp. 1298.
- Aquino, L.V.; Rodríguez, J.; Méndez, L.L. y Torres, K.F. (2009). Inhibición del Oscurecimiento con Mucilago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) en el Secado se Plátano Roatán. *Información Tecnológica*. 20(4): 15-20.
- Artés F. (2011). *Panorámica actual de la Postcosecha Hortofrutícola y de los productos vegetales mínimamente procesados*. V Curso Internacional “Tecnología Postcosecha y procesado mínimo”. Cartagena-España. Abril.
- Artés, F.; Gómez, P.A.; Aguayo, A.; Escalona, V. y Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*. 51:287-296.
- Artés, F; Gómez P.A. y Artés-Hernández, F. (2007). Physical, Physiological and Microbial Deterioration of Minimally Fresh Processed Fruits and Vegetables. *Food Science and Technology International*. 13: 177-188.
- Artés-Hernández, F.; Gómez, P.A. y Artés F. (2010). *Fisiologia postraccolta e tecnologia degli ortaggi di IV gamma*. In: Cattaneo, T.M.P., Ferrante, A. (Eds). *Valutazione della qualità di ortaggi di IV gamma. Analisi non distruttive durante la shelf life*. ARACNE. Rome-Italy. Pp. 146.
- Artigoo. (2011). Chirimoya. Annona Cherimola. Consultada: 15-Febrero-2011. Disponible en: <http://artigoo.com/chirimoya-annona-cherimola>
- Asis, J. S., Maldonado, R., Muñoz, T., Escribano, M. I., & Merodio, C. (2001). Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 23: 33–39.
- Atarés, L; Bonilla, J. y Chiralt, A. (2010). Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*. 100: 678–687.
- Avila, A.J.; Costamagna, V.; Barrientos, E.; Pucci, G.; Sánchez, E. y Strumia, M.C. (2009). Películas de quitosano con sorbato de potasio unido física y covalentemente. Estudios de aplicación. *Revista Iberoamericana de Polímero*. 11(2):256-263.
- Badenes, C.M.L.; Lorente, S.M.; Martínez, C.J. y Llácer, I.G. (1999). *Variedades de Melocotón y Nectarina tempranas*. Generalitat Valenciana. España. Pp. 72.





REFERENCIAS



- Banks, N.H. y Nicholson, S.E. (2000). Internal atmosphere composition and skin permeance to gases of pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 18: 33-41.
- Batten, D. J. (1990). Effect of temperature on ripening and postharvest life of fruit of atemoya (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv. 'African Pride'. *Scientia Horticulturae*. 45: 129-136.
- Barreiro, M.J.A. y Sandoval, B.A.J. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Equinoccio. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Pp. 365.
- Benassi, G.; Correa, G. A. S.; Kluge, R. A. y Jacomino, A. P. (2003). Shelf life of custard apple treated with 1-methylcyclopropene — An antagonist to the ethylene action. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 46: 115-119.
- Berger, H. y Galleti, L. (2005). Color as a harvest index for cherimoya. *Acta Horticulturae*. 682: 1471-1474.
- Bertan, L.C.; Tanada-Palmu, P.S.; Siani, A.C. y Grosso, C.R.F. (2005). Effect of fatty acids and "Brazilian elemi" on composite films based on gelatin. *Food Hydrocolloids*. 19: 73-82.
- Bico, S.L.S.; Raposo, M.F.J.; Morais, R.M.S.C. y Morais, A.M.M.B. (2009). Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control*. 20: 508-514.
- Blanco, R.G.E.; Rivera, A.J.L.; Mendoza, M.A.M.; De Alva, S.H.E.; Robledo, M.J.G. (2006). Síntesis y caracterización de hidrogeles a partir de polivinil pirrolidona (pvp) / quitosan / hidroxietil celulosa (hec). *Revista Iberoamericana de Polímero*. 7(4): 12-23.
- Bolívar-Fernandez, N.; Saucedo-Veloz, C.; Solís-Pereira, S. y Sauri-Duch, E. (2009). Ripening of sugar apple fruits (*Annona squamosa* L.) developed in Yucatan, Mexico. *Agrociencia*. 43: 133-141.
- Bonilla, J.; Atarés, L.; Vargas, M. y Chiralt, A. (2011). Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. *Journal of Food Engineering*. 3: 1-6.
- Bosquez-Molina, E.; Tomás, S.A. y Rodríguez-Huezo, M.E. (2010). Influence of CaCl₂ on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gum based edible films. *Food Science and Technology*. 43: 1419-1425.
- Bourbon, A.; Pinheiro, A.C.; Cerqueira, M.A.; Rocha, C.M.R.; Avides, M. M.C.; Quintas, A.C. y Vicente, A.A. (2011). Physico-chemical characterization of chitosan-based edible films incorporating bioactive compounds of different molecular weight. *Journal of Food Engineering*. 106: 111-118.
- Bravin, B.; Peressini, D. y Sensidoni, A. (2004). Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 6448-6455.





REFERENCIAS



- Brody, A. L. (2005). What's fresh about fresh-cut. *Food Technology*. 59(1): 74–77.
- Broughton, W.J. y Tan, G. (1979). Storage conditions and ripening of custard apple (*Annona squamosa* L.). *Scientia Horticulturae*. 10: 73–82.
- Brown, B. I., y Scott, K. J. (1985). Cold storage conditions for custard apple fruit (*Annona atemoya*). *Singapore Journal of Primary Industries*. 13: 23–31.
- Brown, B.I.; Wong, L.S.; George, A.P. y Nissen, R.J. (1988). Comparative studies on the postharvest physiology of fruit from different species of *Annona* (custard apple). *Journal of Horticultural Science*. 63: 521–528.
- Camacho, M.M.; Martínez-Navarrete, N. y Chiralt, A. (2005). Rheological characterization of experimental dairy creams formulated with locust beamgum (LBG) and λ -carrageenan combinations. *International Dairy Journal*. 15: 243-248.
- Carneiro-da-Cunha, M.G.; Cerqueira, M.A.; Souza, B.W.S.; Souza, M.P.; Teixeira, J.A.; Vicente, A.A. (2009). Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *Journal of Food Engineering*. 95: 379–385.
- Cantín, C.M.; Crisosto, C.H.; Ogundiwin, E.A.; Gradziel, T.; Torrents, J.; Moreno, M.A. y Gogorcena, Y. (2010). Chilling injury susceptibility in an intra-specific peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] progeny. *Postharvest Biology and Technology*. 58(2): 79-87.
- Cantín C.M.; Moreno, M.M. y Gogorcena, Y. (2009). Evaluation of the Antioxidant Capacity, Phenolic Compounds, and Vitamin C Content of Different Peach and Nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] Breeding Progenies. *Journal Agricola Food Chemistry*. 57: 4586–4592.
- Carbonaro, M.; Mattera, M.; Nicoli, S.; Bergamo, P. y Cappelloni, C. (2002). Modulation of Antioxidant Compounds in Organic vs Conventional Fruit (Peach, *Prunus persica* L., and Pear, *Pyrus communis* L.). *Journal Agricola Food Chemistry*. 50:5458-5462.
- Cárdenas, A.; Higuera-Ciapara, I. y Goycoolea, F.M. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2: 152–157.
- Carpita, N. y Mc Cann, M. (2000). *The cell wall*. In: *Biochemistry y Molecular Biology of Plants*. Editorial American Society of Plant Physiologists, Maryland, USA, pp. 1235.
- Carrera, M.M. 2002. Variedades y Calidad de las frutas de hueso en Aragón. Unidad de Fruticultura. SIA-DGA Asociación Profesional de Empresarios de Productos Hortofrutícolas de la Provincia de Zaragoza. Consultada: Junio del 2011. Disponible en: <http://www.frutasverdejo.com/pdf/melocoton2.pdf>
- Cerdas, A.M.M.; Umaña, R. G. y Castro, R. J.J. (2007). Manual de manejo pos cosecha de anona (*Annona cherimola*, Mill). Ministerio de agricultura y ganadería. Universidad de





REFERENCIAS



Costa Rica. Laboratorio de tecnología pos cosecha. Consultado en: 29-Diciembre-2010. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-anona.pdf

- Cerqueira, M.A.; Bourbon, A.I.; Pinheiro, A.C.; Martins, J.T.; Souza, B.W.S.; Teixeira, J.A. y Vicente, A.A. (2011). Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food applications. *Trends in Food Science & Technology*. Doi: 10.1016/j.tifs.2011.07.002
- Chana-Thaworn; J.; Chanthachum, S. y Wittaya, T. (2011). Properties and antimicrobial activity of edible films incorporated with kiam wood (*Cotyleobium lanceotatum*) extract. *Food Science and Technology*. 44: 284-292.
- Chauhan, O.P.; Raju, P.S.; Singh, A. y Bawa, A.S. (2011). Shellac and aloe-gel-based surface coatings for maintaining keeping quality of apple slices. *Food Chemistry*. 126: 961–966.
- Chen, C.H.; Kuo, W.S.; Lai, L.S. (2009). Rheological and physical characterization of film-forming solutions and edible films from tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum. *Food Hydrocolloids*. 23: 2132–2140.
- Chien, P.J.; Sheu, F. y Yang, F.S. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*. 78: 225–229.
- Chillo, S.; Flores, S.; Mastromatteo, M.; Conte, A.; Gerschenson, L.; Del Nobile, M.A. (2008). Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. *Journal of Food Engineering*. 88: 159–168.
- Chiumarelli, M.; Ferrari, C.C.; Sarantópoulos, C.I.G.L. y Hubinger, M.D. (2011). Fresh cut ‘Tommy Atkins’ mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 12: 381–387.
- Colaric, M; Veberic, R.; Stampar, F. y Hudina, M. (2005). Evaluation of peach and nectarine fruit quality and correlations between sensory and chemical attributes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85: 2611–2616.
- Corrales, G.J.J. y Flores A.C.A. (2003). *Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización*. CIESTAAM-Programa Nopal. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pp. 255.
- Correa-Betanzo, J.; Jacob, J.K.; Perez-Perez, C. y Paliyath, G. (2011). Effect of a sodium caseinate edible coating on berry cactus fruit (*Myrtillocactus geometrizans*) phytochemicals. *Food Research International*. 44: 1897–1904.
- Crisosto, C.H. y Crisosto, G.M. (2005). Relationship between ripe soluble solids concentration (RSSC) and consumer acceptance of high and low acid melting flesh peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) cultivars. *Postharvest Biology and Technology*. 38(3): 239-246.





REFERENCIAS



- Crisosto, C.H.; Crisosto, G.M.; Echeverria, G. y Puy, J. (2006). Segregation of peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) cultivars according to their organoleptic characteristics. *Postharvest Biology and Technology*. 39: 10-18.
- Crisosto, C.H.; Crisosto; G.M.; Echeverria, G. y Puy, J. (2007). Segregation of plum and pluot cultivars according to their organoleptic characteristics. *Postharvest Biology and Technology*. 44: 271–276.
- Dagar, A.; A. Weksler; H. Friedman; E.A. Ogundiwin; C.H. Crisosto; R. Ahmad y S. Lurie. (2011). Comparing ripening and storage characteristics of ‘Oded’ peach and its nectarine mutant ‘Yuval’. *Postharvest Biology and Technology*. 60: 1–6.
- Deiber, J.A.; Peirotti, M.B.; Ottone, M.L. (2011). Rheological characterization of edible films made from collagen colloidal particle suspensions. *Food Hydrocolloids*. 25: 1382-1392.
- Del Cura, B.; Escribano, M. I.; Zamorano, J. P. y Merodio, C. (1996). High carbon dioxide delay postharvest changes in RuBPCase and polygalacturonase-related protein in cherimoya peel. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 121: 735–739.
- Del Valle, V.; Hernández, M.; Guarda, A. y Galotto, M.J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*. 91: 751-756.
- De la Plaza, J. L.; Muñoz-Delgado, L. y Iglasias, C. (1979). Controlled atmosphere storage of cherimoya. *Bulletin of the International Institute of Refrigeration*. 59(4): 1154-1159.
- Desmond, B.; Worrell, C.M.; Carrington, S. y Huber, D.J. (1994). Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*. 57: 7–15.
- De Moura, M.R.; Aouada, F.A.; Avena-Bustillos, R.J.; McHugh, T.H.; Krochta, J.M.; Mattoso, L.H.C. (2009). Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. *Journal of Food Engineering*. 92: 448–453.
- Dias, A.B.; Müller, C.M.O.; Larotonda, F.D.S. y Laurindo, J.B. (2011). Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and cellulose fibers. *Food Science and Technology*. 44: 535-542.
- Díaz-Mula, H.M.; Zapata, P.J.; Guillén, F.; Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Serrano, M. y Valero D. (2009). Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity and related bioactive compounds during postharvest storage of yellow and purple plum cultivars. *Postharvest Biology and Technology*. 51(3): 354-363.
- Díaz-Mula, H.M.; Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Serrano, M. y Valero, D. (2011). Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 1. Effect on organoleptic quality. *Postharvest Biology and Technology*. 61: 103–109.





REFERENCIAS



- Di Vaio, C.; Graziani, G. y Marra, L. (2009). Antioxidant capacities, carotenoids and polyphenols evaluation of fresh and refrigerated peach and nectarine cultivars from Italy. *Eur Food Resech Technology*. 227:1225–1231.
- Dong, L.; Hong-Wei Z.; Sonogo, L.; Lers, A. y Lurie, S. (2001). Ethylene involvement in the cold storage disorder of ‘Flavortop’ nectarine. *Postharvest Biology and Technology*. 23: 105–115.
- Duan, J. Wu, R.; Strik, B.C. y Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 59: 71–79.
- Ecoosfera. (2010). ¿Cual es el mejor purificador de agua en el mundo?. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: <http://www.ecoosfera.com/2010/05/%C2%BFcual-es-el-mejor-purificador-de-agua-en-el-mundo/>
- Emagister. (2011). Flor de nopal. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: http://grupos.emagister.com/imagen/flor_de_nopal/1092-330684
- Escobar, I.J.L.; Agüero, L.L.; Zaldivar, S.D.; Ramírez, E. (2000). Estudio de hinchamiento “*in vitro*” y evaluación preliminar de biocompatibilidad de hidrogeles de poli (acrilamida-co-ácido metacrílico). *Biomecánica*. 8(1): 54-57.
- Escribano, M. I.; Del Cura, B.; Muñoz, T. y Merodio, C. (1997). The effect of high carbon dioxide at low temperature on ribulose 1,5-biphosphate carboxylase and polygalacturonase protein levels in cherimoya fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 122: 258–262.
- Espino-Díaz, M.; Ornelas-Paz, J.J.; Martínez-Tellez, M.A.; Santillán, C.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Zamudio-Flores, PB. Y Olivas, G.I. (2010). Development and Characterization of Edible Films bases on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of Food Science*. 75(6): 347-352.
- Fabra, M.J.; Jiménez, A.; Atares, L.; Talens, P. y Chiralt, A. (2009). Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions and films. *Biomacromolecules*.10: 1500-1507.
- Fabra, M.J.; Talens, P.; Chiralt, A. (2010). Influence of calcium on tensile, optical and water vapour permeability properties of sodium caseinate edible films. *Journal of Food Engineering*. 96: 356–364.
- Fajardo, P.; Martins, J.T.; Fucinos, C.; Pastrana, L.; Teixeira, J.A.; Vicente, A.A. (2010). Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering*. 101(4): 349–356.
- Falguera, V; Quintero, J.P.; Jiménez, A.; Aldemar, M.J. y Ibarza, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*. 22: 292-303.





REFERENCIAS



- Farris, S.; Schaich, K. M.; Liu, L.; Piergiovanni, L. y Yam, K. L. (2009). Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 20: 316-332.
- Flickr. (2011). Cochineal nopal cactus. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: http://www.flickr.com/photos/dinesh_valke/624168078/
- Flores, A. (2000). *Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Venezuela*. Ed. UNILLETZ, Venezuela, pp. 224.
- Flores, V.C.A. (2001). *Producción, industrialización y comercialización de nopalitos*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). México. pp. 125.
- Flores, V.C.A.; De Luna, E.J.M. y Ramírez, M.P.P. (1995). *Mercado mundial del nopalito*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). México. Pp. 176.
- Flores, V.C.A. y Olvera, M.J. (1994). *El sistema producto nopal verdura en México*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). México. pp. 149.
- Floristán, J.M. (2010). *Situación actual y perspectivas de la Cuarta Gama*. 3er Congreso Cooperativas Agrarias de Murcia. Torre Pacheco-España. Abril.
- Fuster, C. y Prestamo, G. (1980). Variation of cherimoya (*Annona cherimola*) texturing during storage as determined with an instron food testing instrument. *Journal of Food Science*. 45: 142-145
- García, M.A.; Martino, M.N. y Zaritzky, N.E. (2004). Edible starch films and coatings characterization: SEM, water vapor and gas permeabilities. *J. Scanning Microscop.* 21(5):348-355.
- Gennadios, A., Weller, C.L. y Gooding, C.H. (1994). Measurement errors in water-vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *Journal of Food Engineering*. 21: 395-409.
- Geraldine, R.M.; Ferreira, S.N.F.; Alvarenga, B.D. y Goncalves, L.A. (2008). Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carbohydrate Polymers*. 72: 403-409.
- Ghanbarzadeh, B. y Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*. 48: 44-49.





REFERENCIAS



- Ghasemloua, M.; Khodaiyana, F. y Oromiehie, A. (2011). Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. *Carbohydrate Polymers*. 84: 477–483.
- Ghasemloua, M.; Khodaiyana, F.; Oromiehie, A. y Yarmanda, M.S. (2011a). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefiran and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*. 49: 378–384.
- Ghasemloua, M.; Khodaiyana, F.; Oromiehie, A. y Yarmanda, M.S. (2011b). Development and characterisation of a new biodegradable edible film made from kefiran, an exopolysaccharide obtained from kefir grains. *Food Chemistry*. 127: 1496–1502.
- González-Aguilar, G.A.; Ayala, Z.F.; Ruiz, C.S.; Cruz, V.R. y Cuamea-Navarro, F. (2004). Estado actual del mercado de frutos y vegetales frescos cortados. Simposium “Estado actual del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica”. San José-Costa Rica.
- González-Aguilar, G.A.; Monroy-García, I.N.; Goycoolea-Valencia, F.; Díaz-Cinco, M.E. y Ayala-Zavala, J.F. (2005). Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Simposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados” La Habana, Cuba. Marzo 2005.
- Göni, O.; Muñoz, M.; Ruiz-Cabello, J.; Escribano, M.I. y Merodio, C. (2007). Changes in water status of cherimoya fruit during ripening. *Postharvest Biology and Technology*. 45: 147–150.
- Granados, S.; y Castañeda, D.P. A. (1996). *El nopal (historia, fisiología, genética e importancia frutícola)*. 2da ed. Trillas. México.
- Griffith, M.P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactácea): new molecular evidence. *American Journal of Botany*. 91(11): 1915-1921.
- Gupta, B., y Magee, M. (2007). Textural properties of whey based edible films. *Electronic Journal of Environmental Agriculture and Food Chemistry*. 6: 2282-2289.
- Gutierrez, M.; Lahoz, J. M.; Sola, M. M.; Pascual, L. y Vargas, A. M. (1994). Postharvest changes in total soluble solids and tissue pH of cherimoya fruit stored at chilling and non-chilling temperatures. *Journal of Horticultural Science*. 69: 459–463.
- Gutierrez, M.; Sola, M. M.; Pascual, L.; Rodriguez-Garcia, M. I. y Vargas, A. M. (1992). Ultrastructural changes in chilling injured cherimoya. *Food Structure*. 11: 323–332.
- Guzmán, L.D. y Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. Enseñanza de la química. *Rev Soc Quím Perú*. 73: 41-45.
- Guzmán, U.; Arias, S. y Dávila, P. (2002). *Catalogo de Cactáceas mexicanas*. CONABIO-UNAM. México. Pp. 298.





REFERENCIAS



- Hambleton, N.; Perpiñan-Saiz, M.J.; Fabra, A.; Voilley, F. y Debeaufort, A.C. (2011). The Schroeder paradox or how the state of water affects the moisture transfer through edible films. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2011.03.009
- Hodges, D.M. y Toivonen, P.M.A. (2008). Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*. 48: 155–162.
- Hofman, P. J.; Jobin-Décor, M.; Meiburg, G. F.; Macnish, A. J. y Joyce, D. C. (2001). Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41: 567–572.
- Iglesias, I. y Echeverría, G. (2009). Differential effect of cultivar and harvest date on nectarine colour, quality and consumer acceptance. *Scientia Horticulturae*. 120: 41–50
- Iglesias, I. (2011). Innovación varietal en nectarina y melocotón plano o “paraguayo”: avances, situación actual y perspectivas. IRTA-Estació Experimental de Lleida. Consultado: Julio 2011. Disponible en: http://www.ruralcat.com/c/document_library/get_file?uuid=964d74c1-8ea1-4005-8515-74654d50db78&groupId=10136
- Imran, I.; El-Fahmy, S.; Revol-Junelles, A.M. y Desobry, S. (2010). Cellulose derivative based active coatings: Effects of nisin and plasticizer on physico-chemical and antimicrobial properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Carbohydrate Polymers*. 81: 219–225.
- Jia, D.; Fang, Y.; Yao, K. (2009). Water vapor barrier and mechanical properties of konjac glucomannan–chitosan–soy protein isolate edible films. *Food and bioprocesses processing*. 87: 7–10.
- Jiménez, A.; Fabra, M. J.; Talens, P. y Chiralt, A. (2010). Effect of lipid self-association on the microstructure and physical properties of hydroxypropyl-methylcellulose edible films containing fatty acids. *Carbohydrate Polymer*. 82(3): 585-593.
- Jongjareonrak, A.; Benjakul, S.; Visessanguan, W., y Tanaka, M. (2006). Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper. *European Food Research and Technology*. 222(3–4): 229–235.
- Kader, A.A. (2002). Modified atmospheres during transport and storage. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd edition. University of California, Agriculture and Natural Resources. USA. Publication 3311: 135-145.
- Ke, L.S.; Yang, C.S.; Yu, Y.B. y Tsi, P.L. (1983). Ripening and storage of custard apple fruits (*Annona squamosa* L.). *Journal of Chinese Society of Horticultural Sciences*. 29: 257–268.
- Kim, J.G. (2007). Fresh-cut market potential and challenges in far-east Asia. *Acta Horticulture*. 746: 33:38.





REFERENCIAS



- Kokoszka, S., Debeaufort, F.; Hambleton, A.; Lenart, A.; Voilley, A. (2010). Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 11: 503–510.
- Konopacka, D.; Jesionkowska, K.; Kruczynska, D.; Stehr, R.; Schoorl, F.; Buehler, A.; Egger, S.; Codarin, S., Hilaire, C.; Holler, I.; Guerra, W.; Liverani, A.; Donati, F.; Sansavini, S.; Martinelli, A.; Petiot, C.; Carbó, J.; Echeverria, G.; Iglesias, I. y Bonany, J. (2010). Apple and peach consumption habits across European countries. *Appetite*. 55: 478–483.
- Labra, M.; Grassi, F.; Bardini, M.; Imazio, S.; Guiggi, A.; Citterio, S.; Banfi, E. y Sgorbati, S. (2003). Genetic relationships in *Opuntia Mill* genus (*Cactaceae*) detected by molecular market. *Plant Science*. 165: 1129-1136.
- Lahoz, J.M.; Guttierrez, M.; Martinez-Cayuela, M.; Pascaul, L. y Vargas, A.M. (1990). Effect of refrigeration on the ripening of cherimoya fruits. *Ars Pharmaceutica*. 31: 211–216.
- Lamúa, M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. Instituto del frío de Madrid CSIC. Editorial AMV, Ediciones Mundi prensa, España, pp. 256.
- Lavelli, V.; C. Pompei y M. A. Casadei. (2009). Quality of nectarine and peach nectars as affected by lye-peeling and storage. *Food Chemistry*. 115: 1291–1298.
- Lee, K.Y., Shim, J. y Lee, H.G. (2004). Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate Polymers*. 56: 251-254.
- Legua, P.; Hernández, F.; Huertas M.; Díaz-Mula, D.V. y Serrano, M. (2011). Quality, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of New Flat-Type Peach and Nectarine Cultivars: A Comparative Study. *Journal of Food Science*. 76(5): 729-735.
- León-Martínez, F.M.; Méndez-Lagunas, L.L. y Rodríguez-Ramírez, J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*. 81: 864–870.
- León-Martínez, F.M.; Rodríguez-Ramírez, J.; Medina-Torres, L.L.; Méndez- Lagunas, L.L. y Bernad-Bernad, M.J. (2011). Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). *Carbohydrate Polymers*. 84: 439–445.
- Li, C.; Shen, W.; Lu, W.; Jiang, Y.; Xie, J. y Chen, J. (2009). 1-MCP delayed softening and affected expression of XET and EXP genes in harvested cherimoya fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 52: 254–259.
- Lima, A.M.; Cerqueira, M.A.; Souza, B.W.S.; Santos, E.C.M.; Teixeira, J.A.; Moreira, R.A.; Vicente, A.A. (2010). New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits – Influence on fruits gas transfer rate. *Journal of Food Engineering*. 97: 101–109.





REFERENCIAS



- Lima, C.L.C. (2000). Uso de ceras e do calico, associados ou nao, na conservacao poscolheita de frutos da pinheira (*Annona squamosa* L.) armazenados ao ambiente ou sobre refrigeracao. Tese. (Duotorado em Energia na agricultura) (pp. 119). Botucatu: Faculdade de Ciencias Agronomicas, Universidade Estadual Paulista.
- Lin, D. y Zhao, Y. (2007). Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 6(3): 60-75.
- Liu, C.G.; Desal, K.G.; Chen, X. (2005). Preparation and characterization of nanoparticles containing tripsin., *Journal Agriculture Food Chemistry*. 53: 1728-1733.
- López-Palacios, C.; Peña-Valdivia, C.B.; Reyes-Agüero, J.A.; Rodríguez-Hernández, A. (2011). Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalito (*Opuntia spp.*). *Genetic Resources and Crop Evolution*. DOI 10.1007/s10722-011-9740-3.
- Lück, E. y Martin, J. (2000). *Conservación química de los alimentos. características, usos, efectos*. 2a ed. Acribia. Zaragoza-España. Pp. 324.
- Lurie, S.; M. Vanolib; A. Dagara; A. Wekslera; F. Lovatib; P. Eccher Zerbinie; L. Spinelli; A. Torricelli; J. Fengg y A. Rizzolob. (2011). Chilling injury in stored nectarines and its detection by time-resolved reflectance Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 59: 211-218.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S., Moalemiyan, M. y Kushalappa, A.C. (2007). Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers*. 68: 341-349.
- Majdoub, H., Roudesli, S., Picton, L., Le Cerf, D., Muller, G. y Grisel, M. (2001). Prickly pear nopal pectin from *Opuntia ficus-indica* physico-chemical study in dilute and semidilute solutions. *Carbohydrate Polymers*. 46: 69-79.
- Majdoub, H., Roudesli, S. y Deratani, A. (2001b). Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of *Opuntia ficus-indica*: extraction, characterization and polyelectrolyte behaviour. *Polymer International*. 50: 552-560.
- Malakou, A. y Nanos, G.D. (2005). A combination of hot water treatment and modified atmosphere packaging maintains quality of advanced maturity 'Caldesi 2000' nectarines and 'Royal Glory' peaches. *Postharvest Biology and Technology*. 38: 106-114.
- Maldonado, R.; Sanchez-Ballesta, M.T.; Alique, R.; Escribano, M.I. y Merodio, C. (2004). Malate metabolism and adaptation to chilling temperature storage by pretreatment with high CO₂ levels in *Annona cherimola* fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 4758-4763.
- Mali, S.; Grossmann, M.V.E.; García, M.A.; Martino, M.N., y Zaritzky, N.E. (2002). Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*. 50: 379-386.





REFERENCIAS



- Manual del Viscosímetro. (2005). Analytic method for determining viscosity with Brookfield viscometers. CK-G02. 6ta ed. Antex.USA.
- Maqbool, M.; Ali, A.; Ramachandran, S.; Smith, D.R. y Alderson, P.G. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Protection*. 29: 1136-1141.
- Márquez, C.C.J.; Cartagena, V.J.R. y Pérez-Gago, M.B. (2009). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del Nispero Japonés (*Eriobotrya japonica* T.). *Vitae, Revista de la facultad de química farmacéutica*. 16(3): 304-310.
- Martín-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. y Oms-Oliu, G., (2006). *Fresh-cut fruits*. In: Hui, Y.H. (Ed.), Handbook of Fruits and Fruit Processing. Blackwell Publishing, Oxford-U.S.A. pp. 129–144.
- Martínez I. (2008.) Gastronomía y Tradición en México. III- El Nopal. *Alenarte Revista*. Actualidad Cultural y Artística de España y América. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: <http://alenarterevista.wordpress.com/2008/10/16/gastronomia-y-tradicion-en-mexico-iii-el-nopal-por-issa-martinez/>
- Martínez, G.; Serrano, M.; Pretel, M.T.; Amoros, A.; Riquelme, F. y Romojaro, F. (1993). Ethylene biosynthesis during the ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Current Plant Science in Biotechnology and Agriculture*. 16: 148–149.
- Martínez, G.; Serrano, M.; Pretel, M.T.; Requelme, F. y Romojas, F. (1993). Ethylene biosynthesis and physico-chemical changes during fruit ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Journal of Horticultural Science*. 68: 477–483.
- Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Valverde, J.M.; Serrano, M.; Zapata, B.; Bailén, G.; Castillo, S. y Valero, D. (2006). Aloe vera, recubrimiento de frutas y hortalizas. *Horticultura*. 195: 42-44.
- Martins, J.T.; Cerqueira, M.A.; Souza, B.W.S.; Avides, C.M.D.; Vicente, A.A. (2010). Shelf life extension of ricotta cheese using coatings of galactomannans from nonconventional sources incorporating nisin against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58(3): 1884–1891.
- McGuire, G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hort Science*. 27: 1254-1255.
- McHugh, T.H. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung*. 44: 148-151.
- McHugh, T.H., Avena-Bustillos, R. y Kochta, J.M. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal Food Science*. 58: 899-903.
- McMillin, K.W. (2008). Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*. 80(1): 43–65.





REFERENCIAS



- Medina-Torres, L.; Brito-De la Fuente, E.; Torrestiana-Sánchez, B. y Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*. 14: 417–424.
- Meng, X.; Han, J.; Wang, Q. y Tian, S. (2009). Changes in physiology and quality of peach fruits treated by methyl jasmonate under low temperature stress. *Food Chemistry*. 114: 1028–1035.
- Merodio, C.; Muñoz, M.T.; Del Cura, B.; Buitrago, D. y Escribano, M.I. (1998). Effect of high CO₂ level on the titres of γ -aminobutyric acid, total poly amines and some pathogenesis-related proteins in cherimoya fruit stored at low temperature. *Journal of Experimental Botany*. 49: 1339–1347.
- Mi Morelia (2011). Noticias-Morelia, principal productor de nopal de alta calidad. En la comunidad de La Concepción se producen 130 toneladas a diario. Por: Mi Uruapan / MiMorelia.com | 18:48 - Lunes 4 de Abril del 2011. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: <http://www.miuruapan.com/noticias/57900>
- Miller, S.M.; Fugate, E.J.; Craver, V.O.; Smith, J.A. y Zimmerman, J.B. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia spp.* as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science Technology*. 1-6.
- Mitra, K. y Baldwin, A. (1997). *Postharvest physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. Cab Internacional. Inglaterra. pp. 85-120.
- Mo, Y.; Gong, D.; Liang, G.; Han, R.; Xie, J. y Li, W. (2008). Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88(15): 2693–2699.
- Mondragón, C.J. (2002). Caracterización genética de una colección de nopal (*Opuntia Spp.*) de la región centro de México. *Agricultura técnica en México*. 28: 3-14.
- Montero, L.M.; Escribano, M.I.; De La Plaza, J.L. y Merodio, C. (1995). Chilling temperature storage induces changes in protein patterns and protease activity in cherimoya fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 5: 251–260.
- Morandi B, Grappadelli LG, Rieger M, Lo Bianco R. (2008). Carbohydrate availability affects growth and metabolism in peach fruit. *Physiology Plant*. 133: 229-41.
- Moreira, M. R.; Roura, S.I. y Ponce, A. (2011). Effectiveness of chitosan edible coatings to improve quality of fresh cut broccoli. *Food Science and Technology*. 1-7.
- Morena, J. y De La Plaza, J.L. (1993). The respiratory intensity of cherimoya during refrigerated storage: A special case of climacteric fruit? *Acta Horticulturae*. 138: 179–186.
- Muñoz, M. ; Aguado, P.; Ortega, N.; Escribano, M.I. y Merodio, C. (1999). Regulation of ethylene and polyamine synthesis by elevated carbon dioxide in cherimoya fruit stored at ripening and chilling temperatures. *Australian Journal of Plant Physiology*. 26: 201–209.





REFERENCIAS



- Murillo-Martínez, M.M.; Pedroza-Islas, R.; Lobato-Calleros, C.; Martínez-Ferez, A. y Vernon-Carter, E.J. (2011). Designing W1/O/W2 double emulsions stabilized by proteinopolysaccharide complexes for producing edible films: Rheological, mechanical and water vapour properties. *Food Hydrocolloids*. 25: 577-585.
- Navarro-Tarazaga, M.L.; Massa, A. y Pérez-Gago, M.B. (2011). Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (*Cv. Angeleno*). *Food Science and Technology*. 2: 1-7.
- Nicola, S.; Fontana, E.; Torassa, C.; Hoeberechts, J. (2006). Fresh-cut produce: postharvest critical issues. *Acta Horticulture*. 712: 223-229.
- Obenland, D.; Neipp, P.; Mackey, B. y Never, L. (2005). Peach and Nectarine quality following treatment with high-temperature forced air combined with controlled atmosphere. *HortScience*. 40(5): 1425-1430.
- Ochoa, J. (2003). Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de la República Argentina In: Inglese, P. y Nefzaoui, A. eds. Cactusnet Newsletter. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Número especial. Roma.
- Olarte, C.; Sanz, S.; Echavarría, J.F. y Ayala, F. (2009). Effect of plastic permeability and exposure to light during storage on the quality of minimally processed broccoli and cauliflower. *Food Science and Technology*. 42: 402-411.
- Olivas, G. y Barbosa-Cánovas, G. (2009). *Edible films and coatings for fruits and vegetables*. In: Embuscado, M.E., Huber, K.C. (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York-U.S.A., pp. 211-244.
- Oliveira, F. A. R.; Fonseca, S. C.; Oliveira, J. C.; Brecht, J. K. y Chau, K. V. (1998). Development of perforation-mediated modified atmosphere packaging to preserve fresh fruit and vegetable quality after harvest. *Food Science and Technology International*. 4(5): 339-352.
- Oms-Oliu, G.; Rojas-Graü, M.A.; Alandes, G.L.; Varela, P.; Soliva-Fortuny, R.; Hernando-Hernando, M.I. y Pérez-Munuer, I.; Fiszman, S. y Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 57: 139-148.
- Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *Food Science and Technology*. 41: 1862-1870.
- Opuntia (2011). Wikipedia, la enciclopedia libre. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia>
- Ortiz, L.E.; Antonio, C.R.; Cruz, G.J.; Mendoza, M.A.M.; Morales, C.A.B. (2006). Síntesis y caracterización de hidrogeles obtenidos a partir de Acrilamida y Metilcelulosa. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 7(4):65-69.





REFERENCIAS



- Osés, J.; Fabregat-Vázquez, M.; Pedroza-Islas, R.; Tomás, S.A.; Cruz-Orea, A.; Maté, J.I. (2009). Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. *Journal of Food Engineering*. 92: 56–62.
- Pace, B.; Cefola, M.; Renna, F. y Attolico, G. (2011). Relationship between visual appearance and browning as evaluated by image analysis and chemical traits in fresh-cut nectarines. *Postharvest Biology and Technology*. 61: 178–183.
- Palma, T.; Aguilera, J.M. y Stanley, D.W. (1993). A review of postharvest events in cherimoya. *Postharvest Biology and Technology*. 2: 187–208.
- Pareek, S.; Yahia, E.M.; Pareek, O.P. y Kaushik, R.A. (2011). Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits. *Food Research International*. 1-11
- Pastor, C.; Sánchez-González, L.; Marcilla, A.; Chiralt, A.; Cháfer, M. y González-Martínez, C. (2011). Quality and safety of table grapes coated with hydroxypropylmethylcellulose edible coatings containing propolis extract. *Postharvest Biology and Technology*. 60: 64–70.
- Pastor, C.; Vargas, M. y González-Martínez, C. (2005). Recubrimientos comestibles: Aplicación a frutas y hortalizas. *Alimentación, Equipos y Tecnología*. 197: 130-135.
- Paull, R.E. (1982). Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 107: 582–585.
- Paull, R.E.; Deputy, J. y Chen, N.J. (1983). Changes in organic acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop (*Annona muricata* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 108: 931–934.
- Peña, V.C.B. y Sánchez, U.B.A. (2004). Polisacáridos de nopalito y tuna (*Opuntia spp*). X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal y otras cactáceas de valor económico. Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. México.
- Pérez-Gago, M.B.; Krochta, J.M. (2001). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 49: 996-1002.
- Pérez-Gago, M.B.; Serra, M.; Del Río, M.A. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 39:84–92.
- Pinto, A.C.Q.; Cordeiro, M.C.R.; De Andrade, S.R.M.; Ferreira, F.R.; Filgueiras, H.A.C. y Alves, R.E. (2005). *Annona* species (pp. 263). Southampton: International Centre for Underutilized Crops, University of Southampton.





REFERENCIAS



- Pires, C.; Ramos, G.; Teixeira, I.; Batista, R.; Mendes, L.; Nunes, A. y Marques, J. (2011). Characterization of biodegradable films prepared with hake proteins and thyme oil. *Journal of Food Engineering*. 105: 422–428.
- Po-En, C. y Lih-Shiuh, L. (2010). Antimicrobial activities of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum coatings containing green tea extracts in fruit-based salads, romaine hearts and pork slices. *International Journal of Food Microbiology*. 139: 23–30.
- Prinsi, B.; Negri, A.S.; Fedeli, C.; Morgutti, S.; Negrini, N.; Cocucci, M. y Espen, L. (2011). Peach fruit ripening: A proteomic comparative analysis of the mesocarp of two cultivars with different flesh firmness at two ripening stages. *Phytochemistry*. 72: 1251–1262.
- Prunus pérsica. (2011). Wikipedia. La enciclopedia libre. Consultado: 25-Junio-2011. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- Puerta-Gomez, A.F. y Cisneros-Zevallos, L. (2011). Postharvest studies beyond fresh market eating quality: Phytochemical antioxidant changes in peach and plum fruit during ripening and advanced senescence. *Postharvest Biology and Technology*. 60: 220–224.
- Qi, H.; Hu, W.; Jiang, A.; Tian, M. y Li, Y. (2011). Extending shelf-life of Fresh-cut ‘Fuji’ apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 12: 62–66.
- Qing, F y Shiping, T. (2000). Postharvest Biological Control of Rhizopus Rot of Nectarine Fruits by *Pichia membranefaciens*. *Plant Disease*. 84(11): 1212-1216.
- Quezada-Gallo. J.A.; Debeaufort, F.; Callegarin, F.; Voilley, A. (2000). Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based films. *J. Membrane Science*. 180: 37-46.
- Ramos-García, M.L.; Bautista-Baños, S. y Barrera-Necha, L.L. (2010). Compuestos Antimicrobianos Adicionados en Recubrimientos Comestibles para Uso en Productos Hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 45 (28): 1-14.
- Rao, M.S.; Kanatt, S.R.; Chawla, S.P.; Sharma, A. (2010). Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*. 82: 1243–1247.
- Raybaudi-Massilia, R.M.; Mosqueda-Melgar, J. y Martín-Belloso, O. (2008). Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*. 121: 313–327.
- Rinaudo, M. (2008). Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. *Polymer International*. 57: 397-430.
- Ríos, R.J. y Quintana, M.V. (2004). *Manejo general del cultivo del nopal. Manual del participante*. Colegio de Posgraduados-Montecillos. México. pp. 81.





REFERENCIAS



- Rocha, A.M.C.N.; Morais, A.M.M.B. (2003). Shelf life of minimally processed apple “Jonagored” determined by colour changes. *Food Control*. 14(1): 13-20.
- Rojas-Graü, M.A. y Martín-Belloso, O. (2008). Current advances in quality maintenance of fresh-cut fruits. *Stewart Postharvest*. 5: 2-6.
- Rojas-Graü, M.A.; Olsen, C.; Avena-Bustillos, R. J.; Friedman, M.; Henika, P. R.; Martín-Belloso, O. (2007). Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginateapple puree edible films. *Journal of Food Engineering*. 81: 634-641.
- Rojas-Graü, M.A.; Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 20: 438-447.
- Ruiz-Cruz, S.; Guevara-Gálvez, C.L.; Estada-Alvarado, I.; Cira-Chávez, L.A.; Gassós-Ortega, L.E. y Llanez-Samantego, A.L. (2010). Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y almidón para mantener la calidad sensorial y microbiológica de melón fresco cortado. *Revista Internacional de Ciencia y tecnología Biomédica*. Abril. 1-11.
- Sáenz, H.C. (2004). *Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp. El nopal, tópicos de actualidad*. Universidad Autónoma Chapingo, México. Pp.222.
- Sáenz, H.C. (2006). *Opuntia spp. Bioactive compounds in foods: a plus for health*. Proceedings of fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. *Acta Horticulturae*. 728: 231-225.
- Sáenz, H.C.; Berger, H.; Corrales, G.J.; Galletti, L.; García D.C.V.; Higuera, I.; Mondragón, C.; Rodríguez-Félix, A.; Sepúlveda, E y Varnero, M.T. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria (AGST) con la colaboración de la Red Internacional de Cooperación Técnica del Nopal (FAO-CACTUSNET). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma-Italia. Pp. 168.
- Sáenz, H.C.; Sepúlveda, E. y Matsuhira, B. (2004). *Opuntia spp. mucilage’s: A functional component with industrial perspectives*. *Journal of Arid Environment*. 57: 275–290.
- Sánchez-González, L.; Vargas, M; González-Martínez, C; Cháfer, M. y Chiralt, A. (2008). Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos. VIII Congreso SEAE Bullas. Consultado: 19- Septiembre- 2011. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Incorporaci%C3%B3n-De-Productos-Naturales-En-Recubrimientos/613852.html>
- Sánchez-González, L.; Vargas, M.; González-Martínez, C.; Chiralt, A.; Cháfer, M. (2009). Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids*. 23: 2102–2109.
- Sanchez, J.A.; Zamorano, J.P.; Hernandez, T. y Alique, R. (1998). Enzymatic activities related to cherimoya fruit softening and sugar metabolism during short-term controlled





REFERENCIAS



- atmosphere treatments. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A*. 207: 244–248.
- Saucedo-Pompa, S.; Rojas-Molina, R.; Aguilera-Carbó, A.F.; Saenz-Galindo, A.; La Garza, H.; Jasso-Cantú, D. y Aguilar, C.N. (2009). Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42: 511–515.
 - Sayanjali, S.; Ghanbarzadeh, B. y Ghiassifar, S. (2011). Evaluation of antimicrobial and physical properties carboxymethyl cellulose containing potassium *Aspergillus* species in fresh pistachios. *Food Science and Technology*. 44: 1133-1138.
 - Sepúlveda, E.; Sáenz, C.; Aliaga, E. y Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia spp.* *Journal of Arid Enviroments*. 68: 534-545.
 - Shafiur, R. (2003). *Manual de conservación de los alimentos*. Acribia. Zaragoza-España. Pp. 863.
 - Shewfelt, R.L. (1987). Quality of minimally processed fruits and vegetables. *Journal Food Quality*. 10: 143-156.
 - Shih, F.F.; Daigle, K.W. y Champagne, E.T. (2011). Effect of rice wax on water vapour permeability and sorption properties of edible pullulan films. *Food Chemistry*. 127: 118–121.
 - Simões, A.D.N.; Tudela, J.A.; Allende, A.; Puschmann, R. y Gil, M.I. (2009). Edible coatings containing chitosan and moderate modified atmospheres maintain quality and enhance phytochemicals of carrot sticks. *Postharvest Biology and Technology*. 51: 364–370.
 - Sothornvit, R. (2011). Edible Coating and Post-Frying Centrifuge Step Effect on Quality of Vacuum-Fried Banana Chips. *Journal of Food Engineering*. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.07.010
 - Sothornvit, R.; Krochta, J.M. (2001). Plasticizer effect on mechanical properties of B-lactoglobulin films. *Journal Food Engineering*. 50: 149-155.
 - Sothornvit, R. y Pitak, N. (2007). Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research Internatinal*. 40: 365-370.
 - Souza, B.W.S.; Cerqueira, M.A.; Casariego, A.; Lima, A.M.P.; Teixeira, J.A.; Vicente, A.A. (2009). Effect of moderate electric fields in the permeation properties of chitosan coatings. *Food Hydrocolloids*. 23: 2110–2115.
 - Stintzing, F.C. y Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia spp.*): a review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition and Food Reserch*. 49: 175-194.
 - Sudzuki, F. (1999). *Anatomía y morfología. Agroecología, cultivo y usos del nopal*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Roma-Italia. Pp. 132.





REFERENCIAS



- Talavera, L.V. (1997). *Descripción de doce variedades de nopal verdura (Opuntia spp.)* Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. Pp.222.
- Talens, P. y Krochta., J.M. (2005). Plasticizing effects of beeswax and carnauba wax on tensile and water vapor permeability properties of whey protein films. *Journal of Food Science*. 70(3): 239-243.
- Thakhiew, W.; Devahastin, S.; Soponronnarit, S. (2010). Effects of drying methods and plasticizer concentration on some physical and mechanical properties of edible chitosan films. *Journal of Food Engineering*. 99: 216–224.
- Toivonen, P.M.A. y Brummell, D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 48: 1–14.
- Torres, L.M.A.R.; Silva, M.A.; Guaglianoni, D.G. y Neves, V.A. (2009). Effects of heat treatment and calcium on postharvest storage of atemoya fruits. *Alimentos e Nutrição, Araraquara*. 20(3): 359–367.
- Trezza, T.A. y Krochta, J.M. (2000). The gloss of edible coatings as affected by surfactants, lipids, relative humidity, and time. *Journal of Food Science*. 65: 658-662.
- Trinkinhuelas. (2007). Licuada de Nopal para adelgazar, escrito por Chap Stick. Consultado: 29-Abril-2011. Disponible en: <http://trinkinhuelas.com/archivos/2007/09/22/licuada-de-nopal-para-adelgazar/>
- Tsantili, E.; Y. Shina; J.F. Nocka y C.B. Watkinsa. (2010). Antioxidant concentrations during chilling injury development in peaches. *Postharvest Biology and Technology*. 57: 27–34.
- Tzoumaki, M.V.; Biliaderis, C.G. y Vasilakakis, M. (2009). Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) during cold storage. *Food Chemistry*. 117: 55–63.
- Un blog verde. (2010). El nopal, un gran purificador de agua. Consultado: 25-Abril-2011. Disponible en: <http://www.dforceblog.com/2010/05/02/el-nopal-un-gran-purificador-de-agua/>
- Valencia-Chamorro, S.A.; Palou, L.; Del Río, M.A. y Pérez-Gago, M.B. (2011). Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of ‘Clemenules’ mandarins. *Food Science and Technology*. xxx (2011) 1e7
- Valencia-Chamorro, S.A.; Pérez-Gago, M.B.; Del Río, M.A. y Palou, L. (2009). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)–lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored ‘Valencia’ oranges. *Postharvest Biology and Technology*. 54: 72–79.





REFERENCIAS



- Valle-Guadarrama, S.; López, R.O.; Reyes, V.M.; Castillo, M.J. y Santos, M.A. (2008). Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmosfera modificada. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 14(3): 235-241.
- Valle-Guadarrama, S.; Saucedo-Veloz C.; Peña-Valdivia, C. B.; Corrales-García, J. J. E.; Chávez-Franco, S. H. y Espinosa-Solares, T. (2002). Skin permeance and internal gas composition in ‘Hass’ avocado (*Persea Americana* Mill.) fruits. *Food Science and Technology International*. 8(6): 365-373.
- Varela, P. y Fiszman, S.M. (2011). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids* 5: 1-12.
- Varela, P.; Salvador, A. y Fiszman, S.M. (2007). The use of calcium chloride in minimally processed apples: a sensory approach. *Eur. Food Res. Technol.* 224: 461–467.
- Vargas, M.; Perdonés, A.; Chiralt, A.; Cháfer, M. y González-Martínez, C. (2011). Effect of homogenization conditions on physicochemical properties of chitosan-based film-forming dispersions and films. *Food Hydrocolloids*. 25: 1158-1164.
- Vásconez, M.B.; Flores, S.K.; Campos, C.A.; Alvarado, J.; Gerschenson, L.N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*. 42: 762–769.
- Vida nutrida. (2008). Valor nutricional de la chirimoya. Consultada: 15-Febrero-2011. Disponible en: <http://www.vidanutrida.com/2008/07/18/valor-nutricional-de-la-chirimoya/>
- Villalobos-Carvajala, R.; Hernández-Muñoz, P.; Alborse, A.; Chiralt, A. (2009). Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. *Food Hydrocolloids*. 23: 526–535.
- Vu, K.D.; Hollingsworth, R.G.; Leroux, E.; Salmieri, S. y Lacroix, M. (2011). Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Research International*. 44: 198–203.
- Wang, X.; Sun, X.; Liu, H.; Li, M. y Ma, Z. (2011). Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioprocess Processing*. 89: 149–156.
- Watada, A.E., Ko, N.P., Minott, D.A. (1996). Factors affecting fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*. 9: 115-125.
- Wiley, R.C., (1994). *Preservation methods for minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. In: Wiley, R.C. (Ed.). *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Chapman & Hall. New York-USA. pp. 134.
- Wiley, R.C. (1997). *Introducción a las frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Acribia. España. Pp. 114.





REFERENCIAS



- Yamashita, F.; Miglioranza, L.H.D.S.; Miranda, L.D.A. y De Almeida e Souza, C.M. (2002). Effects of packaging and temperature on postharvest of atemoya. *Revista Brasileira Fruticultura*. 24: 658–660.
- Yonemoto, Y.; Higuchi, H. y Kitano, Y. (2002). Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf life in cherimoya fruit. *Journal of Japanese Society of Horticultural Science*. 71: 643–650.
- Zahedi, Y.; Ghanbarzadeh, B.; Sedaghat, N. (2010). Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. *Journal of Food Engineering*. 100: 102–108.
- Zamorano, J.P.; Alique, R. y Canet, W. (1999). Mechanical parameters to assess quality changes in cherimoya fruit. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung A*. 208: 125–129.
- Zhou, R.; Li, Y.; Yan, L. y Xie, J. (2011). Effect of edible coatings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. *Huanghua*) during storage. *Food Chemistry*. 124: 569–575.
- Ziliotto, F.; Begheldo, M.; Rasori, A.; Bonghi, C. y Tonutti, P. (2008). Transcriptome profiling of ripening nectarine (*Prunus persica* L. Batsch) fruit treated with 1-MCP. *Journal of Experimental Botany*. 59(10): 2781–2791.

