

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EFFECTO DE LA FORMULACIÓN DE
RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES CON
 β -CAROTENO NANOENCAPSULADO EN LA
CALIDAD DE MANGO (*Mangifera indica*) MANILA
FRESCO CORTADO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MARÍA PAOLA JUÁREZ RECAMIER

ASESORES:

DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA

I.A. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNAM
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto de la formulación de recubrimientos comestibles con β -caroteno nanoencapsulado en la calidad de mango (*Mangifera indica*) manila fresco cortado

Que presenta la pasante: María Paola Juárez Recamier
Con número de cuenta: 306307942 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de abril de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Juan Manuel Aceves Hernández	
VOCAL	I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal	
SECRETARIO	Dra. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
1er. SUPLENTE	I.A. Alberto Solís Díaz	
2do. SUPLENTE	Dr. Omar Reyes Martínez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HHA/iac

El presente trabajo fue financiado por el proyecto
PAPIIT IT200814: Desarrollo de sistemas
nanoparticulados alimenticios para incrementar la vida
útil y nutracéutica de frutas frescas cortadas y bebidas
de frutas, de la Dirección de Asuntos del Personal
académico de la UNAM.

Y El proyecto PE206664: Implementación de técnicas
y métodos de enseñanza para la aplicación de
nanotecnología en la conservación de alimentos a
bajas temperaturas, sometidas a procesos térmicos y de
transferencia de masa, de la Dirección de Asuntos del
Personal académico de la UNAM.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia ya que sin su apoyo, no hubiera logrado este objetivo en la vida, sin embargo, les agradezco a ustedes mamá y papá por confiar en mí y tener las riendas bien puestas para que no me desviara del camino, no se nace aprendiendo a ser padres pero considero que hacen un excelente trabajo, los quiero muchísimo.

Mamá tu que demuestras día con día cuanto nos quieres con un abrazo, una llamada o una sonrisa, siempre dando sin esperar nada a cambio solo por el hecho de vernos bien, eres mi ejemplo a seguir. Ya que has hecho de mí una mujer fuerte con tu ejemplo me has enseñado a luchar por mis ideales y sueños pero sobre todo a nunca rendirme gracias por todo tu incondicional apoyo, te amo mamá.

Papá tu que me motivas a ser una persona de bien y trabajadora, gracias por apoyarme siempre en todas las situaciones. Por acompañare todas esas mañanas y noches de la casa al transporte o viceversa sé que era pesado para ti pero aun así lo hacías, gracias papá te quiero mucho.

Chipis no tienes idea de cuánto me apoyaste durante la carrera, aguantando las luces nocturnas, mis mini exposiciones las cuales escuchabas una y otra y otra vez, las preguntas que me hacías antes de mis exámenes, el soportar todos mis cambios de animó pff puedo seguir pero pues ya sabes. Te quiero un montón hermana gracias por existir (no estuvo tan mal pedirte de reyes). Te quiero.

A mi abuelita Petra la cual siempre ha estado pendiente de mí, dándome consejos, cuidándome, brindándome amor. Te quiero mucho abuelita espero y sigamos en contacto como hasta ahora, es más que se mejore, no te imaginas como extraño las excelentes pláticas matutinas acompañadas de pan tostado y café. No lo hubiera logrado sin tu apoyo.

A mis amigos Nata, Ahtziri, Mary, Jessi y Karla que bueno, que no hemos vivido juntos muchachos desveladas, platicas, cafés, fiestas, seminarios, pelas (creó que solo fueron con nata), amores y bueno lo que nos falta porque aunque tomamos caminos diferentes siempre hay espacio para una buena taza de café.

A mi Sunay, Serch, Carmen, Bety, Moni y Chino gracias por todos esos momentos vividos los buenos y los no tan buenos, cuantas historias ¿no? Mejor no las relato :D jejeje gracias por su apoyo muchachos y ps como dice serch si se puede y pues a darle, los quiero mucho.

A la Doctora Luz Zambrano, maestra ni como agradecerle todo el apoyo que me ha brindado, en verdad que todavía no puedo creer que me dejara en su laboratorio después de lo ocurrido... ya no se puede arrepentir:) Gracias por todo el tiempo que le invirtió al proyecto y a mí, pero sobre todo por las enseñanzas que me brindo.

Ricardo sé que no tuvimos el mejor comienzo del mundo, pero heme aquí siendo tú tesista y no solo eso, en ti encontré un gran amigo. Gracias por no solo enseñarme, si no escucharme, soportarme, regañarme y demás en verdad le diste un giro radical a mí vida, te quiero mucho ricardi. Y sé que no crees en dios pero pues por algo estamos en el camino.

Gracias a la UNAM por permitirme formar parte de la máxima casa de estudios. Por mi raza hablara el espíritu.

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Capítulo I. Marco Teórico	
1.1 Mango	3
1.1.1 Producción de mango en México	3
1.1.2 β -caroteno como antioxidante de mango manila	5
1.2. Frutos frescos cortados	6
1.2.1 Cambios fisiológicos y bioquímicos en el mango manila	8
1.3 Recubrimiento	10
1.3.1 Tipos de recubrimiento	11
1.3.1.1 Hidrocoloides	12
1.3.1.2 Lípidos	14
1.3.1.3 Recubrimientos Compuestos	15
1.3.2 Aplicaciones	15
1.4 Nanocápsulas	17
1.4.1 Método emulsificación-difusión	18
1.4.1.1 Características de las nanocápsulas	19
1.4.2 Productos mejorados con nanocápsulas	21
Capítulo II. Metodología Experimental	
2.1 Problema	22
2.2 Objetivo General	22
2.3 Objetivos Particulares	22
2.4 Actividades preliminares	25
2.4.1 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	25
2.4.2 Preparación de nanocápsulas	25
2.4.3 Selección de mango manila	25
2.4.4 Preparación de recubrimientos	26
2.4.5 Aplicación de recubrimientos	26

2.4.6	Evaluación de los factores fisicoquímicos en el mango manila.	29
2.5	Actividades	30
Caítulo III. Resultados		
3.1	Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	33
3.2	Cambios fisicoquímicos asociados a la calidad en el mango manila.	33
3.2.1	Pérdida fisiológica de peso	33
3.2.2	pH	37
3.2.3	Grados Brix	39
3.2.4	Acidez titulable	43
3.3	Evaluación de los factores de calidad en el mango manila.	47
3.3.1	Determinación de consumo de oxígeno y concentración de oxígeno	47
3.3.1.1	Consumo de oxígeno	47
3.3.1.2	Concentración de oxígeno	50
3.3.2	Cambios de color	55
3.3.2.1	Luminosidad	55
3.3.2.2	Tonalidad del ángulo	58
3.3.2.3	Croma	63
3.3.2.4	Delta E	67
3.3.3	Evaluación de textura	70
3.3.3.1	Dureza	73
3.3.3.2	Módulo de Young	77
3.3.3.3	Porcentaje de deformación	82
3.3.4	Liberación de β -caroteno	87
Conclusiones		95
Bibliografía		97

Índice de Cuadros

Cuadro 1. 1 Producción agrícola anual por variedad (SAGARPA-SIAP, 2011)	4
Cuadro 1. 2 Producción agrícola anual por estado (SAGARPA-SIAP, 2011)	4
Cuadro 1. 3 Composición del mango manila (Janick y Paull, 2008).	6
Cuadro 1. 4 Estudios de recubrimientos y películas comestibles aplicados a mango fresco cortado.	16
Cuadro 2. 1 Formulaciones de recubrimientos aplicados al mango manila.	27
Cuadro 3. 1 Efecto del recubrimiento en la pérdida fisiológica de peso sobre la calidad del mango manila.	34
Cuadro 3. 2 Efecto de los recubrimientos sobre la calidad del mango manila en el pH.	38
Cuadro 3. 3 Efecto de los recubrimientos sobre los °Brix en mango manila fresco cortado.	40
Cuadro 3. 4 Efecto de los recubrimientos sobre la calidad del mango manila en el porcentaje de acidez.	43
Cuadro 3. 5 Velocidad de consumo de oxígeno en mango manila fresco cortado.	48

Índice de Figuras

Figura 1. 1 Estructuras de carotenoides identificados en el mango (<i>mangifera indica</i>); a) violaxantina, b) β -caroteno (Pott y col., 2003).	5
Figura 1. 2 Efecto de los recubrimientos comestibles aplicados a alimentos (Marzo, 2010).	11
Figura 1. 3 Estructura química de la GX (Narchi y col., 2009)	13
Figura 1. 4 Estructura química de CMC (Biswal y col., 2004)	14
Figura 1. 5 Diferentes estructuras nanocapsulares: (a) núcleo líquido, (b) polímero de matriz y (c) sustancia activa en dispersión molecular (Mora-Huertas y col., 2010).	17
Figura 2. 1 Metodología experimental	24
Figura 2. 2 Diagrama de bloques para preparar mango manila fresco cortado.	28
Figura 3. 1 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en la pérdida fisiológica de peso.	36

Figura 3. 2 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en pH.	39
Figura 3. 3 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en °Brix.	42
Figura 3. 4 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en acidez titulable.	46
Figura 3. 5 Diagrama Pareto para consumo de oxígeno del mango manila.	49
Figura 3. 6 Porcentaje de oxígeno consumido de los tratamientos A, B, C, D y N durante el almacenamiento del mango manila fresco cortado.	51
Figura 3. 7 Porcentaje de oxígeno consumido de los tratamientos a base de CMC durante el almacenamiento del mango manila fresco cortado.	51
Figura 3. 8 Porcentaje de oxígeno consumido de los tratamientos a base de Goma Xantana durante el almacenamiento del mango manila fresco cortado.	52
Figura 3. 9 Diagrama Pareto para concentración de oxígeno en el día dieciocho de almacenamiento de mango manila.	54
Figura 3. 10 Luminosidad de los tratamientos de mango fresco cortado A, B, C, D y N durante el almacenamiento.	56
Figura 3. 11 Luminosidad de los tratamientos de mango fresco cortado a base de CMC durante el almacenamiento.	56
Figura 3. 12 Luminosidad de los tratamientos de mango fresco cortado a base de goma xantana durante el almacenamiento.	57
Figura 3. 13 Diagrama Pareto para la luminosidad en el día dieciocho de almacenamiento de mango manila.	58
Figura 3. 14 Tonalidad del ángulo de los tratamientos de mango fresco cortado A, B, C, D y N durante el almacenamiento.	59
Figura 3. 15 Tonalidad del ángulo de los tratamientos de mango fresco cortado a base de CMC durante el almacenamiento.	60
Figura 3. 16 Tonalidad del ángulo de los tratamientos de mango fresco cortado a base de goma xantana durante el almacenamiento.	60
Figura 3. 17 Diagrama Pareto para tonalidad de ángulo en mango manila para el día dieciocho de almacenamiento.	61
Figura 3. 18 Croma de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	63

Figura 3. 19 Croma del mango manila con tratamiento a base de CMC durante el almacenamiento.	64
Figura 3. 20 Croma del mango manila con tratamiento a base de goma xantana durante el amacenamiento.	64
Figura 3. 21 Diagrama Pareto para Croma del mango manila fresco cortado en el día dieciocho de almacenamiento.	66
Figura 3. 22 Delta E del mango manila de los tratamientos A, B, C, D y N durante el almacenamiento.	67
Figura 3. 23 Delta E del mango manila de los tratamientos a base de CMC durante el almacenamiento.	68
Figura 3. 24 Delta E del mango manila de los tratamientos a base de goma xantana durante el almacenamiento.	68
Figura 3. 25 Diagrama Pareto para Delta E en mango manila para el día dieciocho.	69
Figura 3. 26 Curva de fuerza contra tiempo del mango manila fresco cortado.	72
Figura 3. 27 Dureza de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	73
Figura 3. 28 Dureza de los tratamientos a base de CMC de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	74
Figura 3. 29 Dureza de los tratamientos a base de goma xantana de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	74
Figura 3. 30 Diagrama Pareto para dureza del mango manila en el día dieciocho de almacenamiento.	76
Figura 3. 31 Gráfico esfuerzo distancia del mango manila	78
Figura 3. 32 Módulo de Young de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento	78
Figura 3. 33 Módulo de Young de los tratamientos a base de CMC de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento	80
Figura 3. 34 Módulo de Young de los tratamientos a base de goma xantana de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento	80
Figura 3. 35 Diagrama Pareto para Módulo de Young de mango manila en el día dieciocho de almacenamiento.	82

Figura 3. 36 Porcentaje de deformación de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	84
Figura 3. 37 Porcentaje de deformación de los tratamientos a base de CMC de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	84
Figura 3. 38 Porcentaje de deformación de los tratamientos a base de goma xantana de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.	85
Figura 3. 39 Diagrama Pareto para porcentaje de deformación de mango manila en el día dieciocho de almacenamiento.	86
Figura 3. 40 Curva de concentración vs absorbancia del β – Caroteno	87
Figura 3. 41 Liberación de β -caroteno de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila.	89
Figura 3. 42 Liberación de β -caroteno de recubrimientos con CMC como polímero base del mango manila.	89
Figura 3. 43 Liberación de β -caroteno de recubrimientos con Goma Xantana como polímero base del mango manila.	90
Figura 3. 44 Diagrama Pareto de liberación de β -caroteno en el día dieciocho.	92

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la composición de recubrimientos comestibles adicionados con β -caroteno nanoencapsulado en mango (*Mangifera indica*) manila fresco cortado, almacenado en refrigeración mediante cambios en la velocidad de respiración, color y textura que contribuyeran a incrementar la vida útil del mango manila. El consumo de frutas frescas cortadas se ha incrementado en los últimos años, debido principalmente a sus propiedades nutrimentales ya que se ha demostrado que sus antioxidantes contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas degenerativas. Sin embargo, las frutas frescas cortadas se deterioran más rápido que los productos intactos como resultado directo de las heridas asociadas al procesamiento. Las dispersiones formadoras de película se prepararon agregando 500 $\mu\text{g/mL}$ de nanocápsulas dependiendo del diseño experimental. Los factores considerados en el diseño experimental fueron la concentración de cloruro de calcio (0, 0.5 y 1%), la concentración de sorbitol (1, 1.5 y 2%), el tipo de polisacárido al 0.3% (xantana, CMC y mezcla), la evaluación del efecto se llevó a cabo por medio de un diseño factorial completo 3^2 . El mango manila lavado, desinfectado y cortado en cubos, se recubrió con la dispersión correspondiente, envasándose y almacenándose a $4^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ por un periodo de 18 días. Durante el almacenamiento se monitorearon los cambios en croma, Luminosidad y ángulo Hue, $^\circ\text{Brix}$, acidez, textura y cambios en la concentración de oxígeno. Resultando el mejor tratamiento NC + CMC + GX + 1.5% Sorbitol + 0.5 % CaCl_2 (R_5), presentó un consumo de oxígeno de $3.35 \text{ mL/kg h} \pm 0.95$, mostrándose que los tratamientos NC + CMC + 2% Sorbitol (R_3), nanocápsulas (N) y (R_5) tienen una mayor influencia sobre el oscurecimiento asociado a la actividad de las polifenoloxidas, los mejores valores fueron obtenidos para R_3 con 65.39 ± 1.82 de L^* , N con 73.38 ± 2.40 en croma, R_5 con $80.34^\circ \pm 0.85$ en $^\circ\text{Hue}$ y el que mostro un menor ΔE fue R_3 con 4.51 ± 2.40 . En cuanto a la textura se realizaron pruebas de compresión para evaluar los cambios en la firmeza de los mangos, a los 18 días el mejor tratamiento CaCl_2 + CMC (C) alcanzó valores de $6.3 \text{ mJ} \pm 1.64$, por último se evaluó la liberación de β -caroteno nanoencapsulado a través de extracción con ciclo hexano para establecer la difusión del agente activo durante el almacenamiento presentando una liberación controlada de β -caroteno lo cual ayudó a la conservación del mango manila fresco cortado.

INTRODUCCIÓN

El mango manila es un fruto con alto valor nutricional ya que contiene compuestos bioactivos con propiedades biológicas que actúan principalmente como antioxidantes biológicos (Robles-Sánchez y col., 2009). El mango en particular es rico en ácido ascórbico, β -caroteno, compuestos fenólicos y pequeñas cantidades de α -tocoferol (Robles-Sánchez y col., 2013). Una forma de consumir el mango es como fruto fresco cortado, estos productos mantienen los atributos de calidad y frescura como frutos enteros y que solo han sufrido un procesado mínimo manteniendo las características del producto fresco (Pérez-Gago y col., 2006). El interés por parte de los consumidores y productores de frutos frescos cortados radica en la calidad y componentes antioxidantes que se puedan mantener después de la transformación durante períodos prolongados (Gil y col., 2006). Es por ello que los recubrimientos comestibles están ganando importancia como alternativa para reducir el deterioro causado por el procesamiento mínimo de frutas frescas, y por su utilidad como vehículos de aditivos alimentarios (Chiumarelli y col., 2011). Los recubrimientos comestibles son capas delgadas de materiales comestibles aplicados en los productos alimenticios y se han desarrollado con el fin de extender la vida útil de los productos alimenticios (Guillard y col., 2009; Figueroa y col., 2011). Hoy en día la nanotecnología permite mejorar el valor nutrimental de los productos y su absorción en el cuerpo, de forma tal que la biodisponibilidad de los nutrientes de interés aumente (Zambrano-Zaragoza y col., 2013). Las nanopartículas entre las que se encuentran las nanocápsulas son definidas como partículas coloidales con diámetro submicrónico (Mora-Huertas y col., 2010). La estructura de las nanocápsulas es muy atractiva para el desarrollo de alimentos ya que el núcleo oleoso puede ser un aceite activo o pueden servir como un vehículo para contener diferentes sustancias en particular aditivos alimentarios y dietéticos (Cushen y col., 2012). Si se modifica las características físicas del alimento original con nanocápsulas, mejora su calidad sensorial y / o aumenta su valor nutricional, para mejorar la salud (Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Mango

El mango (*Mangifera indica*) es un fruto muy saludable, succulento, carnoso, de forma oval. Sus medidas van de cinco a quince centímetros de longitud y son de color verdoso, amarillento o rojizo. Es una fruta con alto valor nutricional la cual suministra calorías, fibra, vitaminas y minerales por lo que es una de las preferidas en nuestro país y el mundo (Robles-Sánchez y col., 2013). Contienen varios compuestos bioactivos, que comprenden sustancias nutrientes y no nutrientes con propiedades biológicas que actúan principalmente a través de mecanismos redox, actuando como antioxidantes biológicos que maximizan la defensa antioxidante humana promoviendo la salud (Robles-Sánchez y col., 2009).

El mango en particular es rico en ácido ascórbico, β -caroteno, compuestos fenólicos y pequeñas cantidades de α -tocoferol, que contribuyen a la alta capacidad antioxidante, en comparación con otras frutas y hortalizas. Los efectos aditivos y sinérgicos generados a partir de los compuestos bioactivos sugieren que la fruta tiene un gran potencial para mejorar la salud y reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Rocha, 2010).

1.1.1 Producción de mango en México

Las variedades de mango más producidas en 2011 se muestra en el Cuadro 1. 1 en donde se encuentran Ataulfo, Manila, Haden y Keitt los cuales representan el 23.6% y 25.7%, el 19.5% y 25.6%, el 13.5% y 14.3% finalmente el 12.8% y 10.4% de la producción y del valor generado por esta fruta en nuestro país (SIAP, 2012). En México el mango con mayor consumo percapita e importancia es la variedad “Manila”, aunque se exporta en pequeños volúmenes, está básicamente destinado al consumo interno debido a que el fruto es de baja firmeza con corta vida de anaquel.

Cuadro 1. 1 Producción agrícola anual por variedad (SAGARPA-SIAP, 2011)

Variedad	Sembrada (Ha)	Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción (Miles de pesos)
Ataulfo	46 105	43 687	394 955	9.04	1 357 252
Criollo	13 089	12 601	128 131	10.17	284 017
Haden	23 839	22 419	180 149	8.04	463 132
Keitt	8 946	88 54	70 159	7.92	113 200
Kent	19 668	17 179	159 915	9.31	422 121
Manila	37 676	37 439	293 684	7.84	783 025
Manililla	5 036	4 780	34 016	7.12	60 092
Obo	869	869	3 652	4.2	3 186
Oro	4 252	4 252	51 024	12	93 525
Paraiso	1 020	956	5 132	5.37	21 610
Tommy	21 694	20 166	198 238	9.83	401 832

Cuadro 1. 2 Producción agrícola anual por estado (SAGARPA-SIAP, 2011)

Ubicación	Sembrada (Ha)	Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción (Miles de Pesos)
Chiapas	26,484	25,049	193,041	7.71	655,788
Guerrero	24,658	24,489	329,939	13.47	1,176,039
Michoacán	22,701	20,227	124,427	6.15	363,351
Nayarit	24,514	23,982	229,696	9.58	425,026
Oaxaca	18,539	17,413	191,170	10.98	336,034
Sinaloa	29,699	27,594	178,987	6.49	432,706
Veracruz	20,977	20,957	113,923	5.44	246,073

El mango manila como se muestra en el Cuadro 1. 2 se desarrolla en climas cálidos y secos, como la zona costera del Oriente, el centro y Occidente del país. La temperatura más adecuada está entre los 26 y 32°C. Requiere lluvias moderadas: entre mil y mil quinientos milímetros de agua al año (SIAP, 2012). Ocupa el segundo lugar en superficie sembrada entre las frutas de nuestro país y el cuarto lugar en valor de producción.

1.1.2 β -caroteno como antioxidante de mango manila

El color amarillo-naranja del mango es causado por su alto contenido de carotenoides, a medida que el tiempo de almacenamiento transcurre el color amarillo-naranja es más intenso aumentando con ello la concentración de carotenoides, atribuido a la maduración del mango. Los carotenoides son compuestos solubles en lípidos precursores de vitamina A, éstos se pueden observar en la Figura 1.1 los cuales se correlacionan con efectos de protección a la salud contra algunos tipos de cáncer, degeneración muscular y enfermedades del corazón (Varakumar y col., 2011).

De acuerdo con Ornelaz-Paz en 2008 los carotenoides más importantes del mango manila son all-trans- β -caroteno, representando del 48-84% del contenido total de carotenoides, all-trans-violaxantina y 9-cis-violaxantina, en donde la cantidad de carotenoides depende del estado de madurez del fruto (Ornelas-Paz y col., 2008).

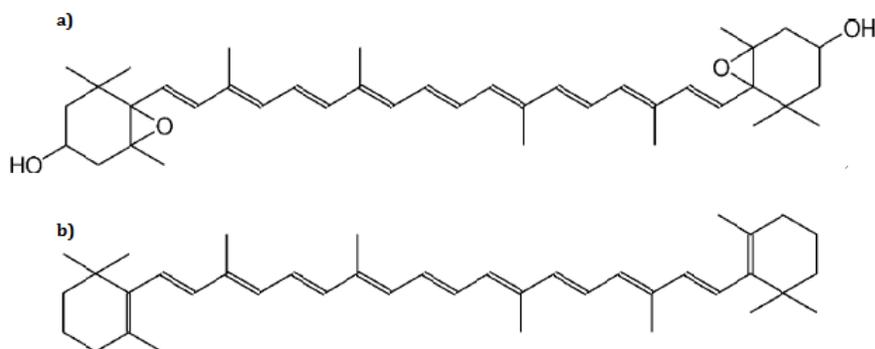


Figura 1. 1 Estructuras de carotenoides identificados en el mango (*mangifera indica*); a) violaxantina, b) β -caroteno (Pott y col., 2003).

En el Cuadro 1. 3 se muestra la composición química del mango manila, la cual muestra que el fruto es una buena fuente de vitaminas A, C y E (Janick y Paull, 2008).

Cuadro 1. 3 Composición del mango manila (Janick y Paull, 2008).

Componente	Valor por cada 100 g de pulpa	Componente	Valor por cada 100 g de pulpa
Humedad	78-85	Magnesio (mg)	9.0
Carbohidratos	13.2- 20	Hierro (mg)	0.10-0.20
Fibra	0.60-1.80	Vitamina A (IU)	765
Lípidos	0.10-0.27	Vitamina C	76
Ceniza	0.5	Vitamina E	1.12
Potasio (mg)	156.0	Niacina (mg)	0.584
Fosforo (mg)	10.0-15.0	Tiamina (mg)	0.058
Calcio (mg)	9.0- 25.0	Rivoflavina (mg)	0.057

Hoy día el mango fresco cortado es aceptado y exigido por el mercado a nivel mundial debido a su valor nutricional y exótico sabor (Gonzalez-Aguilar y col., 2008). Sin embargo, su vida útil es limitada por el oscurecimiento enzimático y cambios fisiológicos indeseables durante el almacenamiento siendo estos menos atractivos para los consumidores (Chiumarelli y col., 2010; Sothornvit y col. 2008).

1.2. Frutos frescos cortados

Los frutos frescos cortados son aquellos que debido al pelado y cortado al que son sometidos muestran alteración física de su forma original pero mantienen las características

del producto fresco con frescura similar a los frutos enteros y que tienen un procesado mínimo como son el lavado, selección, secado, pelado, cortado y envasado; resultando en un producto que es apto para consumo humano directo (Pilar y col., 2005; Rocha 2011).

La elaboración de frutas frescas cortadas comienza por una buena selección de la materia prima, debe recolectarse cuidadosamente, en óptimas condiciones higiénicas y con el adecuado grado de madurez. Este último es uno de los factores más importantes a tener en cuenta tanto en la recolección como el procesado, ya que tiene gran influencia sobre la calidad del producto final. Un estado de madurez avanzado favorece la pérdida de textura y el oscurecimiento enzimático de la fruta cortada. En cambio un estado intermedio de madurez podría minimizar y retardar el desarrollo de los procesos fermentativos que limitan la vida útil de la fruta, además de mantener las características sensoriales propias de la fruta (Real, 2013).

La vida útil del producto fresco cortado puede disminuir en comparación con el producto intacto, debido a las heridas asociadas con el proceso, aumentando las actividades metabólicas y pérdidas de enzimas y sustratos. Los deterioros físicos pueden incluir ablandamiento de tejidos, cambios en el color (especialmente oscurecimiento oxidativo en la superficie de corte), disminución de olores y desarrollo microbiano. Por otro lado el aumento de las tasas de respiración y producción de etileno a pocos minutos del corte le da un periodo de vida útil de 1-3 días a temperaturas óptimas en comparación de 1-2 semanas para la fruta entera, afectando la viabilidad y calidad de los productos frescos cortados.

Es importante controlar las variables relacionadas con el deterioro en el proceso de los frutos frescos cortados, con el fin de mantener los atributos de calidad para un periodo de tiempo suficiente y permitir la comercialización (Gonzalez-Aguilar y col., 2008).

Las frutas recién cortadas son generalmente envasadas en bolsas o contenedores de plástico en donde se crean atmósferas modificadas dentro del entorno envase-alimento. La temperatura de almacenamiento baja y atmosferas modificadas son comúnmente utilizadas

en conjunto para extender la vida útil de muchas frutas recién cortadas, ya que reducen la velocidad respiratoria, daño superficial y oscurecimiento.

1.2.1 Cambios fisiológicos y bioquímicos en el mango manila

El mango, al igual que todas las frutas y hortalizas, continúa sus procesos bioquímicos y fisiológicos aún después de cosecha, al inducir la maduración y posteriormente la senescencia. Algunos de estos procesos incluyen cambios en el color, incremento en el contenido de azúcares, pH y la relación azúcar/ácido, así como reducción en la firmeza, acidez y peso. Varias de estas características se utilizan como indicadores del estado de madurez y de la calidad postcosecha de un fruto. La pérdida de peso está asociada a la transpiración y modifica el estado (Siller-Cepeda y col., 2006).

Al ser un fruto climatérico y rico en ácidos orgánicos que están usualmente disueltos en la vacuola de la célula, ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres o glucósidos, cuando éste madura existen cambios de color en piel y pulpa de amarillo brillante a amarillo oscuro o naranja incrementándose los carotenos, en el cual se producen múltiples reacciones bioquímicas asociadas a un incremento respiratorio y emisión de etileno. Los ácidos disminuyen porque son utilizados en la respiración del fruto y los azúcares aumentan de tal forma que ocurre el aumento de °Brix y disminución de acidez (Ramírez y col., 2010).

La actividad de los flavonoides como antioxidantes depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxifenólicos y de la relación estructural entre las diferentes partes de la estructura química. Se ha observado que el contenido de flavonoides se correlaciona con la reducción de reacciones de deterioro, cuanto mayor sea el contenido de flavonoides presentes en el mango mayor será su vida útil. Por otro lado la maduración no afecta el contenido de flavonoides, ya que se ha reportado que la quercitina y catequina principales flavonoides del mango no muestran cambios durante la maduración (Palafox-Carlos y col., 2012).

En el mango entero los compuestos fenólicos solubles incrementan con la madurez ya que el almidón se convierte en azúcares simples por la actividad de la amilasa durante el almacenamiento. Se ha reportado que el ácido gálico y galotaninos son los principales compuestos fenólicos que se encuentran en el mango. En donde Kim y col., en (2009) sugirieron que estos compuestos mantienen el contenido fenólico en los primeros estados de madurez. Soong y Barlow (2006) sugirieron que la falta de cambio en ácido gálico y el aumento de la concentración de galotaninos pueden darse por hidrólisis enzimática inducida de taninos de alto peso molecular y dividirse en galotaninos pequeños a través galoiltransferasas presentes en los mangos en la vía fenilpropanoides.

Los compuestos fenólicos de la fruta son oxidados hasta quinonas mediante reacciones catalizadas por la polifenol oxidasa (PFO), su degradación se lleva a cabo cuando son expuestos al oxígeno, luz, altas temperaturas y enzimas. Durante el procesamiento mínimo de la fruta se daña la integridad del tejido vegetal y se produce un incremento de las actividades metabólicas y una descompartimentación de enzimas y substratos que al entrar en contacto reaccionan formando compuestos activos. Estos últimos a su vez experimentan procesos de polimerización que dan lugar a compuestos coloreados denominados melalinas, produciendo el oscurecimiento superficial del tejido y pérdida de calidad (Robles-Sánchez y col., 2009).

Una importante característica del mango es su alto contenido de vitamina C en su pulpa que puede contribuir a la retención del color, este compuesto puede inhibir indirectamente la acción de PFO porque reduce las o-quinonas producidas a partir de la oxidación de los difenoles por PFO, lo que lleva a una menor producción de productos pigmentados.

La pérdida de firmeza es debida principalmente a la acción de enzimas proteolíticas y pectolíticas sobre los componentes de la pared celular. Durante las operaciones de cortado, los tejidos vegetales presentan pérdida de firmeza debido a la hidrólisis enzimática de las sustancias pécticas que forman parte de la pared celular. Pectino-metil-esterasas (PME) y poligalacturonas (PG) son consideradas como las hidrolasas primarias involucradas en el proceso de ablandamiento.

Las PME producen la hidrólisis de la pectina, formando metanol y ácido péctico, el cual puede ser despolimerizado por la PG, desestabilizando las estructuras celulares. La actividad de estas enzimas se reduce cuando el producto se almacena con un menor contenido de oxígeno, lo que implica mayor retención de agua y mayor firmeza. (Robles-Sanchez y col., 2009).

Como alternativa para reducir el deterioro causado por el procesamiento mínimo de frutas frescas es el uso de recubrimientos comestibles. La barrera semipermeable que proporciona el recubrimiento comestible puede extender la vida útil mediante la reducción de la humedad y la migración de soluto, intercambio de gases, respiración y las tasas de oxidación de reacción, así como suprimir trastornos fisiológicos de frutas recién cortadas. Los recubrimientos comestibles también pueden actuar como portadores de aditivos alimentarios tales como agentes anti oscurecimiento, antimicrobianos, colorantes, saborizantes, nutrientes y especias. (Robles-Sánchez y col., 2013).

Una opción para conservar por más tiempo el mango y por ende incrementar su periodo de comercialización es el uso de recubrimientos comestibles, que actúen como barrera de vapor de gas y agua extendiendo la vida útil del mango (Qi y col., 2010; Oms-Oliu y col., 2010; Ribeiro y col., 2007).

1.3 Recubrimiento

Recubrimientos y películas comestibles son capas delgadas de materiales comestibles aplicados en los productos alimenticios que juegan un papel importante en su conservación, distribución y comercialización (Guillard y col., 2009). Un recubrimiento comestible es una capa delgada de material comestible formada como protección de un producto alimenticio, se aplica en forma líquida, generalmente por inmersión del producto en una solución generada, formado una matriz estructural de hidratos de carbono, proteínas, lípidos o mezcla multicomponente. Por otro lado una película comestible es una capa preformada,

delgada, hecha de un material comestible, que una vez formada puede ser colocado en o entre los componentes de los alimentos (Altenhofen y col., 2009).

Los recubrimientos se han desarrollado con el fin de extender la vida útil de los productos alimenticios, forman un efecto barrera como se muestra en la Figura 1. 2 incrementando la estabilidad oxidativa del producto, como resultado el retardo de los cambios químicos que afectan el color, aroma o valor nutricional de los alimentos; mejorando además la estabilidad microbiológica e integridad mecánica así como vehículo para el transporte de sustancias activas (Figueroa y col., 2011).

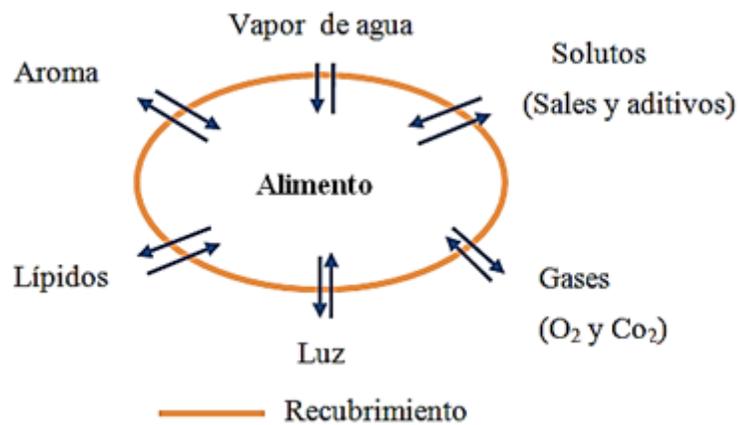


Figura 1. 2 Efecto de los recubrimientos comestibles aplicados a alimentos (Marzo, 2010).

1.3.1 Tipos de recubrimiento

Se suelen clasificar según su material estructural. De esta manera los recubrimientos se basan en hidrocoloides, lípidos, o compuestos, en donde las propiedades mecánicas y de barrera de estos no sólo dependen de los compuestos usados en la matriz de polímero, sino también de su compatibilidad (Altenhofen y col., 2009).

1.3.1.1 Hidrocoloides

Los hidrocoloides (proteínas y polisacáridos) son los biopolímeros más investigados en el campo de los recubrimientos ya que presentan buenas propiedades de barrera frente al oxígeno, dióxido de carbono y lípidos. La mayoría de los recubrimientos realizados con hidrocoloides poseen propiedades mecánicas deseables, útiles para mejorar la integridad estructural de productos frágiles. Dado a su carácter hidrofílico, son solubles en agua caliente, y se disuelven sin alterar las propiedades sensoriales del alimento sobre el cual están aplicados (Marzo, 2010).

Los recubrimientos con hidrocoloides se optimizan atendiendo las propiedades mecánicas y físicas de las frutas y hortalizas, en busca de aceptabilidad por los consumidores, y de la capacidad de soportar la tensión mecánica y manipulación durante el transporte (Falguera y col., 2011). Se ha hecho hincapié en que la funcionalidad (propiedades de barrera al vapor de agua, barrera a los gases, los antimicrobianos, anti oscurecimiento) de un recubrimiento puede ser diferente cuando se transfiere en la superficie de una fruta.

Pocos estudios han examinado los recubrimientos de mango fresco cortado, utilizando materiales a base de polisacáridos, que limitan el intercambio de gases, creando así atmósfera interna modificada en las rodajas de mango, disminuyendo la frecuencia respiratoria y retrasando la senescencia (Plotto y col., 2010).

Siendo un ejemplo de estos polisacáridos; la goma xantana (GX) que posee ventajas entre los hidrocoloides, debido a sus bajos costes, facilidad de fabricación, seguridad, biocompatibilidad, y biodegradabilidad. Sin embargo, las formulaciones de recubrimientos comestibles comerciales basados en carboximetilcelulosa (CMC) son llamados siempre frescos, ya que tienen un impacto positivo en la calidad de las frutas durante el almacenamiento refrigerado, se ha aplicado a peras por Zhou en 2008, cerezas por Yaman y Bayoindirli en 2002 y muchas otras frutas(Tzoumaki y col., 2009).

Goma Xantana (GX)

La GX es un heteropolisacárido extracelular de alto peso molecular con celulosa como la columna vertebral. Consta de 1,4-glucopiranososa ligado con cadenas laterales de trisacárido compuestos de D-mannosa/ D-acidoglucurónico / D-manosa ligada a residuos alternos de D-glucosa de la cadena principal. El D-manosa ligado a la cadena principal contiene un grupo acetilo en la posición O-6. El grado de acetilación en O-6 de manosa residuo y la sustitución del grupo del piruvato en el terminal de manosa residuo depende de la condición de fermentación (Li y col., 2012).

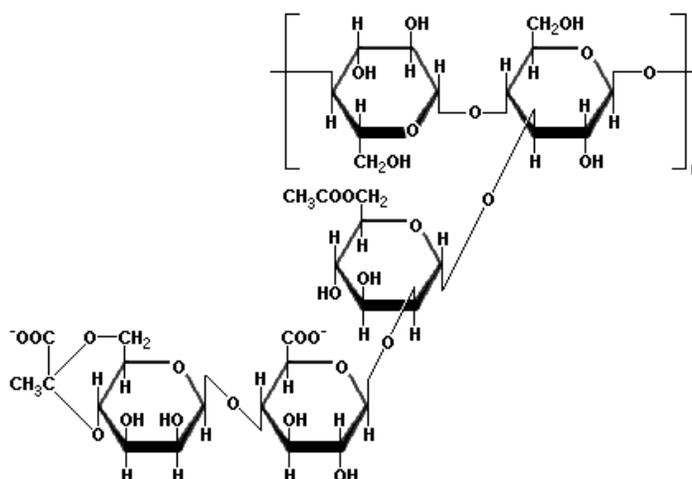


Figura 1. 3 Estructura química de la GX (Narchi y col., 2009)

El carácter aniónico de este polímero es debido a la presencia de tanto el ácido glucurónico y grupos de ácido pirúvico en la cadena lateral se puede utilizar para retardar la liberación de fármaco in vitro y proporcionar cinética de liberación de orden cero (Shalviri y col., 2010). En GX y otros polímeros las uniones de hidrógenos e interacciones electrostáticas pueden aumentar (Li y col., 2012).

Carboximetilcelulosa (CMC)

La CMC es un polisacárido lineal aniónico derivado de celulosa, ha recibido una atención considerable con varios ejemplos de aplicaciones en muchas frutas y verduras (Plotto y col., 2010). Está formada por su reacción con hidróxido de sodio y ácido cloroacético. La estructura de la CMC se muestra en la Figura 1. 4. Tiene un número de grupos carboximetilo de sodio (CH_2COONa), introducido en la molécula de celulosa, que promueven la solubilidad en agua (Biswal y col., 2004).

Las diversas propiedades de CMC dependen de tres factores: peso molecular del polímero, el número promedio de contenido de carboxilo por unidad de anhidroglucosa, y la distribución de los sustituyentes carboxilo a lo largo de las cadenas de polímero.

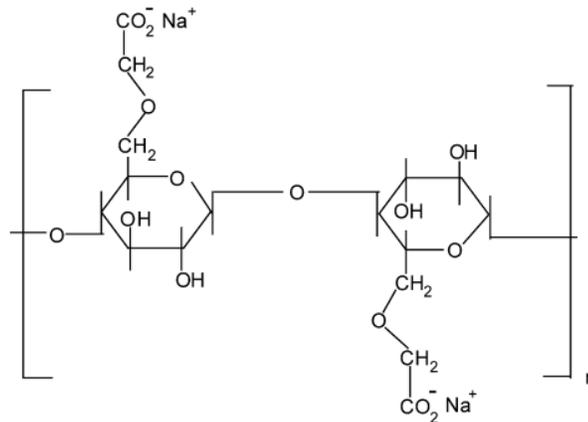


Figura 1. 4 Estructura química de CMC (Biswal y col., 2004)

1.3.1.2 Lípidos

Dentro de este grupo se incluyen las ceras, resinas, ácidos grasos y monoglicéridos y diglicéridos. Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua. La pérdida de humedad en frutas y vegetales frescos

disminuye la firmeza y el peso de los productos afectando su calidad y como consecuencia ocurren pérdidas económicas durante su comercialización (Ramos-García y col., 2010).

Muchos lípidos existen en forma cristalina y sus cristales individuales son altamente impermeables a los gases y al vapor de agua. Aun así, hay que considerar que el permeante puede pasar a través de los cristales y por tanto las propiedades de barrera dependen del empaquetamiento intercrystalino, por lo que estos recubrimientos presentan algunas limitaciones tales como, propiedades mecánicas pobres y en ocasiones mala apariencia; es por eso que los lípidos son mezclados con otras sustancias como polisacáridos, ya que estas combinaciones proporcionan al recubrimiento mayor estabilidad (Marzo, 2010).

1.3.1.3 Recubrimientos Compuestos

Los recubrimientos compuestos son con formulaciones mixtas entre hidrocoloides y lípidos, de tal modo, que se pueden combinar las ventajas de ambos, y disminuir sus inconvenientes. Por ejemplo, cuando lo que se persigue es una película que sea buena barrera al vapor de agua la porción lipídica puede cumplir esta función, mientras que la durabilidad la proporciona la parte de la formulación que es hidrocoloide.

1.3.2 Aplicaciones

Recientemente se han realizado estudios de recubrimientos y películas comestibles aplicadas a mango fresco cortado como se muestra en el Cuadro 1. 4, los cuales demuestran que proporciona una buena barrera contra el oxígeno, reduciendo la pérdida de peso extendiendo el período de maduración y restringiendo la pérdida de humedad de la fruta hacia el ambiente, aumentando su vida útil y reduciendo pérdidas.

Cuadro 1. 4 Estudios de recubrimientos y películas comestibles aplicados a mango fresco cortado.

Investigaciones en recubrimientos de mango fresco cortado.	Referencias
Mango “Tommy Atkins” fresco cortado pretratado con ácido cítrico y recubierto con almidón de yuca o alginato de sodio.	Chiumarelli y col., 2011
Recubrimiento de almidón de yuca y ácido cítrico para mantener los parámetros de calidad del mango "Tommy Atkins" recién cortado.	Chiumarelli y col., 2010
Efecto en postcosecha en la combinación de tratamiento térmico y revestimiento de quitosano sobre la calidad de los mangos frescos cortados (<i>Mangifera indica L.</i>)	Djioua y col., 2010
Fruta frescas cortadas de mango: Evaluación de recubrimientos comestibles.	Ducamp-Collin y col., 2009
Cambios fisiológicos y bioquímicos de diferentes cultivares de mango fresco cortado almacenado a 5 °C.	Gonzalez-Aguilar y col., 2008
Efectos del recubrimiento comestible de quitosano sobre la calidad de mangos recién cortados (fa-lun) durante el almacenamiento.	Plotto y col., 2010
Tratamientos superficiales y recubrimientos para mantener la calidad del mango fresco en el almacenamiento.	Purwadaria y col., 2010
Influencia de recubrimiento comestible a base de alginato como vehículo de agentes antioscurecimiento de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en mangos Kent recién cortados.	Robles-Sánchez y col., 2013
Película comestible para mango fresco cortado envasado en atmósfera modificada.	Sothornvit y col., 2010
Chitosan: Un recubrimiento comestible de las frutas y verduras recién cortadas.	Tamer y col., 2010
Efecto inhibitor de sericina en la polifenol oxidasa y su aplicación como recubrimiento comestible.	Thongsook y col., 2011

Actualmente la nanotecnología en alimentos se centran en el desarrollo de nuevos materiales de embalaje, agentes antimicrobianos y alimentos que además de su valor nutritivo proporcionan beneficios para la salud, abriendo nuevas posibilidades en la conservación de alimentos (Zambrano-Zaragoza y col, 2011; 2013). Estudios recientes en melón *cantaloupe* (Rocha, 2011) y manzana *red delicious* (Izquierdo, 2011; Real, 2013) demuestran que la aplicación de recubrimientos comestibles con nanopartículas son un método confiable para preservar el fruto fresco cortado, además de actuar como antioxidante el resultado es un alimento funcional benéfico para la salud.

1.4 Nanocápsulas

Las nanopartículas poliméricas son definidas como partículas coloidales con diámetro submicrónico, estas se dividen en nanocápsulas y nanoesferas. Las nanocápsulas pueden ser preparadas mediante métodos de polimerización y la síntesis de ambos con polímeros preformados. Una de sus características fundamentales es su tamaño, que se toma generalmente de 1-500 nm con un límite superior de tamaño de 1000 nm (Quintanar-Guerrero y col., 1998; 2012).

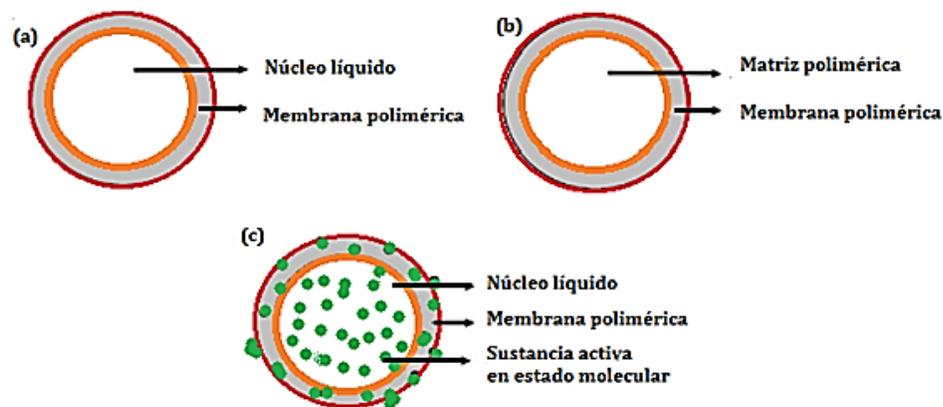


Figura 1. 5 Diferentes estructuras nanocapsulares: (a) núcleo líquido, (b) polímero de matriz y (c) sustancia activa en dispersión molecular (Mora-Huertas y col., 2010).

Las nanocápsulas pueden describirse como un activo que está confinado en una cavidad consistente en un líquido interior central rodeado por una membrana polimérica como se observa en la Figura 1.5. Sin embargo, visto desde un nivel general, muestran una típica estructura de núcleo-corteza en el que el activo se limita a un depósito rodeado por una membrana de polímero. La cavidad puede contener la sustancia activa en forma líquida o sólida o como una dispersión. Del mismo modo, este depósito puede ser lipófila o hidrófoba según al método de preparación y las materias primas utilizadas (Mora-Huertas y col., 2010; Bouwmeester y col., 2009).

En general, hay seis métodos clásicos para la preparación de nanocápsulas: nanoprecipitación, emulsión-difusión, doble emulsificación, emulsión coacervación, revestimiento de polímero y capa por capa. Sin embargo, los métodos de nanoprecipitación, difusión- emulsión y capa por capa actualmente dan los mejores resultados para la encapsulación de nanocápsula con más del 80% de eficiencia.

El método emulsión-difusión es excelente opción para preparar alimentos inocuos y seguros, en particular nanocápsulas biodegradables teniendo en cuenta las bajas cantidades residuales de estabilizador y disolventes utilizados, seguidos de una convencional purificación y secado por congelación (Quintanar-Guerrero y col., 1998). La FDA reconoce que la toxicidad de nanosistemas depende de los materiales involucrados, el proceso de preparación y las técnicas de purificación, por lo que el método emulsión-difusión bajo las secciones 201 (s) y 409 de la FFDCa reconoce a la nanocápsula como sustancia GRAS (ingredientes alimentarios seguros). Por lo que esta técnica puede ser atractiva para diseñar y producir nanocápsulas con aplicaciones potenciales en alimentos (FDA, 2009).

1.4.1 Método emulsificación-difusión

Según Quintanar-Guerrero y col., (1998, 2005), la preparación de nanocápsulas por el método de emulsificación-difusión permite la nanoencapsulación de la sustancia activa lipófila e hidrófila. El procedimiento experimental realizado para lograr este requiere tres fases: orgánica, acuosa y dilución. Cuando el objetivo es la nanoencapsulación de una

sustancia activa lipofílica, la fase orgánica contiene el polímero, la sustancia activa, el aceite y un disolvente orgánico parcialmente miscible con agua, que debería estar en agua saturada. Este medio orgánico actúa como disolvente para los diferentes componentes de la fase orgánica. Si se requiere, la fase orgánica también puede incluir una sustancia activa disolvente o aceite disolvente. La fase acuosa comprende la dispersión acuosa de un agente estabilizante que se prepara utilizando disolvente saturado con agua mientras que la fase de dilución es generalmente polimérica (Mora-Huertas y col., 2010; Quintanar-Guerrero 2012).

1.4.1.1 Características de las nanocápsulas

El comportamiento de las nanocápsulas es medido en relación con su tamaño, potencial zeta, pH, índice de polidispersión, espesor de capa y la eficiencia de encapsulación principalmente, pero también se puede llegar a medir la liberación del activo, estabilidad y actuaciones in vivo e in vitro (Zambrano-Zaragoza y col., 2013).

Tamaño de partícula

La naturaleza y el volumen de la fase orgánica y acuosa, la naturaleza y concentración de los tensoactivos y polímeros tienen implicaciones importantes en la distribución del tamaño de partícula. Asimismo, el control del diámetro medio de la nanocápsula se puede lograr por la intensidad y duración de la homogenización, en otras palabras, la velocidad de cizallamiento del proceso de emulsificación (Mora-Huertas y col., 2010). Con las condiciones más eficientes del método emulsión- difusión se obtiene un tamaño de partícula de 250 nm (Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

Índice de polidispersión.

El índice de polidispersión se utiliza para caracterizar la distribución de tamaño de partícula (Rolletta y col., 2012). Con las condiciones más eficientes del método emulsión-difusión el índice de polidispersión es 0.045 (Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

Potencial Zeta

El potencial zeta de la nanocápsula depende principalmente de la naturaleza química del polímero, la naturaleza química del agente estabilizador y el pH del medio. Por lo tanto, cuando las nanocápsulas se preparan a partir de polímeros de poliéster o derivados de metacrilato no se utilizan agentes estabilizadores iónicos, se obtienen valores negativos de potenciales zeta debido a la presencia de polímero de grupos terminales carboxílicos (Mora-Huertas y col., 2010). Con las condiciones más eficientes del método emulsión-difusión se obtiene un potencial zeta -20.02 (Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

pH de la dispersión

El valor de pH de la dispersión de nanocápsulas está dentro de un rango de 3-7-5, el pH de la dispersión determina el potencial zeta de las dispersiones coloidales que pueden afectar a su estabilidad. También parece ser un factor clave para controlar el tamaño de las nanopartículas y por lo tanto su biodistribución (Rolletta y col., 2012).

Espesor de la capa

La cubierta polimérica juega un papel predominante en la protección de las sustancias activas incorporadas y probablemente en el perfil de liberación, las nanocápsulas preparadas por método de emulsión-difusión se han reportado valores de espesor de capa entre 1,5 y 2 nm (Rübe y col., 2005;.. Poletto y col., 2008).

Eficiencia de encapsulación

La naturaleza química del fármaco activo y en particular su polaridad, determinan la eficiencia de encapsulación, en donde el método de emulsión-difusión da los mejores resultados con más del 80 % de eficiencia (Medeiros y col., 2012).

1.4.2 Productos mejorados con nanocápsulas

Muchos nuevos productos de consumo que contienen nanopartículas se han lanzado al mercado y comenzando con gran impacto en las industrias alimenticias asociadas (Bouwmeester y col., 2009).

Algunas de las aplicaciones más prometedoras son materiales de embalaje en alimentos, que poseen barreras de gas extremadamente altas y propiedades antimicrobianas, y nanosensores que pueden detectar microorganismos o contaminantes químicos con bajo niveles. Usos potenciales de la nanotecnología en los alimentos incluyen tintas de seguridad o nanomarcadores para proteger contra la falsificación o preservar la identidad del producto, y nanopartículas que pueden utilizarse en blanco ingeniería genética (Duncan, 2011).

La estructura de las nanocápsulas es muy atractiva para el desarrollo de alimentos, ya que el núcleo oleoso puede ser un aceite activo o pueden servir como un vehículo para contener diferentes sustancias, en particular aditivos alimentarios y dietéticos (Cushen y col., 2012). Por otro lado se pueden utilizar suplementos tales como sabores, edulcorantes, probióticos, nutracéuticos, pigmentos, agentes antimicrobianos, antioxidantes, o cualquier otro material que requieren encapsulación para el transportar el sistema hacia su objetivo y controlar su liberación. Si se modifica las características físicas del alimento original con nanocápsulas, mejora su calidad sensorial y aumenta su valor nutricional, para mejorar la salud (Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Problema

Mantener los parámetros de calidad del mango (*Magifera indica*) manila mediante formulaciones de recubrimientos comestibles con β -caroteno nanoencapsulado, para alargar la vida útil como mango fresco cortado.

2.2 Objetivo General

Evaluar el efecto de la composición de recubrimientos comestibles adicionados con β -caroteno nanoencapsulado en mango (*Magifera indica*) manila fresco cortado, almacenado en refrigeración mediante cambios en la velocidad de respiración, color y textura que contribuyan a incrementar su vida útil.

2.3 Objetivos Particulares

2.3.1 Determinar el efecto de la composición del recubrimiento con β -caroteno nanocapsulado sobre la velocidad de respiración en mango manila fresco cortado mediante el monitoreo de los cambios en las concentraciones de O_2 y CO_2 para establecer la vida útil del producto.

2.3.2 Evaluar los cambios de color en la superficie de mango manila fresco cortado con β -caroteno nanoencapsulado mediante determinación de los parámetros L^* , a^* y b^* para inferir sobre el oscurecimiento asociado a la actividad polifenoloxidasas.

2.3.3 Evaluar los cambios texturales en mango manila fresco cortado por efecto del recubrimiento con β -caroteno nanoencapsulado mediante pruebas de punción para asociarlo al deterioro y pérdida de calidad.

2.3.4 Evaluar la liberación de β -caroteno nanoencapsulado en el mango manila fresco cortado a través de extracción con solvente para establecer la difusión del agente activo durante el almacenamiento refrigerado.

En la Figura 2. 1 se presenta de manera general la metodología experimental seguida para la realización de este trabajo, donde se resalta el problema, objetivo general y su relación con los objetivos particulares.

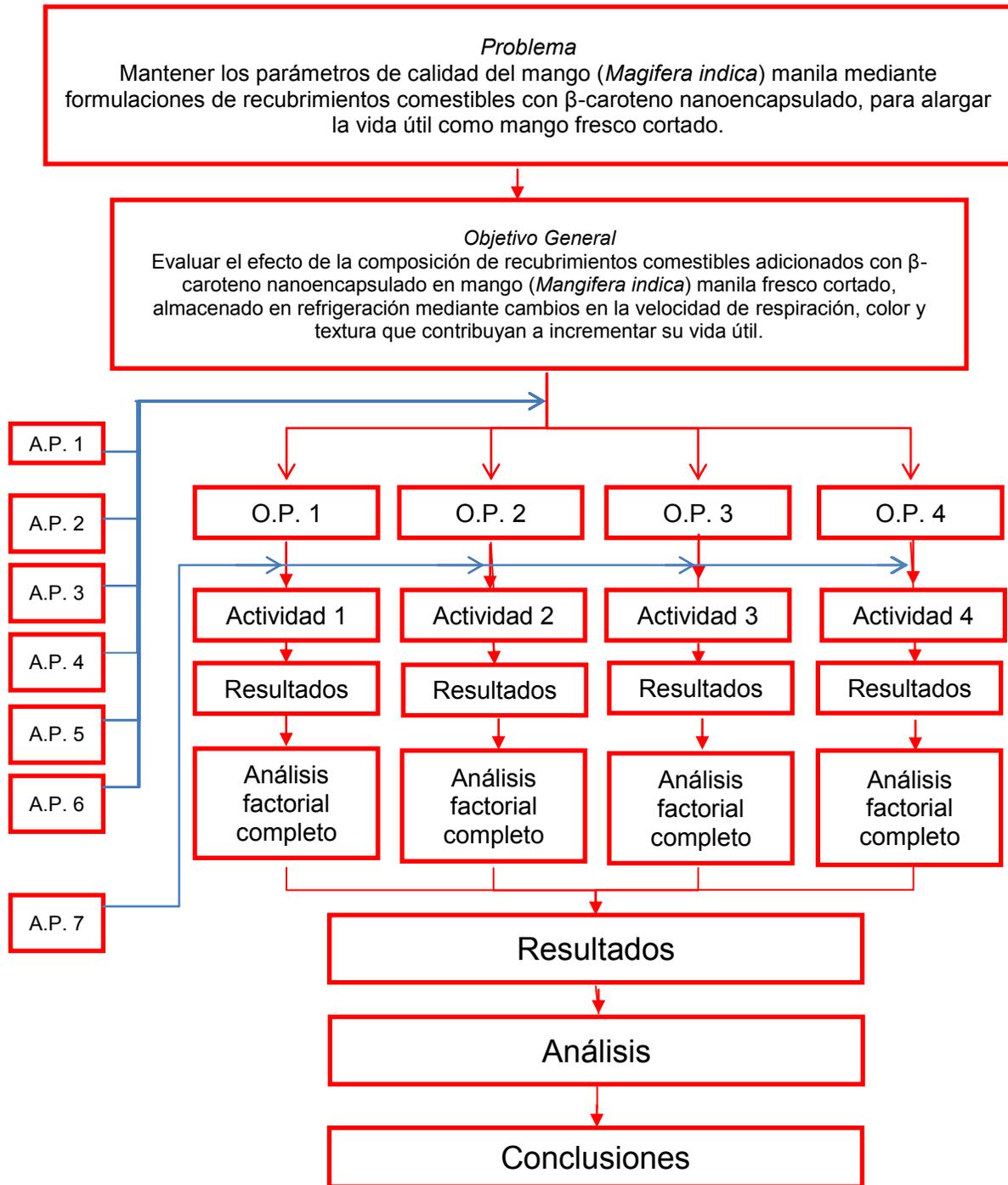


Figura 2. 1 Metodología experimental

2.4 Actividades preliminares

2.4.1 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

El acondicionamiento de la cámara de refrigeración es para garantizar las condiciones de almacenamiento, ésta caracterización está en función de la temperatura, humedad y velocidad del aire; para la temperatura se utilizó el termopar Data Logger, Lascar Electronics® (Modelo EL-USB-2-LCD, Pennsylvania, EUA) y para la velocidad del aire un anemómetro Davis Turbo meter®; una vez registradas las temperaturas se llevaron a cabo los ajustes necesarios para mantener una temperatura promedio de $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

2.4.2 Preparación de nanocápsulas

Las nanocápsulas de β -caroteno fueron preparadas por el método de emulsificación-difusión y proporcionadas en el laboratorio de investigación multidisciplinaria L16, éstas tuvieron un tamaño de partícula de 320 nm con índice de polidispersión de 0.16 y potencial zeta -34 mV, con lo que se estableció que éstas cumplían con las características para ser empleadas en el desarrollo de dispersiones formadoras de película (Zambrano-Zaragoza y col. 2011).

2.4.3 Selección de mango manila

Se utilizaron 3 cajas de mango manila de 25 Kg c/u adquiridos en la central de abastos de Cuautitlán. La selección de la materia prima se realizó en base al índice de calidad de “Adel Kader” del Departamento de ciencias vegetales, de acuerdo al tercer estado de madurez cuyo tamaño fue de los 15-20 cm, con forma ovalada y un peso de 300 a 350 gramos (Postharveset, 2013).

Se eliminaron los frutos que presentaban fisiopatías y daños físicos tales como: quemadura por látex, abrasiones de la piel, daño por frío, daño por calor, descomposición interna de la pulpa, ahuecamiento de la zona próxima a la cicatriz del pedúnculo, semilla gelatinosa, punta blanda o antracnosis.

2.4.4 Preparación de recubrimientos

La dispersión de la goma se realizó utilizando un agitador de velocidad variable a 500 rpm en donde se adicionó 3 g/L de goma xantana o carboximetilcelulosa dependiendo de la formulación realizada, seguido de 5 g/L de sorbitol. Para la dispersión central se adicionó 1.5 g/L de goma xantana y 1.5 g/L carboximetilcelulosa, después 2.5 g/L de sorbitol. Estas dispersiones se utilizaron como matriz continua de las nanocápsulas de β -caroteno formándose así el recubrimiento.

2.4.5 Aplicación de recubrimientos

Previo a la aplicación del recubrimiento los mangos “manila” fueron lavados y desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm, además el área de trabajo fue sanitizada con una solución al 1 % de cloruro de benzalconio.

En el Cuadro 2. 1 se muestran las diferentes formulaciones que fueron probadas de acuerdo a un diseño factorial y en la Figura 2.2 se muestra el diagrama de bloques correspondiente a la aplicación del recubrimiento en función a las condiciones mostradas en el Cuadro 2. 1. Los mangos cortados en cubos fueron recubiertos durante 1 min de acuerdo a los tratamientos mostrados en el Cuadro 2. 1. Para los recubrimientos con cloruro de calcio se vertieron primero durante 2 minutos en una solución de CaCl_2 al 1% después de la inmersión se dejó escurrir durante 1 min para adicionar el recubrimiento. Una vez recubiertos los mangos se escurrieron durante 2 minutos y finalmente fueron colocados en envases de poliestireno cristal con una masa promedio de 110g, fueron refrigerados a 4°C.

Cuadro 2. 1 Formulaciones de recubrimientos aplicados al mango manila.

Simbología	Nanocápsulas	Polisacárido	Sorbitol	CaCl ₂
A	NO	NO	NO	NO
B	NO	Xantana 3g/L	NO	1%
C	NO	CMC 3g/L	NO	1%
D	NO	Xantana 1.5g/L CMC 1.5g/L	NO	1%
N	1 g β-caroteno /L	NO	NO	NO
R₁	1 g β-caroteno /L	CMC 3g/L	1%	NO
R₂	1 g β-caroteno /L	CMC 3g/L	1%	1%
R₃	1 g β-caroteno /L	CMC 3g/L	2%	NO
R₄	1 g β-caroteno /L	CMC 3g/L	2%	1%
R₅	1 g β-caroteno /L	Xantana 1.5g/L CMC 1.5g/L	1.5%	0.5%
R₆	1 g β-caroteno /L	Xantana 3 g/L	1%	NO
R₇	1 g β-caroteno /L	Xantana 3 g/L	1%	1%
R₈	1 g β-caroteno /L	Xantana 3 g/L	2%	NO
R₉	1 g β-caroteno /L	Xantana 3 g/L	2%	1%

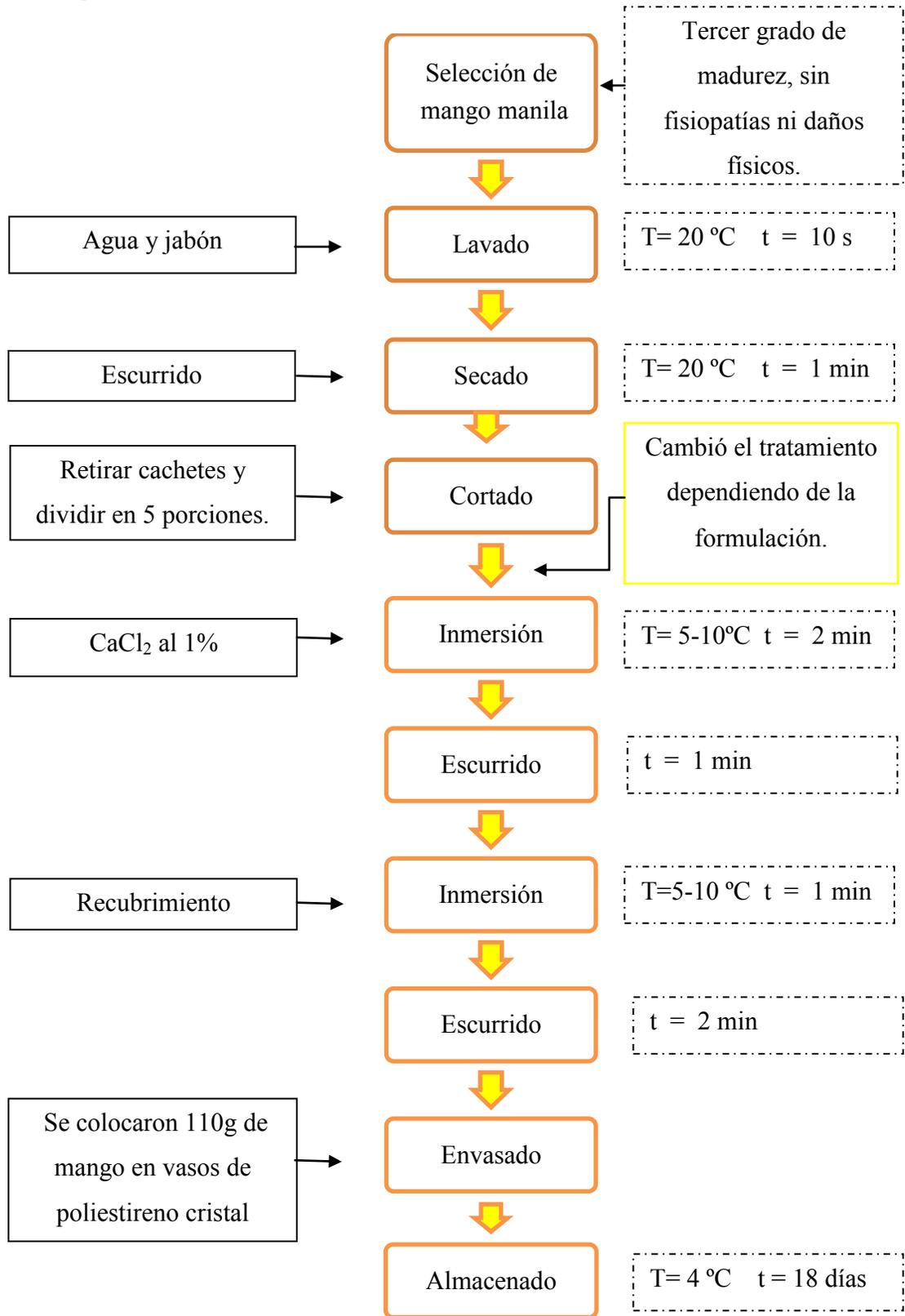


Figura 2. 2 Diagrama de bloques para preparar mango manila fresco cortado.

2.4.6 Evaluación de los factores fisicoquímicos en el mango manila.

Pérdida fisiológica de peso

Se llevó a cabo un control de pérdida de peso con respecto al peso de cada uno de los mangos manila con los diferentes tratamientos en su respectivo envase, a partir del tercer día hasta el final de la experimentación, para observar el porcentaje de pérdida de peso de cada uno de los sistemas como menciona Márquez y col. (2009). Se determinó gravimétricamente con una balanza analítica, utilizando la ecuación 1 y se expresó como porcentaje de pérdida de peso:

$$\%PFP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100$$

(Ecuación.1)

Dónde :

$\%PFP$ =Porcentaje de perdida fisiológica de peso

P_f = Peso final [g]

P_i = Peso inicial [g]

pH

Se llevó a cabo el control del pH del mango manila cada tercer día con respecto al día inicial de la experimentación, por medio de un potenciómetro, HANNA Instruments (Modelo pH213, Portugal) de acuerdo a la metodología propuesta por la NMX-F-317-S.

Sólidos solubles (°Brix)

Se realizó un registro de °Brix del mango manila cada tercer día a partir del día cero a través de un refractómetro de mano 0-50 °Brix, Scientific Instruments (Modelo AO 10431, U.S.A.), según la metodología de la NMX-F-112. Los resultados se expresan en °Brix.

Acidez titulable

Se determinó en porcentaje de ácido cítrico, mezclando 25 g de pulpa de mango manila con 25 m L de agua destilada y 5 gotas de fenolftaleína, se tituló con solución 0.5 N de hidróxido de sodio como menciona Siller-Cepeda y col., 2006.

2.5 Actividades

2.5.1 Evaluación de los factores de calidad en el mango manila.

Concentración de oxígeno

El oxígeno consumido se registró con un analizador de oxígeno, Quantek Instruments oxygen and carbondioxide analyzers (Modelo 905, USA) cada tercer día con el fin de llevar un seguimiento del consumo de oxígeno del mango manila por envase. Éste se reportó en porcentaje de acuerdo a la metodología propuesta por Rocha (2011).

Consumo de oxígeno

La determinación de la velocidad de respiración del sistema estático se realizó con un analizador de oxígeno, Quantek Instruments oxygen and carbondioxide analyzers (Modelo 905, USA). En donde a un contenedor de sello hermético de volumen conocido se le adicionó mango manila y se cerró, quedando con una composición gaseosa interna igual a la atmosférica como menciona Fonseca y col., (2002). Se midió el cambio de concentración de O₂ durante 5 horas y éstos se usaron para estimar la velocidad de respiración usando la ecuación 2:

$$Ro_2 = \frac{(O_{2i} - O_{2f}) * V_l}{100 * M * (t_f - t_i)}$$

(Ecuación. 2)

Dónde:

Ro_2 = Velocidad de respiración del mango manila [mL/ g*s]

O_{2i} = Concentración inicial de oxígeno [%]

O_{2f} = Concentración final de oxígeno [%]

V_l = Volumen libre en el contenedor [mL]

M = Masa del producto [g]

t_f = Tiempo final [s]

t_i = Tiempo inicial [s]

Colorimetría

Las coordenadas L^* , a^* , b^* se obtuvieron mediante el colorímetro, MINOLTA (Modelo CM-5, Japón) por el sistema Hunter Lab por la CIE que está basado en la sensibilidad del color a través del ojo humano llevándose a cabo la metodología de Qinchun y col., (2012). Donde L^* es la luminosidad, a^* es la coordenada cromática en el eje de las abscisas rojo (a^+), verde(a^-) y b^* se atribuye a la saturación, coordenada cromática en el eje de las ordenas amarillo (b^+), azul (b^-). Se realizó cada tercer día durante 18 días.

Los valores a^* y b^* se utilizaron para obtener la tonalidad del ángulo ($^\circ$ Hue), se calculó mediante la ecuación 3 de acuerdo a Luna y col. (2006):

$$^\circ\text{Hue} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

(Ecuación. 3)

El croma que indica la intensidad o saturación de color, se calculó mediante la ecuación 4 de acuerdo a Luna y col. (2006):

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

(Ecuación. 4)

El delta E indica la igualdad entre dos muestras, el cual se calculó de acuerdo la ecuación según Villalobos-Carvajal y col. (2009):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

(Ecuación. 5)

En donde:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{referencia}} - L^*_{\text{muestra}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{referencia}} - a^*_{\text{muestra}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{referencia}} - b^*_{\text{muestra}}$$

Evaluación de textura

Las propiedades mecánicas del mango se analizaron mediante una prueba de compresión simple mediante un analizador de textura, Brookfield (Modelo CT3 25K, USA). Para penetrar 5 mm de tejido se utilizó un punzón de 6 mm, con una carga de activación de 25 g a una velocidad de 1.5 mm/s, Se realizaron 9 réplicas por cada ensayo de textura.

Liberación de β -caroteno

Para la cuantificación del β -caroteno nanoencapsulado se realizó primero una curva patrón de β -caroteno cuyas concentraciones iban de 0-200mg/L, con un intervalo de 20 mg/L, estas concentraciones fueron leídas a 460 nm. El resultado de estas lecturas fue graficado y se obtuvo la ecuación de la recta y regresión lineal. En la liberación del β -caroteno nanoencapsulado, se agregó un cubo 2.8 cm³ (0.5 g) de mango manila en 9 mL de ciclohexano en agitación (Agitadores, Thermolyne Cimarez, USA), por 1 hora. Se filtró el disolvente orgánico para realizar la cuantificación de β -caroteno liberado, el filtrado se leyó por espectrofotometría en un espectrofotómetro, Thermo Scientific (Modelo GENESYS 10s UV-VIS, USA). Realizando la prueba por triplicado. La absorbancia obtenida se sustituyó en la ecuación de la curva patrón para obtener los valores de concentración y con ello la liberación de β -caroteno.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

La distribución de temperaturas en el sistema de enfriamiento fueron en promedio de 4 ± 1 °C, con humedad relativa del 65 % y velocidad del aire de 0.27 m/s, garantizando con esto una distribución de aire y temperatura homogénea dentro del equipo utilizado para llevar a cabo el almacenamiento del producto.

3.2 Cambios fisicoquímicos asociados a la calidad en el mango manila.

3.2.1 Pérdida fisiológica de peso

En el Cuadro 3. 1 se muestran los resultados obtenidos para la pérdida de peso durante el almacenamiento de mango manila fresco cortado. Se señalan las diferentes formulaciones aplicadas al mango manila con las letras A, B, C, D y N para los controles; siendo A los mangos sin ningún tratamiento, B recubiertos con goma xantana y CaCl_2 , C los formulados con carboximetilcelulosa (CMC) y CaCl_2 , D cuyos recubrimientos son una mezcla de goma xantana y CMC más CaCl_2 y N los cuales contienen únicamente nanocápsulas de β -caroteno. Por otro lado se encuentran los tratamientos aplicados con nanocápsulas, señalados desde R_1 hasta R_9 en donde R_1 contiene nanocápsulas + CMC + 1% sorbitol, R_2 posee nanocápsulas + CMC + 1% sorbitol + CaCl_2 , R_3 tiene nanocápsulas + CMC + 2% sorbitol, R_4 comprende de nanocápsulas + CMC + 2% sorbitol + CaCl_2 , a R_5 se le adicionó nanocápsulas + CMC, + goma xantana+ 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl_2 , R_6 incluye nanocápsulas + goma xantana + 1% sorbitol, R_7 contiene nanocápsulas + GX + 1% sorbitol + CaCl_2 , R_8 comprende nanocápsulas + goma xantana + 2% sorbitol y finalmente R_9 que contiene nanocápsulas + goma xantana + 2% sorbitol + CaCl_2 . Las formulaciones marcadas

en color naranja son aquellas que mostraron menor pérdida de peso durante el almacenamiento.

La letra A representa a los mangos frescos cortados sin ningún tratamiento previo al envasado, los cuales mostraron la mayor pérdida de peso durante el almacenamiento con una pérdida fisiológica de peso de 8.59 % expresado este en función al líquido drenado en el envase y la pérdida de jugosidad del producto.

Cuadro 3. 1 Efecto del recubrimiento en la pérdida fisiológica de peso sobre la calidad del mango manila.

Formulación /Días	Porcentaje		
	Tres	Nueve	Dieciocho
A	2.55 ± 0.35	3.43 ± 0.29	8.59 ± 5.38
B (GX y CaCl ₂)	0.27 ± 0.17	1.46 ± 0.09	4.37 ± 1.46
C (CMC y CaCl ₂)	0.83 ± 0.01	1.88 ± 0.09	4.75 ± 6.11
D (GX, CMC y CaCl ₂)	1.14 ± 1.91	2.52 ± 3.17	5.16 ± 2.52
N (NC)	1.08 ± 0.25	2.57 ± 1.66	5.42 ± 2.47
R ₁ (NC, CMC y 1% S)	1.55 ± 0.20	2.56 ± 0.6	3.85 ± 0.86
R ₂ (NC, CMC, 1% S y CaCl ₂)	1.20 ± 0.01	2.30 ± 0.09	3.35 ± 3.15
R ₃ (NC, CMC y 2% S)	1.41 ± 0.37	2.39 ± 2.69	4.10 ± 0.34
R ₄ (NC, CMC, 2% S, CaCl ₂)	1.14 ± 0.04	1.02 ± 0.08	4.25 ± 3.24
R ₅ (NC, CMC, GX 1.5% S y 0.5%CaCl ₂)	1.38 ± 0.01	1.86 ± 1.30	2.04 ± 1.25
R ₆ (NC, GX y 1% S)	1.18 ± 0.11	1.57 ± 1.03	3.02 ± 0.95
R ₇ (NC, GX, 1% S y CaCl ₂)	0.74 ± 0.02	1.77 ± 0.12	3.30 ± 0.48
R ₈ (NC, GX y 2% S)	1.59 ± 0.27	2.60 ± 0.80	3.96 ± 1.17
R ₉ (NC,GX, 2% S, CaCl ₂)	0.95 ± 0.27	1.47 ± 0.17	3.92 ± 0.82

(NC = Nanocápsulas; GX = Goma xantana; CMC = Carboximetilcelulosa; S = Sorbitol; CaCl₂ = Cloruro de calcio)

Los mangos recubiertos con nanocápsulas tuvieron una menor pérdida de peso en relación aquellos a los que no se les adicionaron nanocápsulas, mostrándose claramente que el solo uso de polisacáridos en las formulación tienen mayor influencia en la pérdida de peso del mango fresco cortado, sin embargo, la adición de poli- ϵ -caprolactona (PCL) utilizada para el encapsulamiento del β -caroteno, mejora de forma significativa la eficacia de los recubrimientos, debido a la regulación del balance hidrófilo - hidrófobo, que a su vez , restringen la pérdida de agua, aunado al efecto antioxidante y modificador de la tensión superficial influenciada en gran medida por el β -caroteno presente en las formulaciones.

El Cuadro 3. 1 muestra que en los primeros tres días de almacenamiento los mangos pretratados con CaCl_2 + goma xantana (B) y las muestras con CaCl_2 + CMC (C) tuvieron la menor pérdida de peso de las formulaciones realizadas sin nanocápsulas, atribuido a la capacidad de los polisacáridos para atrapar el agua drenada desde el fruto (Falguera y col., 2011; Shalviri y col., 2010; Arik Kibar y col., 2013), cuya capacidad fue posible resaltar en el caso del empleo de goma xantana como recubrimiento ya que al final del almacenamiento éstas muestras solo perdieron el 4.37 % de su peso inicial.

Es importante resaltar que las muestras con nanocápsulas (N) tuvieron una pérdida de peso de 1.08 % al tercer día de almacenamiento, sin embargo, a transcurrir los días este alcanzó una pérdida de 5.42 % el cual para fines de comercialización de un producto fresco cortado es elevada comparándolo con mango ataulfo recubierto con polisacáridos como celulosa, almidón y quitosano que pueden almacenarse hasta once días sin presentar signos visuales de deterioro, con una pérdida de peso de 4.4 %, en el día veintiuno ya existen signos de deterioro en donde los mangos ya presentan un 6.3 % de pérdida de peso (Moalemiyan y col., 2012).

En la Figura 3. 1 Se indica el grado de efectividad en la disminución de la pérdida de peso fue dependiente de la formulación del recubrimiento empleado, en donde el líquido drenado del mango manila depende principalmente del tipo de polímero (Xantana ó CMC) y el porcentaje de sorbitol empleado, siendo el CaCl_2 el ingrediente con menos influencia individual para la pérdida de peso en mango manila fresco cortado.

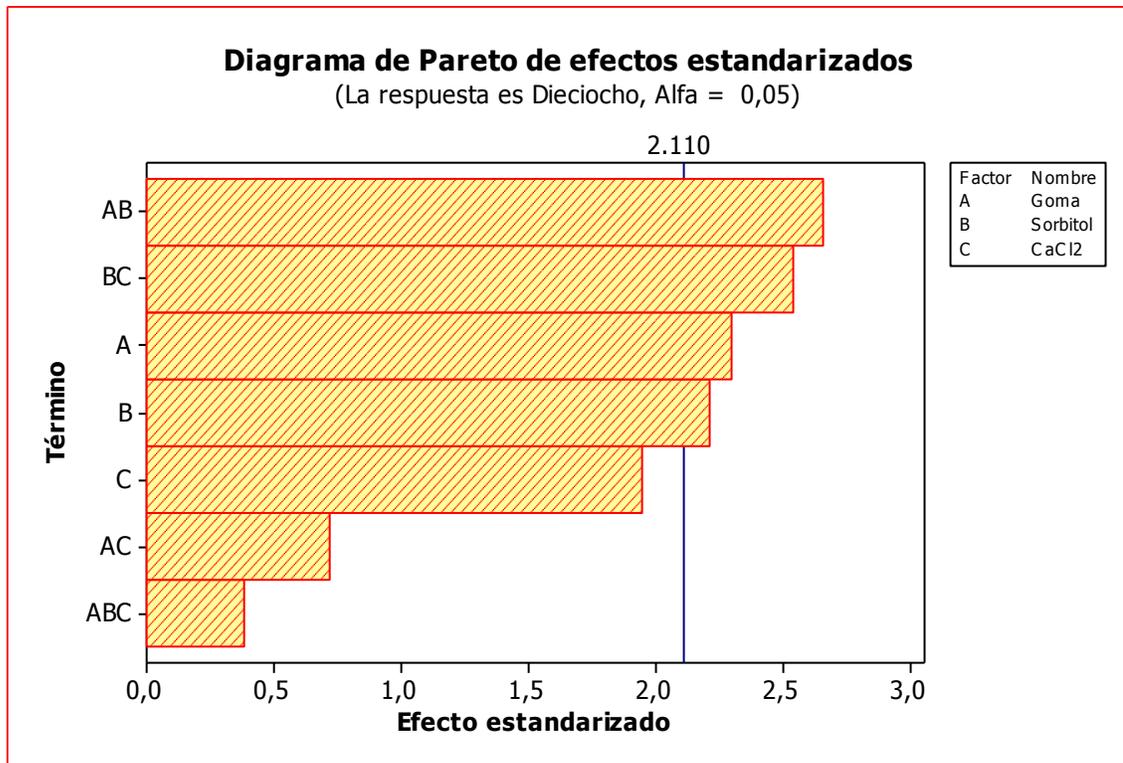


Figura 3. 1 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en la pérdida fisiológica de peso.

De los tratamientos del diseño experimental las menores pérdidas de peso las tuvieron los tratamientos NC + CMC + GX + 1.5% Sorbitol + 0.5 % CaCl₂ (R₅), NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁), NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂) y NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆) los cuales no mostraron diferencia estadísticamente significativa respecto a los primeros días de almacenamiento con una pérdida máxima de 3.85 % de líquido drenado al final del almacenamiento, resaltándose que en estos casos las formulaciones tuvieron polisacáridos de soporte CMC y GX del mismo modo un menor porcentaje de sorbitol, confiriéndole la mayor retención de agua a la GX, relacionándolo con el comportamiento de las muestras con GX + CaCl₂ (B).

Del mismo modo el Cuadro 3. 1 y la Figura 3. 1 muestran que la variación en la concentración del plastificante tuvo un efecto significativo en relación a la pérdida de peso, en donde la pérdida de jugosidad de los trozos de mango aumentó al incrementar la concentración de sorbitol en las formulaciones NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃), NC +

CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄), NC + GX + 2% Sorbitol(R₈) y NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉). De acuerdo con Chiumarelliy y col, (2011) la pérdida de peso en frutos frescos cortados es debido a los procesos de respiración y transpiración asociados a la ruptura del tejido. Las diferentes pérdidas de agua entre los trozos de mango con y sin recubrimiento se relacionan principalmente con la barrera de vapor de agua proporcionada por cada recubrimiento (Chiumarelliy y col, 2010).

3.2.2 pH

En el Cuadro 3. 2 se presentan los cambios en pH asociados al efecto de la aplicación de recubrimiento para la conservación de mango manila fresco cortado, en esta tabla las formulaciones en naranja son las que mantuvieron un pH que caía en el intervalo adecuado para la conservación del mango manila ya que estas se mantuvieron sin diferencia estadísticamente significativa (P = 0.05) durante los primeros nueve días de almacenamiento refrigerado respecto al pH al inicio del almacenamiento pH (3.01 a 3.47), incrementándose paulatinamente al final del almacenamiento hasta alcanzar un máximo de 4.07 y un mínimo de 2.68.

El control A (mango manila sin tratamiento) muestra el aumento del pH durante el transcurso del almacenamiento, esto se puede atribuir a un aumento en la tasa de procesos químicos y biológicos en el almacenamiento, que conduce a la maduración, sin embargo, las formulaciones a base de polímeros disminuyen el proceso de maduración como resultado una mejor conservación de color, aroma, firmeza, manteniendo el contenido de ácido cítrico y bajo pH durante más tiempo (Moalemiyan y col., 2012; Chiumarelliy y col, 2011).

Es importante resaltar que debido a su apariencia visual las muestras control A presentaron actividad microbiana, considerando este aspecto responsable de la pérdida de la calidad, ya que a medida que transcurre el tiempo se incrementa la contaminación siendo esta debido a hongos y levaduras lo que a su vez afecta el pH (Fleet y col., 1999).

Cuadro 3. 2 Efecto de los recubrimientos sobre la calidad del mango manila en el pH.

Formulación /Días	Cero	Nueve	Dieciocho
A	3.33 ± 0.11	3.43 ± 0.10	4.07 ± 0.09
B (GX y CaCl ₂)	3.03 ± 0.05	3.10 ± 0.09	3.97 ± 0.01
C (CMC y CaCl ₂)	3.01 ± 0.01	3.07 ± 0.16	3.74 ± 0.21
D (GX, CMC y CaCl ₂)	3.24 ± 0.02	3.45 ± 0.13	3.95 ± 0.02
N (NC)	3.41 ± 0.05	3.68 ± 0.18	3.91 ± 0.01
R₁ (NC, CMC y 1% S)	3.17 ± 0.03	3.31 ± 0.12	2.68 ± 0.08
R₂ (NC, CMC, 1% S y CaCl ₂)	3.47 ± 0.01	3.86 ± 0.13	3.65 ± 0.04
R₃ (NC, CMC y 2% S)	3.02 ± 0.02	3.47 ± 0.17	2.68 ± 0.13
R₄ (NC, CMC, 2% S, CaCl ₂)	3.21 ± 0.10	3.46 ± 0.09	3.50 ± 0.04
R₅ (NC, CMC, GX 1.5% S y 0.5% CaCl ₂)	3.16 ± 0.29	3.45 ± 0.12	2.91 ± 0.30
R₆ (NC, GX y 1% S)	3.10 ± 0.26	3.22 ± 0.18	2.86 ± 0.13
R₇ (NC, GX, 1% S y CaCl ₂)	3.47 ± 0.09	3.67 ± 0.11	3.84 ± 0.01
R₈ (NC, GX y 2% S)	3.20 ± 0.06	3.21 ± 0.11	2.78 ± 0.03
R₉ (NC, GX, 2% S, CaCl ₂)	3.10 ± 0.01	3.37 ± 0.03	3.56 ± 0.07

Del mismo modo las formulaciones en las que no se emplearon nanocápsulas tuvieron actividad microbiana visual reflejándose en un mayor cambio en pH durante el periodo de almacenamiento el que se hizo evidente después de los nueve días, siendo el aumento más pronunciado además del antes mencionado en las formulaciones CaCl₂ + GX (B), CaCl₂ + CMC (C) y CaCl₂ + CMC+ GX (D). Por otro lado la formulación nanocápsulas (N) mantuvo constante el nivel de pH tomando en cuenta que tuvo un inicio de 3.47 ± 0.05 y al final del almacenamiento fue de 3.91 ± 0.01 lo cual indica que la adición de nanocápsulas mantiene el pH del mango manila.

En la Figura 3. 2 se observa que el CaCl₂ y el tipo de polisacárido presentan diferencias significativas ($P > 0.05$) en cuanto al pH, esto debido a que la naturaleza de la CMC ya que presenta grupos carboxilo susceptibles a una reducción de sus carboxilos por el CaCl₂, aumentando el potencial hidrogeno de los mangos recubiertos (McMurry, 2001).

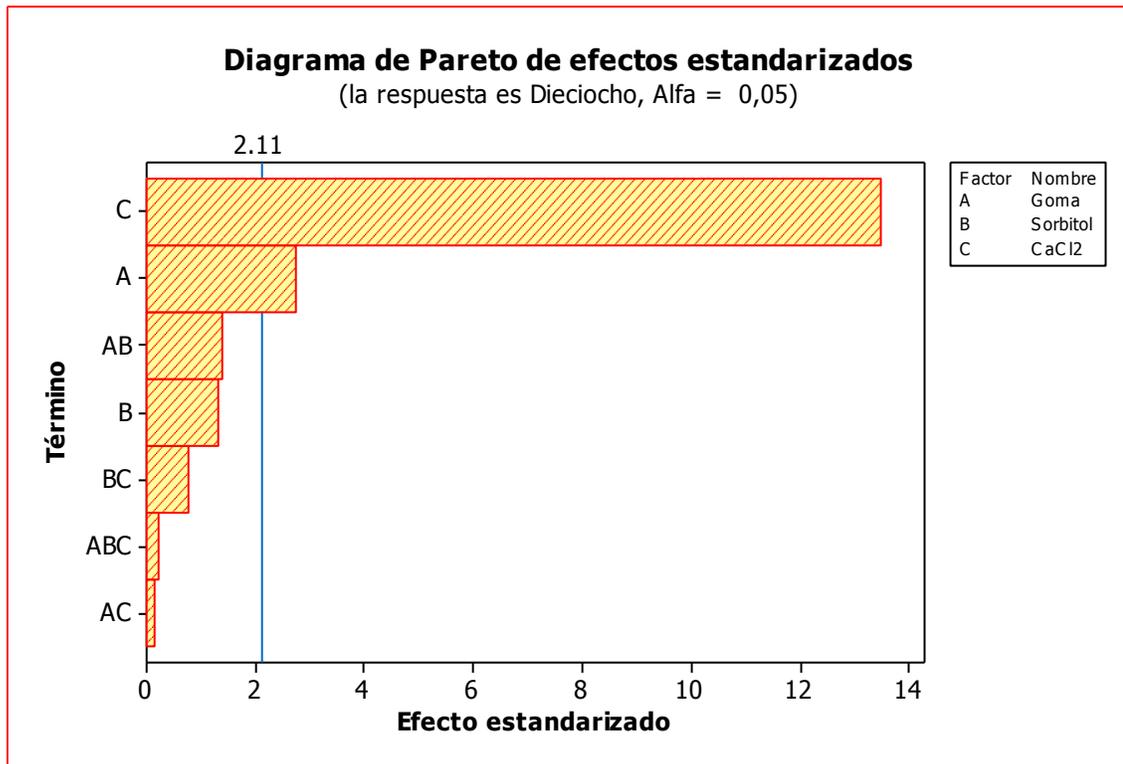


Figura 3. 2 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en pH.

De acuerdo con la Figura 3.2 se puede establecer que el valor de pH depende en gran medida de la composición del recubrimiento, teniendo una fuerte influencia en la funcionalidad la presencia de CaCl₂ ya que de acuerdo a Zambrano-Zaragoza y col., (2013) este actúa como un buffer regulador del pH lo que contribuye a limitar los cambios de pH y a su vez tiene un efecto en la reducción de la actividad microbiana, comportamiento que mostraron las formulaciones NC + CMC +1% Sorbitol (R₁) y NC, GX y 1% Sorbitol (R₆).

3.2.3 Grados Brix

El Cuadro 3. 3 representa las variaciones en sólidos solubles (°Brix) en mango manila fresco cortado. En color naranja se resaltan en el Cuadro 3. 3 los lotes que mostraron menores cambios asociados a la evolución de °Brix.

Cuadro 3. 3 Efecto de los recubrimientos sobre los °Brix en mango manila fresco cortado.

Formulación/ Días	Cero	Nueve	Dieciocho
A	13.3 ± 1.15	15 ± 0.50	17.1 ± 0.66
B (GX y CaCl ₂)	12.5 ± 0.50	12.7 ± 1.15	14.2 ± 0.29
C (CMC y CaCl ₂)	12.0 ± 0.00	13.0 ± 1.00	13.9 ± 0.06
D (GX, CMC y CaCl ₂)	14.7 ± 0.58	14.7 ± 0.29	15.5 ± 0.25
N (NC)	14.3 ± 0.58	14.8 ± 0.76	15.0 ± 0.00
R₁ (NC, CMC y 1% S)	15.5 ± 0.50	15.1 ± 0.26	16.0 ± 0.50
R₂ (NC, CMC, 1% S y CaCl ₂)	15.6 ± 0.29	15.0 ± 1.15	15.8 ± 0.26
R₃ (NC, CMC y 2% S)	11.2 ± 0.60	11.7 ± 0.06	14.8 ± 0.29
R₄ (NC, CMC, 2% S, CaCl ₂)	12.0 ± 0.00	12.0 ± 0.00	16.5 ± 0.45
R₅ (NC, CMC, GX 1.5% S y 0.5% CaCl ₂)	15.1 ± 0.17	15.0 ± 0.50	15.5 ± 0.55
R₆ (NC, GX y 1% S)	15.3 ± 1.12	15.8 ± 0.67	16.2 ± 1.04
R₇ (NC, GX, 1% S y CaCl ₂)	14.3 ± 0.58	15.6 ± 1.53	16.3 ± 0.29
R₈ (NC, GX y 2% S)	12.3 ± 1.04	11.3 ± 1.12	18.2 ± 1.04
R₉ (NC, GX, 2% S, CaCl ₂)	13.0 ± 0.00	12.7 ± 0.58	17.5 ± 0.50

En el Cuadro 3. 3 observa que las muestras control A sin ningún tratamiento fueron las que tuvieron un mayor incremento del contenido de sólidos solubles expresados en función de los °Brix con un aumento de 4 unidades, mientras las formulaciones sin nanocápsulas GX + CaCl₂ (B), CMC + CaCl₂ (C) muestran un incremento de 2 unidades, por otro lado las formulaciones con nanocápsulas; NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁), NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂), NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl₂ (R₅), NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆), NC + GX + 1% Sorbitol y CaCl₂ (R₇), NC (N) y sin nanocápsulas GX + CMC + CaCl₂ (D) no mostraron diferencia estadísticamente significativa en el comportamiento de los sólidos solubles las formulaciones NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃), NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄), NC + GX + 2% Sorbitol(R₈) y NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉) tienen un incremento de 3 a 4 unidades a través del tiempo de almacenamiento.

Durante el tiempo de almacenamiento el control A (mango manila sin tratamiento) muestra un incremento constante de 2 °Brix a los nueve días, siendo la muestra con mayor cambio con respecto al tiempo de refrigeración, esto es debido a la acumulación de azúcares libres procedentes de la hidrólisis del almidón presente en el mango por acción de las amilasas (Gonzalez-Aguilar y col., 2008; Siller-Cepeda y col., 2006; Gil y col., 2006; Muy y col., 2004), es importante resaltar que la pérdida de agua produce un incremento de la concentración de sólidos solubles en los tejidos del mango principalmente sacarosa (Baloch, y col., 2013).

Es importante resaltar que las formulaciones con nanocápsulas mantuvieron mejor el contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento, sin embargo, las que contenían NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃), NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄), NC + GX + 2% Sorbitol(R₈) y NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉), mostraron un mayor incremento de °Brix a partir del día 9 en donde probablemente la barrera de vapor disminuye la protección aumentando la pérdida de peso con ello los procesos de respiración y transpiración asociados a la ruptura del tejido aumentando los °Brix.

Con la Figura 3. 3 se puede integrar la información proporcionada en el Cuadro 3. 3 y analizar con ello que las propiedades de los recubrimientos dependen mayormente del tipo de polímero utilizado ya sea CMC o goma xantana, seguida por la combinación con CaCl₂ y en tercer lugar la interacción de todos los ingredientes los cuales presentan diferencia significativa (P > 0.05) en el día dieciocho al actuar de forma protectora regulando las actividades metabólicas del mango manila con ello manteniendo los °Brix del mango.

La Figura 3. 3 indica que el tipo de polímero presenta diferencias significativas con respecto a los °Brix del mango manila, sin embargo, la interacción del tipo de polisacárido y el porcentaje de sorbitol empleado al igual que la interacción de todos los componentes van a influir en este parámetro de calidad, esto puede generarse por un efecto de plastificación de las moléculas de goma xantana y de CMC debido a la gran carga negativa en la formación de cadenas flexibles a agregados por la transición de interferencia de cada

tipo de polisacárido, inducida por el bloqueo de azar de la dinámica de la moléculas rígidas mejorando las propiedades de los recubrimientos (Maurer, y col., 2012).

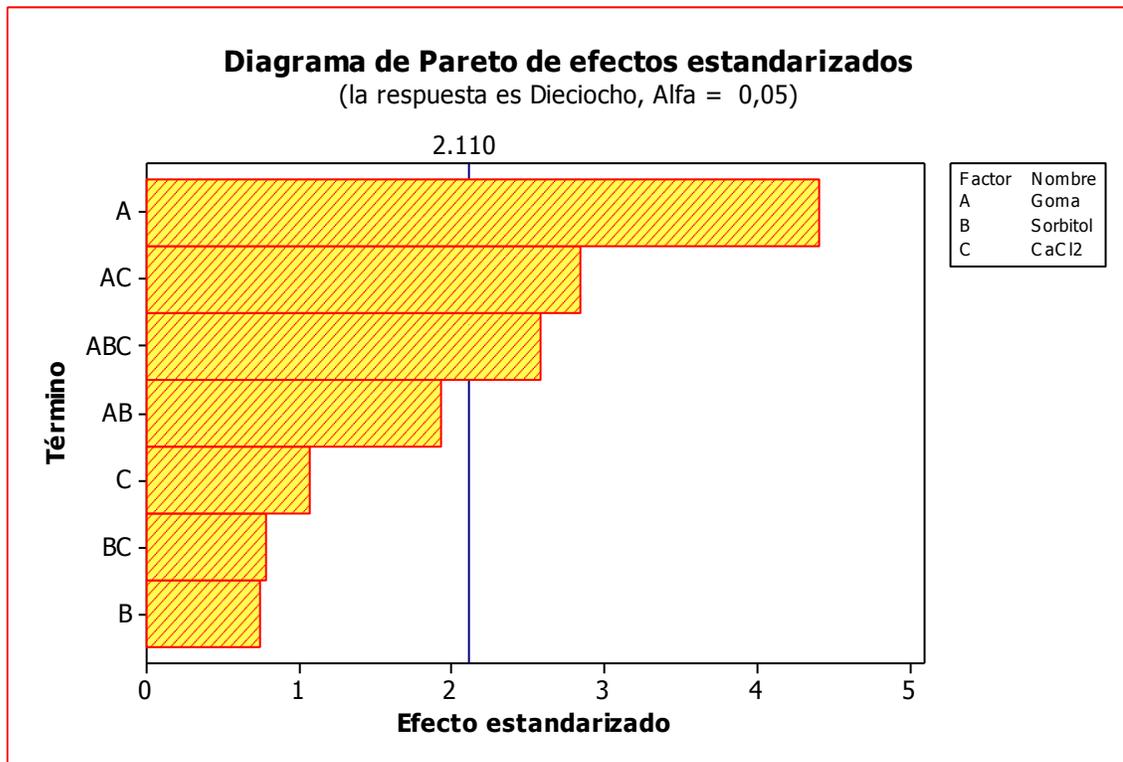


Figura 3. 3 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en °Brix.

La mejor formulación con nanocápsulas fue con NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl₂ (R₅) que presentó un aumento de 0.5 unidades en °Brix debido a que el recubrimiento forma una barrera protectora entre el mango y el recubrimiento, reduciendo la concentración de O₂ disminuyendo la tasa de respiración, inhibiendo la hidrólisis del almidón como consecuencia una baja acumulación de °Brix provocando así una mínima producción de etileno mejorando los atributos de calidad (Robles-Sánchez y col., 2009; Djioua y col., 2010).

3.2.4 Acidez titulable

En el Cuadro 3. 4 se muestran las variaciones de acidez expresadas en % de ácido cítrico/g de mango manila, en donde al principio de la experimentación el mango presentó valores de 0.103 – 0.22 % de ácido cítrico/g de fruta, con el transcurso del tiempo la acidez disminuyó hasta valores de 0.104 -0.028 % de ácido cítrico/g de fruta en el día dieciocho de almacenamiento, las formulaciones que presentaron un menor cambio de acidez durante el tiempo de almacenamiento se encuentran resaltadas en color naranja en el Cuadro 3. 4.

Cuadro 3. 4 Efecto de los recubrimientos sobre la calidad del mango manila en el porcentaje de acidez.

Formulación/ Días	% de ácido cítrico/g de mango manila		
	Cero	Nueve	Dieciocho
A	0.164 ± 0.03	0.082 ± 0.01	0.028 ± 0.00
B (GX y CaCl ₂)	0.220 ± 0.01	0.167 ± 0.03	0.045 ± 0.00
C (CMC y CaCl ₂)	0.220 ± 0.01	0.159 ± 0.03	0.039 ± 0.18
D (GX, CMC y CaCl ₂)	0.128 ± 0.01	0.067 ± 0.02	0.063 ± 0.01
N (NC)	0.103 ± 0.00	0.073 ± 0.01	0.068 ± 0.00
R₁ (NC, CMC y 1% S)	0.107 ± 0.01	0.094 ± 0.00	0.093 ± 0.00
R₂ (NC, CMC, 1% S y CaCl ₂)	0.151 ± 0.00	0.102 ± 0.01	0.099 ± 0.00
R₃ (NC, CMC y 2% S)	0.113 ± 0.00	0.067 ± 0.01	0.051 ± 0.01
R₄ (NC, CMC, 2% S, CaCl ₂)	0.172 ± 0.01	0.136 ± 0.01	0.091 ± 0.00
R₅ (NC, CMC, GX 1.5% S y 0.5% CaCl ₂)	0.108 ± 0.00	0.078 ± 0.01	0.104 ± 0.01
R₆ (NC, GX y 1% S)	0.113 ± 0.04	0.095 ± 0.00	0.092 ± 0.00
R₇ (NC, GX, 1% S y CaCl ₂)	0.192 ± 0.00	0.129 ± 0.01	0.066 ± 0.00
R₈ (NC, GX y 2% S)	0.109 ± 0.00	0.072 ± 0.01	0.063 ± 0.01
R₉ (NC,GX, 2% S, CaCl ₂)	0.203 ± 0.02	0.151 ± 0.03	0.064 ± 0.00

El Cuadro 3. 4 muestra que la acidez del mango manila fresco cortado en general tuvo una tendencia de reducción con el tiempo de almacenamiento sobre todo en el día 18, especialmente para el control A. El control A que representa al mango manila sin tratamiento, el cual indica una disminución de ácido cítrico a través del almacenamiento

con un valor de 0.164 a 0.028 % de ácido cítrico/g de fruta en donde esta disminución tan drástica se atribuye a la maduración del fruto la cual continua después de ser cortado ya que los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos en la respiración por las enzimas glucolíticas y reacciones de oxidación como se explicara más adelante (Gutierrez y col., 1996; Siller-Cepeda y col., 2006).

Los tratamientos sin nanocápsulas mostraron un bajo control de la actividad metabólica ya que al comparar estos tratamientos con el control mango manila solo (A) se puede apreciar que para el día nueve cuenta con el 50.04 % de ácido cítrico/g de fruta con respecto al valor inicial, en el día dieciocho únicamente mantiene el 16.92 % de ácido cítrico/g de fruta, la formulación GX + CaCl₂ (B) en el día nueve todavía contiene un 75.7 % de ácido cítrico/g de fruta, sin embargo, para el día dieciocho el contenido de acidez es únicamente del 20.3 % de ácido cítrico/g de fruta, en el caso de la formulación CMC + CaCl₂ (C) en el día nueve mantiene el 72 % de ácido cítrico/g de fruta pero en el día dieciocho disminuye drásticamente hasta mostrar un 17.63 % de de ácido cítrico/g de fruta, esto nos indica que el uso de recubrimientos B y C no presenta diferencia significativa con respecto al control A.

Por otro lado la formulación GX + CMC + CaCl₂ (D) mantiene la misma tendencia dentro de los primeros nueve días ya que mantiene un 52.2 % del ácido cítrico/g fruta con respecto al valor inicial, sin embargo, para el día dieciocho cuenta con un 47% del ácido cítrico/g fruta, lo que indica que la mezcla de polímeros CMC y xantana tienen la capacidad alta para actuar como una barrera de vapor protectora disminuyendo el consumo de oxígeno con ello los ácidos disponibles para la respiración no son utilizados manteniendo el contenido de ácido cítrico (Gonzalez-Aguilar y col., 2008) .

En cambio las formulaciones que contienen nanocápsulas detuvieron de manera significativa la disminución de acidez del mango manila iniciando con el tratamiento NC (N) el cual en el día nueve contenía un 70.5 % de ácido cítrico/g de fruta mientras para el día dieciocho era de 66 % de ácido cítrico/g de fruta, cantidad que presentaban los tratamientos A, B y C para el noveno día de almacenamiento, por lo que la adición de poli-

ϵ -caprolactona (PCL) nuevamente indica que mejora de forma significativa la eficacia de los recubrimientos, debido a la regulación del balance hidrófilo – hidrófobo.

De la misma forma que N, los tratamientos adicionados con nanocápsulas mantuvieron el valor de la acidez de tal modo que NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁) mantuvo un 87.2 % de ácido cítrico/g de fruta , NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂) alcanzó un valor de 65.6 % de ácido cítrico/g de fruta, sin embargo, aunque R₂ fue de los tratamientos que mantuvo un mayor porcentaje de acidez se distingue que la adición de CaCl₂ disminuyó el contenido de ácido cítrico del mango manila , NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆) sostuvo 81.5 % de ácido cítrico/g de fruta, NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl₂ (R₅) mostro 95.8 % de ácido cítrico/g de fruta con respecto al contenido inicial de ácido cítrico/ g fruta.

El mejor tratamiento es debido a que un porcentaje adecuado de CaCl₂, (Oms-Oliu y col., 2010; Dong y col., 2000) en este caso 0.5% de CaCl₂ encapsula a los ácidos orgánicos del mango manila impidiendo que estos sean ocupados para la respiración y así el porcentaje de acidez se mantenga prácticamente constante (Robles-Sánchez y col., 2009).

La Figura 3. 4 indica que el CaCl₂ aporta el mayor efecto en cuanto a la acidez en el día dieciocho, esto es debido a los iones Ca₂⁺ y los grupos carboxilo de la CMC que reducen repulsión entre los grupos carbonilo y la columna vertebral de celulosa de CMC en un estado orientado esféricamente ordenado, de tal forma que la adición de CaCl₂ a las formulaciones de CMC aumenta el espacio superficial del recubrimiento con ello un aumento en la actividad metabólica del mango manila y así un mayor consumo de ácido cítrico, en los tratamientos de CMC que no se le adiciono CaCl₂ generaron un recubrimiento más uniforme que reguló la permeabilidad del oxígeno con ello un menor consumo de los ácidos orgánicos (Lu y col., 2012).

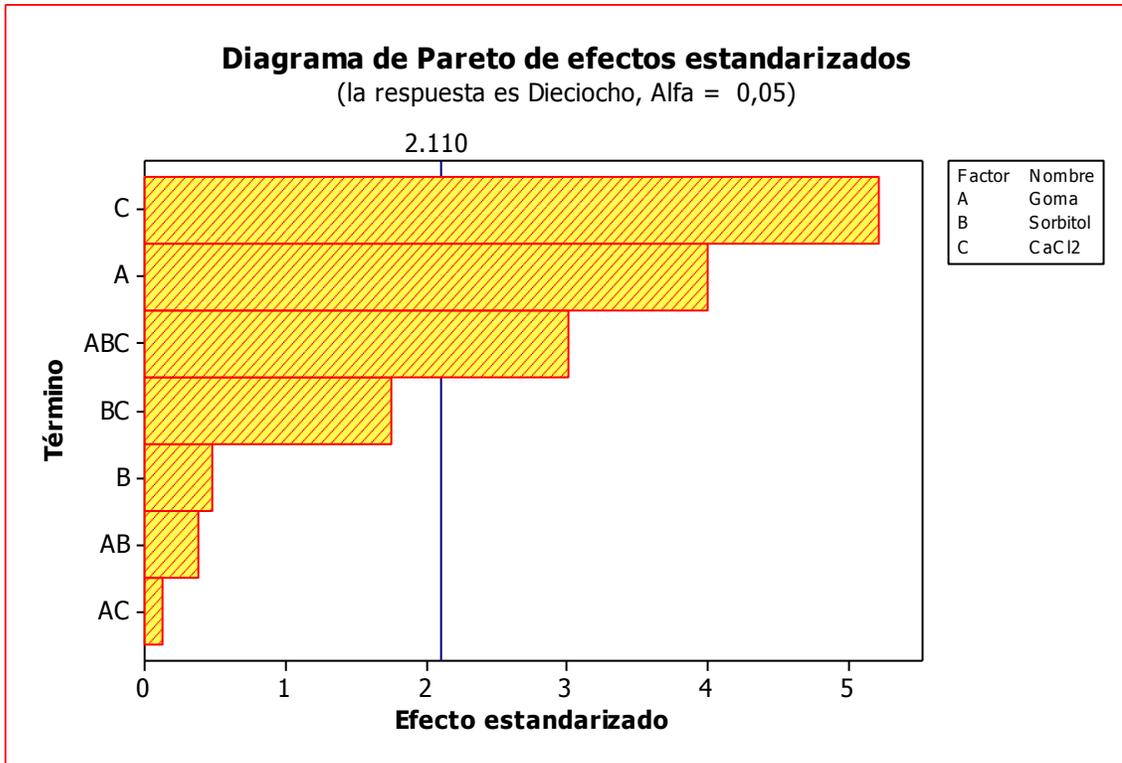


Figura 3. 4 Diagrama de Pareto para el día dieciocho en acidez titulable.

Por otro lado la goma xantana también tiene como columna vertebral cadenas de celulosa, sin embargo, las estructuras de estas soluciones es inducida por el bloqueo de azar de la dinámica de la moléculas rígidas, en donde la gran carga negativa de las varillas rígidas de xantana se ven modificadas por la fuerza iónica de transición de interferencia en este caso el CaCl_2 generando recubrimientos relativamente rígidos los cuales con el paso del tiempo estos tienden a su forma rígida los cuales van a permitir un mayor intercambio de gases (Iijima, y col., 2007).

Esto se puede contrastar con el porcentaje final de ácido cítrico en el mango manila en donde valor de acidez del tratamiento NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl_2 (R₇) mantuvo un 34.4 % de ácido cítrico/g de fruta en el día dieciocho con respecto al valor inicial mostrado en el Cuadro 3. 4 por otro lado el tratamiento NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl_2 (R₉) alcanzó un valor de 31.6 % de ácido cítrico/g de fruta siendo tratamientos adicionados con

nanocápsulas con un menor control de ácido cítrico destacando que la adición de CaCl_2 disminuyó el contenido de ácido cítrico del mango manila.

El uso de plastificantes como el sorbitol, interrumpen los puentes de hidrogeno inter e intramoleculares, aumentando de la distancia entre las moléculas de polímero, facilitando el intercambio de los gases con ello el aumento en el consumo de oxígeno por ende un mayor consumo de ácidos orgánicos como se puede observar en los tratamientos NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃), NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl_2 (R₄), NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl_2 (R₇) NC + GX + 2% Sorbitol (R₈) y NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl_2 (R₉).

3.3 Evaluación de los factores de calidad en el mango manila.

3.3.1 Determinación de consumo de oxígeno y concentración de oxígeno

3.3.1.1 Consumo de oxígeno

En el Cuadro 3. 5 muestra los resultados correspondientes al consumo de oxígeno para las muestras control, respecto al comportamiento de las muestras recubiertas. Los mangos control A fueron los que tuvieron el mayor consumo de oxígeno, mientras que aquellas que contenían gomas tuvieron una ligera reducción en el consumo de oxígeno, Además es importante resaltar que de acuerdo con los resultados el empleo de un recubrimiento contribuye a disminuir el consumo de oxígeno entre el 2.7 y hasta el 78 % con lo que se logró en proporción a la disminución de la velocidad de consumo de oxígeno incrementar el tiempo de vida útil del producto.

El consumo de oxígeno del mango manila fresco cortado recubierto con tratamientos que contenían nanocápsulas y polisacáridos como soporte (R₁- R₉) fue menor en comparación con los mangos control A, recubiertas con polisacáridos (B, C y D) y nanocápsulas (N), lo que indica que el uso de recubrimientos con nanocápsulas y polisacáridos generan un bajo rango de transmisión de oxígeno, esto debido a la formación de una atmosfera modificada

alrededor del producto reduciendo el consumo de oxígeno y en consecuencia su metabolismo y las reacciones de oxidación (Guillard y col., 2009), la disminución del consumo de oxígeno hace suponer que se creó una barrera semipermeable impidiendo el intercambio de gases (Djioua y col 2010; Chuimarelli y col, 2010; Robles-Sánchez y col., 2013).

Cuadro 3. 5 Velocidad de consumo de oxígeno en mango manila fresco cortado.

Formulación	Vel. [mL/ kg h]	R ²
A (Mango manila solo)	19.49	0.89
B (GX y CaCl ₂)	18.96	0.93
C (CMC y CaCl ₂)	17.49	0.92
D (GX, CMC y CaCl ₂)	14.91	0.93
N (NC)	17.99	0.93
R ₁ (NC, CMC y 1% S)	5.64	0.93
R ₂ (NC, CMC, 1% S y CaCl ₂)	10.61	0.97
R ₃ (NC, CMC y 2% S)	7.21	0.92
R ₄ (NC, CMC, 2% S, CaCl ₂)	11.02	0.95
R ₅ (NC, CMC, GX 1.5% S y 0.5% CaCl ₂)	3.35	0.94
R ₆ (NC, GX y 1% S)	9.7	0.96
R ₇ (NC, GX, 1% S y CaCl ₂)	10.79	0.95
R ₈ (NC, GX y 2% S)	11.24	0.90
R ₉ (NC, GX, 2% S, CaCl ₂)	11.91	0.93

En el Cuadro 3. 5 se observa como las formulaciones NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃) y NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄) presentan un mayor consumo de oxígeno en comparación de las formulaciones NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁) y NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂) cuando se compara R₁ con R₃ y R₂ con R₄, en donde la diferencia entre dichos tratamientos es el porcentaje de sorbitol. Este comportamiento puede ser explicado mediante la Figura 3. 5 la cual indica que la interacción entre el plastificante y

CaCl₂ influyen de manera significativa al consumo de oxígeno en los diferentes tratamientos ya que el sorbitol interrumpe los enlaces de hidrógeno inter e intramolecularmente, aumentando la distancia entre las moléculas de polímero. Incluso aunque el sorbitol pudiera llenar los espacios vacíos en la matriz de polímero, éste facilita el intercambio de gases eventualmente y el aumento en el consumo de oxígeno en las formulaciones con nanocápsulas con un mayor porcentaje de sorbitol (Chuimarelli y col, 2011).

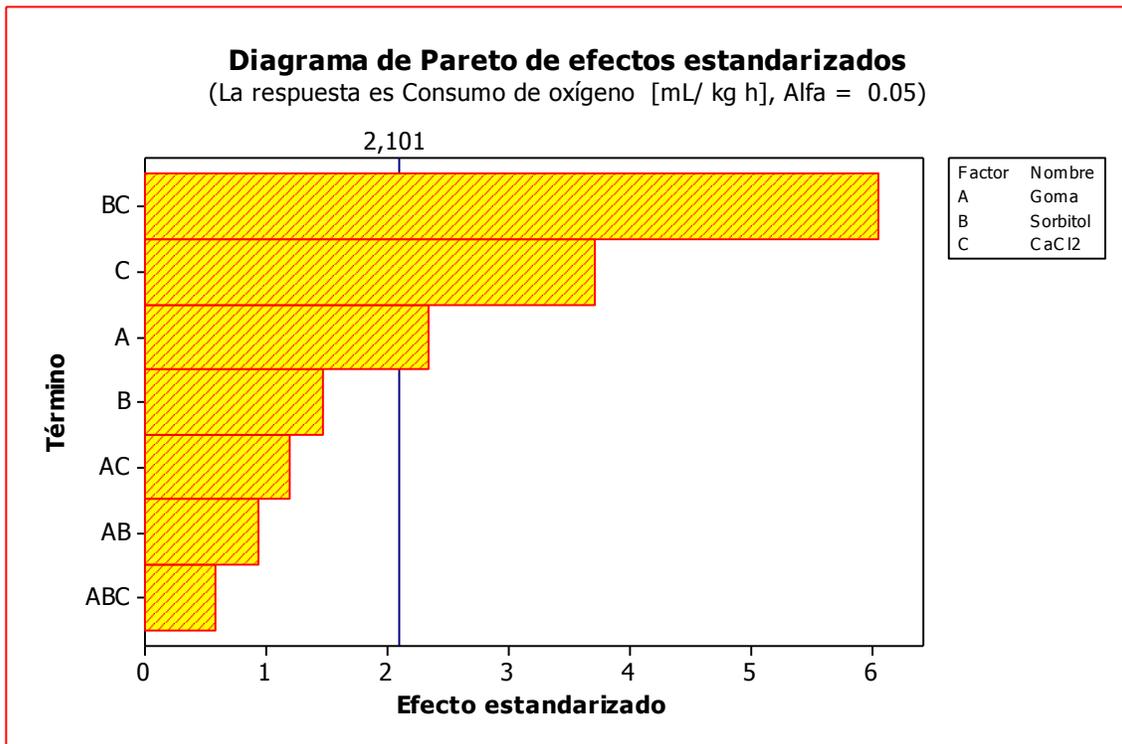


Figura 3. 5 Diagrama Pareto para consumo de oxígeno del mango manila.

En la Figura 3. 5 se observa que el tipo de polisacárido empleado muestra diferencia significativa ($P > 0.05$) en el consumo de oxígeno del mango manila, esto se ve reflejado en el Cuadro 3. 5 en donde los tratamientos a base de goma xantana presentan el mayor consumo de oxígeno esto debido a la estructura del polímero la cual al encontrarse en un acomodo al azar permite una mayor permeabilidad y con ello un mayor consumo de

oxígeno. Del mismo modo un incremento de sorbitol afecta la estructura del recubrimiento observándose en los tratamientos NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆) con NC + GX + 2% Sorbitol (R₈) y NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₇) NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉), de igual forma el consumo de oxígeno incrementa en el caso de la CMC, sin embargo, el sorbitol no presenta diferencia significativa (P < 0.05) en el consumo de oxígeno dentro de las primeras cinco horas.

Los recubrimientos de mango fresco cortado realizados con base de polisacáridos y nanocápsulas, no solo se limitaron al intercambio de gases para crear una atmosfera modificada en las rodajas de mango, si no que la adición de nanocápsulas formó una doble barrera semipermeable confiriéndole a los recubrimientos alta flexibilidad debido a la poli-ε-caprolactona (PCL) utilizada para las nanocápsulas de β-caroteno, una característica única entre los poliésteres disminuyendo la frecuencia respiratoria y retrasando la senescencia por mayor tiempo que un tratamiento sin nanocápsulas (De Ayala, y col., 2009).

3.3.1.2 Concentración de oxígeno

En la Figura 3. 6, la Figura 3. 7 y la Figura 3. 8 se muestran los cambios en la cantidad de oxígeno en el espacio libre de cabeza de los envases analizados durante el periodo de almacenamiento, observándose que independientemente de la formulación todas fueron eficaces para controlar el metabolismo del mango manila, reduciendo el consumo de oxígeno del mango durante el almacenamiento, ya que los recubrimientos comestibles pueden crear una modificación de la atmósfera interna, como resultado de la formación de un recubrimiento semipermeable en la superficie del producto, lo que reduce el oxígeno disponible para el tejido del mango así mismo la tasa de respiración (Chiumarelli y col., 2011; Rojas- Graü y col., 2008).

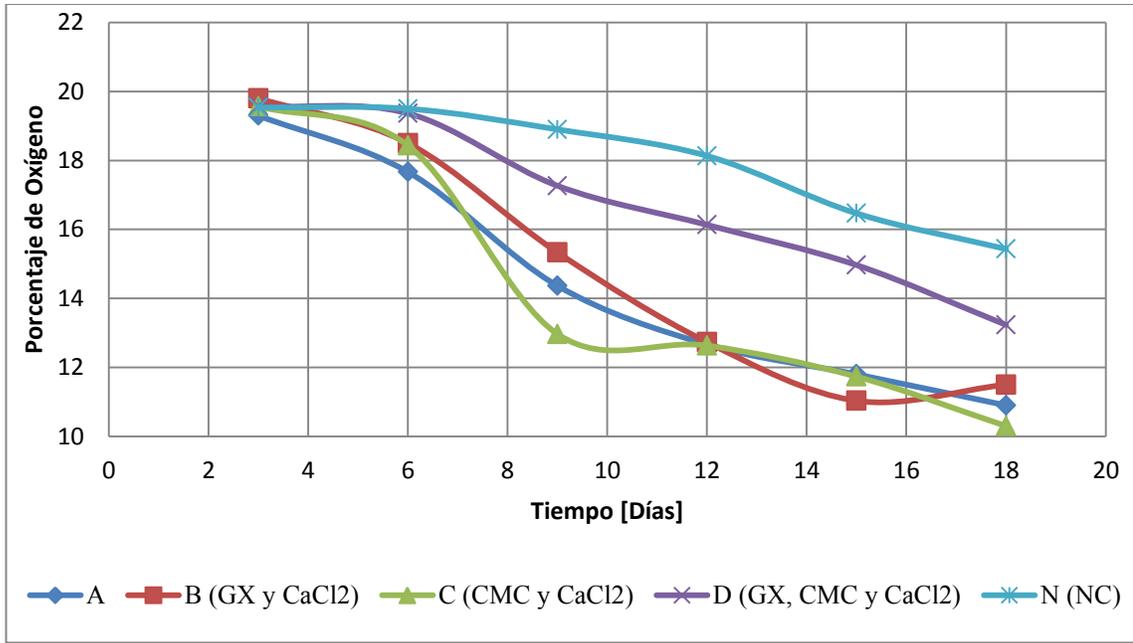


Figura 3. 6 Porcentaje de oxígeno consumido de los tratamientos A, B, C, D y N durante el almacenamiento del mango manila fresco cortado.

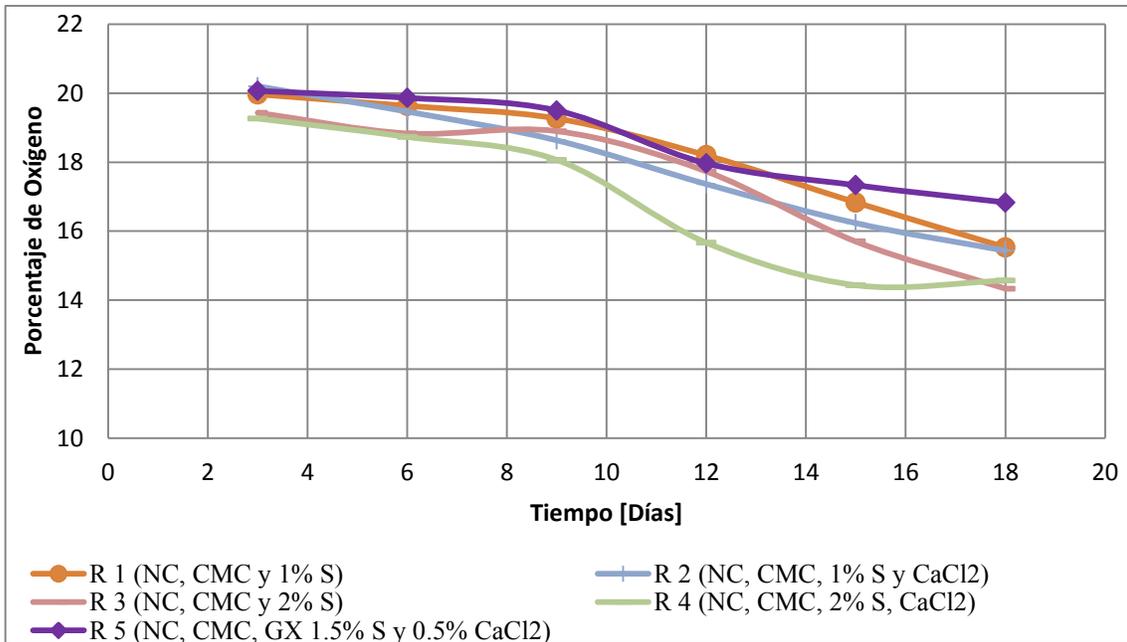


Figura 3. 7 Porcentaje de oxígeno consumido de los tratamientos a base de CMC durante el almacenamiento del mango manila fresco cortado.

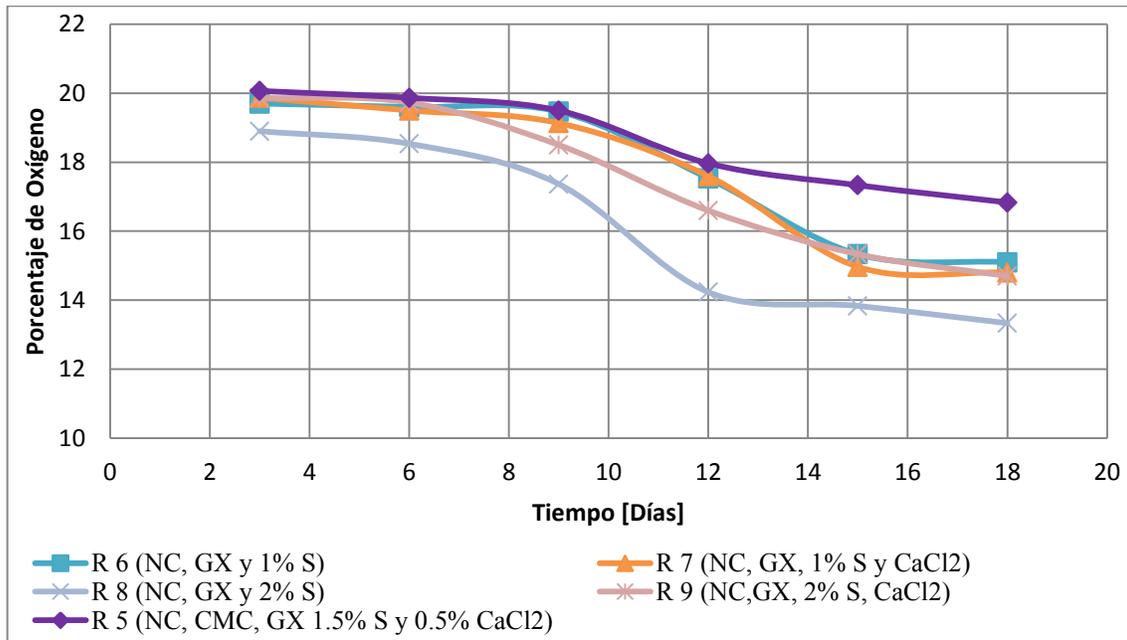


Figura 3. 8 Porcentaje de oxígeno consumido de los tratamientos a base de Goma Xantana durante el almacenamiento del mango manila fresco cortado.

La Figura 3. 6 demuestra que el consumo de oxígeno incrementa gradualmente durante el almacenamiento, del mismo modo se aprecia que los tratamientos sin nanocápsulas presentaron una mayor velocidad de respiración que aquellos tratamientos con nanocápsulas como se observa en los tratamientos GX + CaCl₂ (B) y CMC + CaCl₂ (C), sin embargo, el tratamiento GX + CMC + CaCl₂ (D) demuestra que puede competir con aquellos tratamientos con nanocápsulas debido a la interacción que existe entre ambos polímeros ya que ambos contiene a la celulosa como columna vertebral al incorporarle CaCl₂ los iones Ca²⁺ y los grupos carboxilo de la celulosa producen un reacomodo en las estructuras de CMC y goma xantana formando recubrimientos permeables que permitan un buen intercambio de gases (Gonzalez-Aguilar, y col., 2008). Sin embargo, la alta permeabilidad al oxígeno de los recubrimientos de CMC y goma xantana con las nanocápsulas fueron capaces de controlar mejor el oxígeno disponible para la actividad respiratoria, lo que resulta en menor consumo de oxígeno para los mangos.

El tratamiento con nanocápsulas (N) fue capaz de controlar el metabolismo del mango manila sin la adición de un polisacárido esto se puede explicar con los componentes de las nanocápsulas ya que la PLC es un poliéster con variable biodegradación con alta disponibilidad y buenas propiedades mecánicas, con capacidad de resistir cambios en las propiedades de las nanocápsulas a través del tiempo (De Ayala, y col., 2009).

En la Figura 3. 7 y Figura 3. 8 se muestran los tratamientos con nanocápsulas, polímeros, cloruro de calcio y sorbitol en donde se puede analizar que el tratamiento que ofreció un mayor consumo de oxígeno a través del tiempo en el caso de la CMC es el tratamiento NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄) en el cuál la adición de CaCl₂ y una concentración elevada de sorbitol perjudicó a la doble barrera semipermeable aumentando por ende el consumo de oxígeno del mango manila, el segundo tratamiento que tuvo un mayor consumo de oxígeno a través del tiempo con CMC de base del recubrimiento es NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃) el cual como ya se había mencionado un alto contenido de sorbitol afecta la estructura del polisacárido al insertarse en la matriz del polímero aumentando el intercambio de gases.

En la Figura 3. 8 se muestra que para el caso de la goma xantana el tratamiento con mayor consumo es NC + GX + 2% Sorbitol (R₈) seguido por el tratamiento NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉) que aunque es diferente la estructura del polímero base del recubrimiento el plastificante interfiere en la barrera semipermeable del recubrimiento (Chiumarelli, y col., 2011).

La Figura 3. 9 demuestra que la mezcla de concentración sorbitol con CaCl₂ al igual que el tipo de polisacárido presentan diferencias significativas en el porcentaje de oxígeno consumido durante el almacenamiento, al comparar los tratamientos con mayor consumo de oxígeno con base de CMC R₄ y goma xantana R₈ en la Figura 3. 7 y Figura 3. 8 se puede apreciar que aunque el tratamiento R₄ es el que presenta mayor consumo de oxígeno a base de CMC, éste presenta un menor consumo de oxígeno que el tratamiento R₈ con base de goma xantana por lo que se establece que los recubrimientos a base de CMC

presentan mejores características en cuanto al consumo de oxígeno a través del tiempo de almacenamiento.

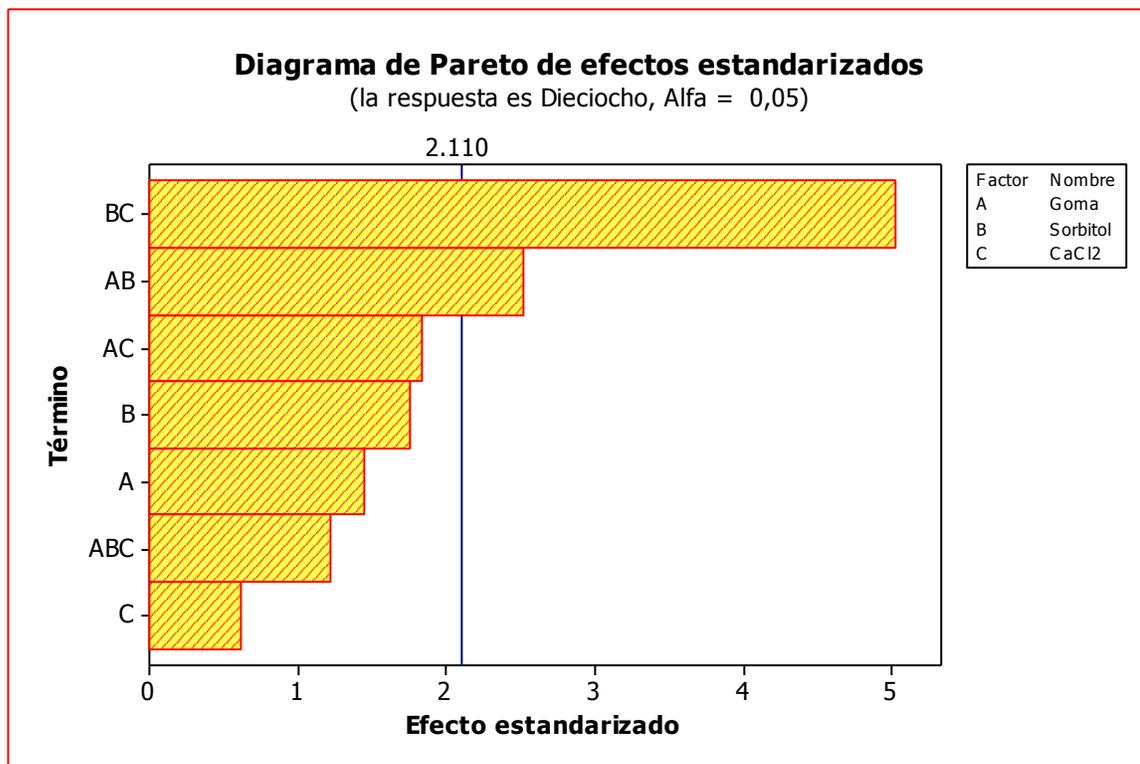


Figura 3. 9 Diagrama Pareto para concentración de oxígeno en el día dieciocho de almacenamiento de mango manila.

Al adicionar CaCl₂ a los tratamientos estos aumentan el consumo de oxígeno del mango manila debido al carácter hidrófobo las nanocápsulas las cuales tienden a aglomerarse con los polímeros de carácter hidrofílico como lo es la CMC y la goma xantana, al interactuar con el CaCl₂ los iones de Ca⁺ pueden interferir en la formación de la estructura aumentando o disminuyendo el área superficial del recubrimiento el cual depende del acomodo del polisacárido y la interacción con los componentes del recubrimiento.

Dentro de los mejores tratamientos se encuentran NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁), NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂), NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl₂ (R₅), NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆) y NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₇) los cuales presentan un menor consumo de oxígeno durante el almacenamiento, se observa que el

porcentaje de sorbitol es un factor importante en las formulaciones de recubrimientos, ya que en estos tratamientos el porcentaje de sorbitol fue menor en comparación con R₃, R₄, R₈ y R₉ mostrando así que el uso de plastificantes disminuye las atracciones intermoleculares entre las cadenas poliméricas adyacentes, lo que facilita la penetración de moléculas de gas a través de la red (Ribeiro, y col., 2007).

3.3.2 Cambios de color

3.3.2.1 Luminosidad

La Figura 3. 10, Figura 3. 11 y Figura 3. 12 muestran la disminución de la luminosidad (L*) en el mango manila fresco cortado con diferentes formulaciones de recubrimientos almacenados a 4 °C.

Se puede observar que en el caso del mango manila fresco cortado sin tratamiento la luminosidad (A) disminuyó paulatinamente durante el almacenamiento a una velocidad de 0.75L/día, lo que implica que el empleo de un recubrimiento promueve el mantenimiento de la luminosidad de las muestras evitando la deshidratación superficial, en este sentido Gonzalez-Aguilar y col. (2008), relacionaron la pérdida de luminosidad (L*) en tres cultivares Ataulfo, Kent y Keitt durante el almacenamiento atribuyendo la pérdida de brillo al desarrollo de oscurecimiento en frutas frescas cortadas.

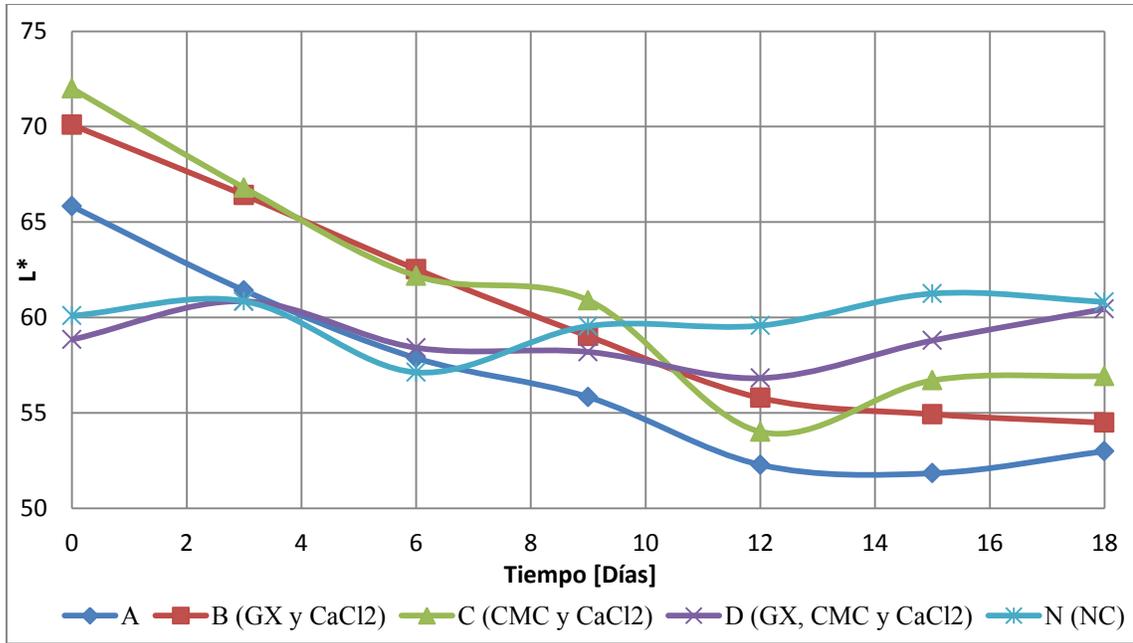


Figura 3. 10 Luminosidad de los tratamientos de mango fresco cortado A, B, C, D y N durante el almacenamiento.

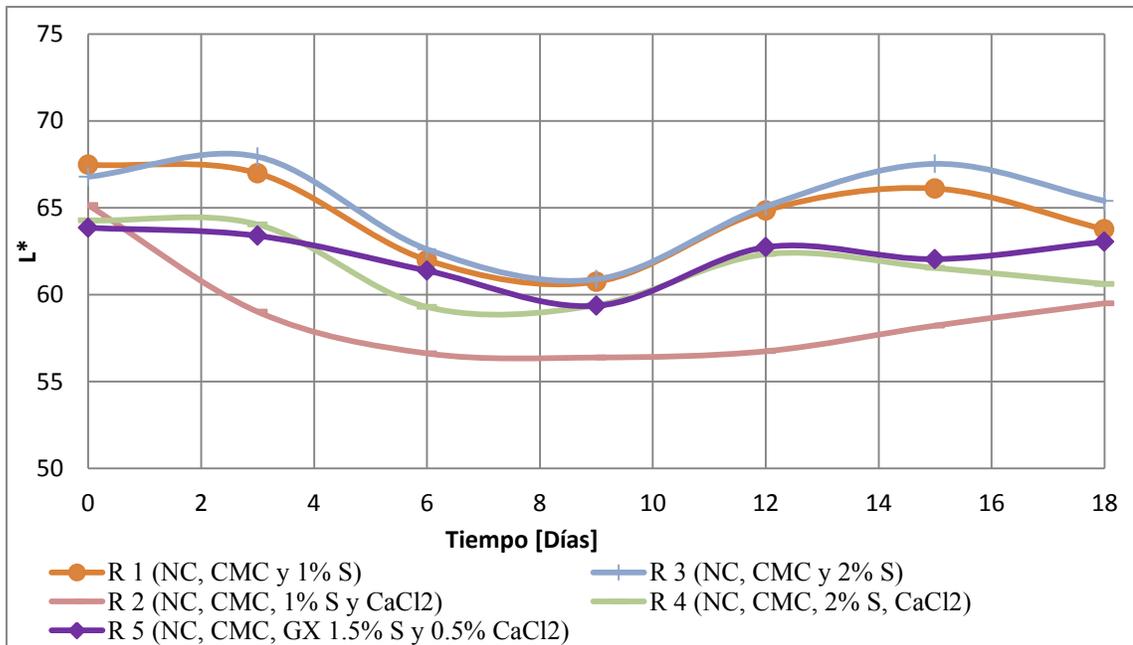


Figura 3. 11 Luminosidad de los tratamientos de mango fresco cortado a base de CMC durante el almacenamiento.

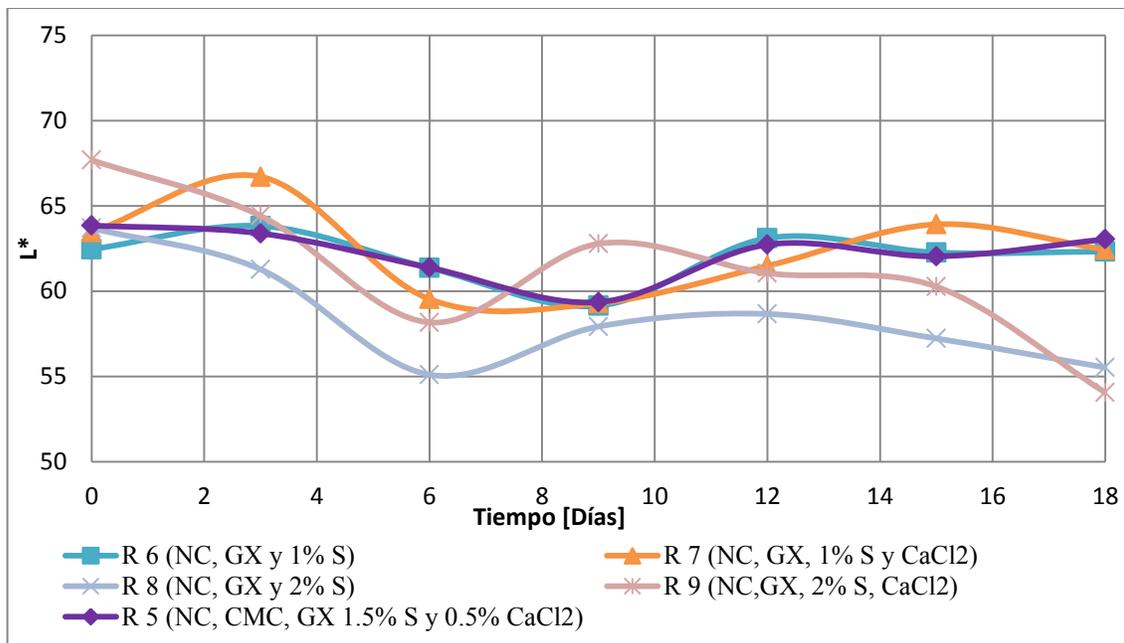


Figura 3. 12 Luminosidad de los tratamientos de mango fresco cortado a base de goma xantana durante el almacenamiento.

En la Figura 3. 10, Figura 3. 11 y Figura 3. 12 se muestran valores iniciales de L^* de los mangos manila recubiertos los cuales se encuentran en un rango de 59-72 en donde la disminución de L^* está en función al tiempo de almacenamiento y al recubrimientos aplicados, se muestra que los mangos control (A) disminuyeron en aproximadamente 12-14 unidades de luminosidad. De acuerdo con Siddiq y col., (2013) la luminosidad disminuye paulatinamente en mangos control variedad Tommy Atkins asociando este comportamiento al desarrollo de oscurecimiento lo que limita la transmisión de luz. La luminosidad también disminuye en mango variedad Haden en función a la temperatura de almacenamiento (Salinas-Hernández y col., 2013).

Es también importante resaltar que a pesar de no tener un buen control de la luminosidad, el empleo de un recubrimiento a base de polisacáridos contribuye a controlar el cambio en mango manila ya que los tratamientos B y C controlaron el cambio de luminosidad con una menor velocidad de cambio que las muestras control. En la Figura 3. 11 también se observa que el empleo de nanocápsulas contribuye a controlar de manera eficiente los cambios en luminosidad siendo las muestras NC + CMC + 1% Sorbitol (R_1) y NC + CMC

+ 2% Sorbitol (R₃) las que tuvieron un mejor comportamiento en el control de este parámetro. El empleo de nanocápsulas contribuye satisfactoriamente a controlar el cambio de luminosidad en mango manila fresco cortado, siendo dependiente del polisacárido matriz empleado, esto se puede contrastar con la Figura 3. 13 la cual indica que el porcentaje de CaCl₂ y el tipo de polisacárido empleado para cada tratamiento influyen de forma significativa en la luminosidad del mango manila.

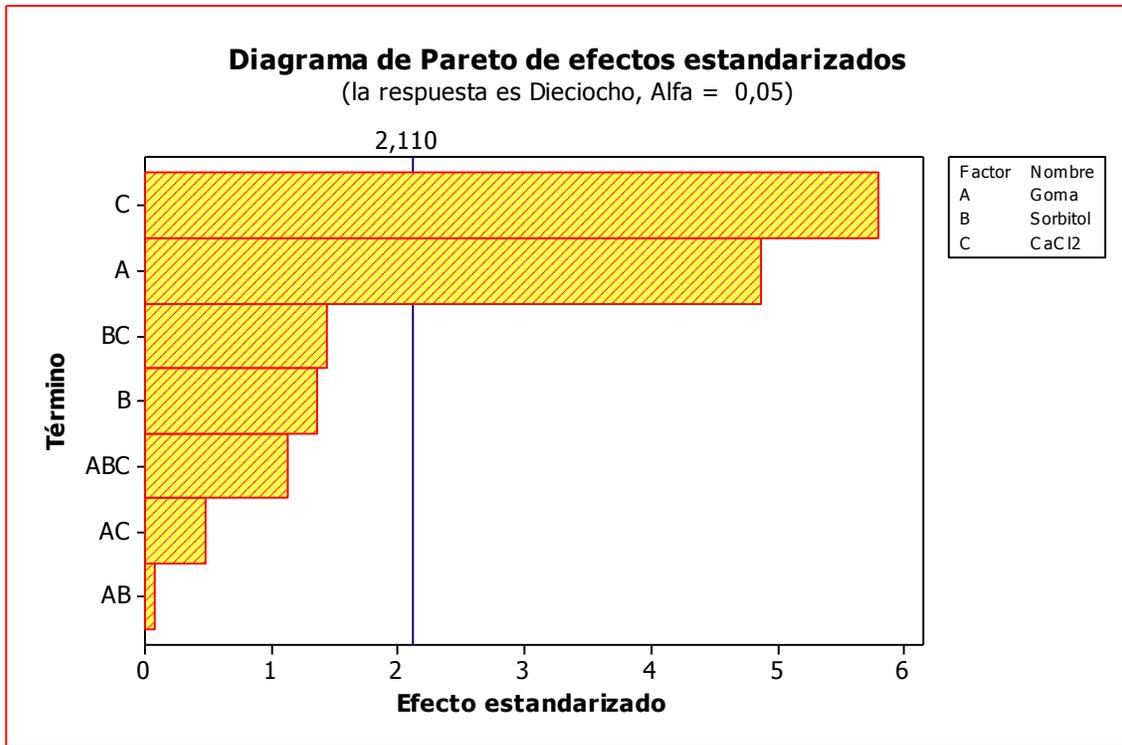


Figura 3. 13 Diagrama Pareto para la luminosidad en el día dieciocho de almacenamiento de mango manila.

El tiempo de almacenamiento es considerado un factor limitante en la vida útil de las frutas frescas cortadas, el valor de L* disminuye pronunciadamente durante el tiempo de almacenamiento debido al oscurecimiento causado por el daño al tejido ya sea como resultado de la actividad enzimática o por el aumento en las concentraciones de los pigmentos (Rojas-Graü., 2006).

3.3.2.2 Tonalidad del ángulo

El ángulo Hue ($^{\circ}$ Hue) indicativo de la tonalidad es en la fruta recién cortada el parámetro más importante ya que representa el color verdadero (Robles-Sanchez y col., 2009), en este sentido en la Figura 3. 14 el mayor $^{\circ}$ Hue desarrollado fue para los mangos control (A) y los mangos tratados únicamente con polisacáridos y cloruro de calcio GX + CaCl₂ (B), CMC + CaCl₂ (C) en donde $^{\circ}$ Hue disminuyó drásticamente a partir del día nueve, por lo que en este estudio, los valores de tono menor de 76 $^{\circ}$ son indicativos de oscurecimiento en el mango manila fresco cortado.

La Figura 3. 14 ilustra que los tratamientos A, B y C disminuyeron de 6-8 unidades al final del almacenamiento de $^{\circ}$ Hue con respecto a su valor inicial, en donde los tratamientos con polisacáridos y CaCl₂ no influyen en la protección del color en este caso $^{\circ}$ Hue al no existir diferencia significativa ($P < 0.05$) con respecto a los mangos control. Por otro lado los tratamientos D y N mantienen el $^{\circ}$ Hue durante los 18 días de almacenamiento lo que indica que lograron mantener la apariencia del color del mango manila a través del tiempo.

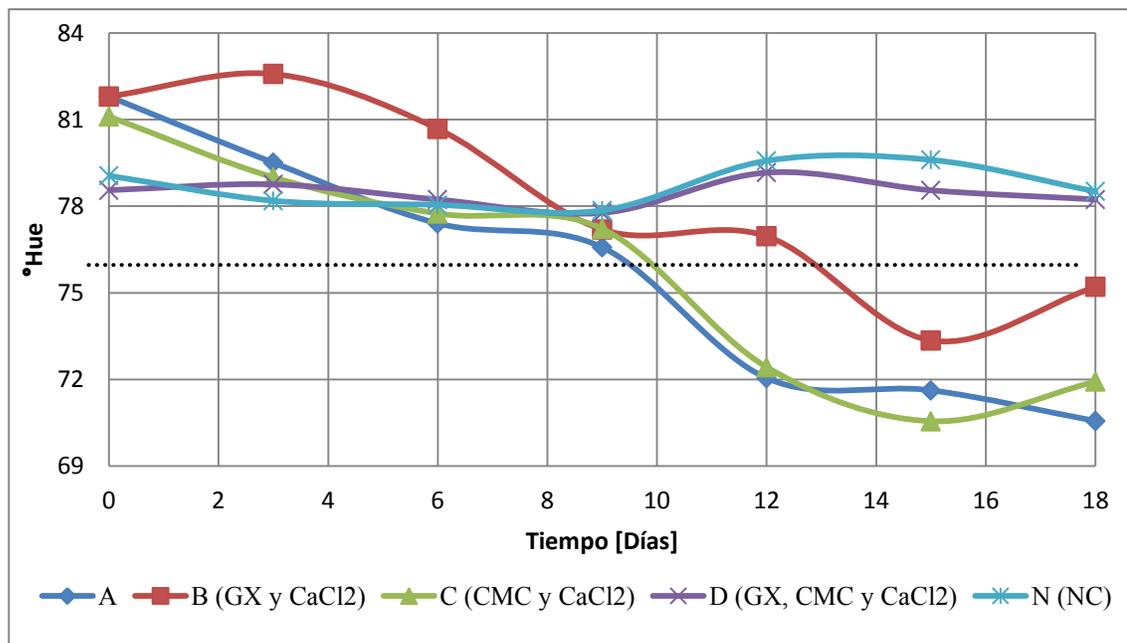


Figura 3. 14 Tonalidad del ángulo de los tratamientos de mango fresco cortado A, B, C, D y N durante el almacenamiento.

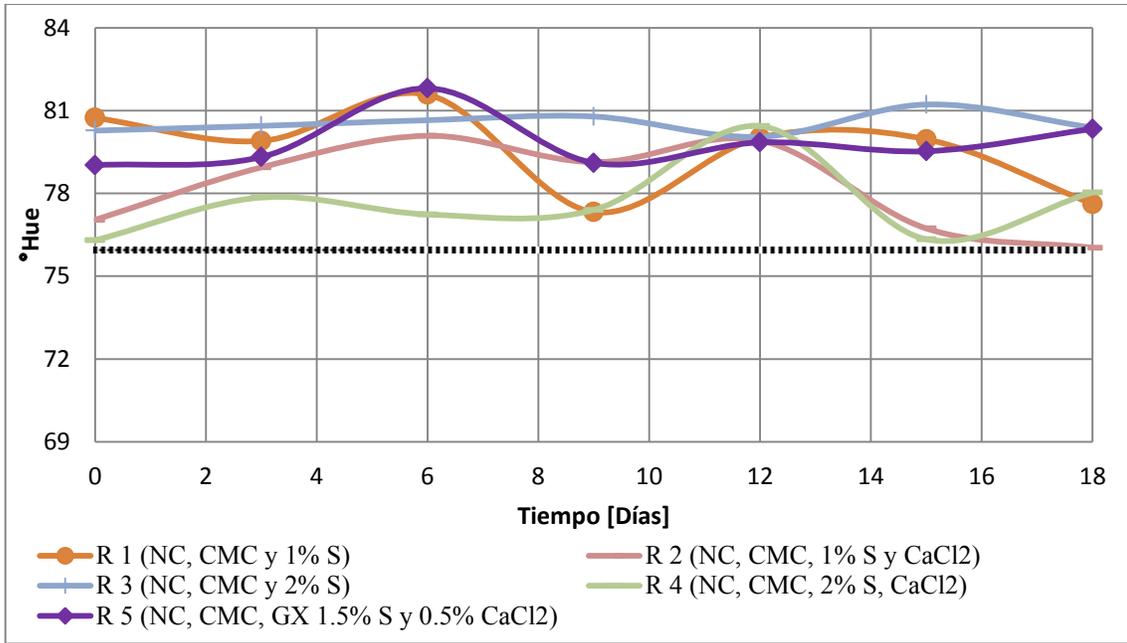


Figura 3. 15 Tonalidad del ángulo de los tratamientos de mango fresco cortado a base de CMC durante el almacenamiento.

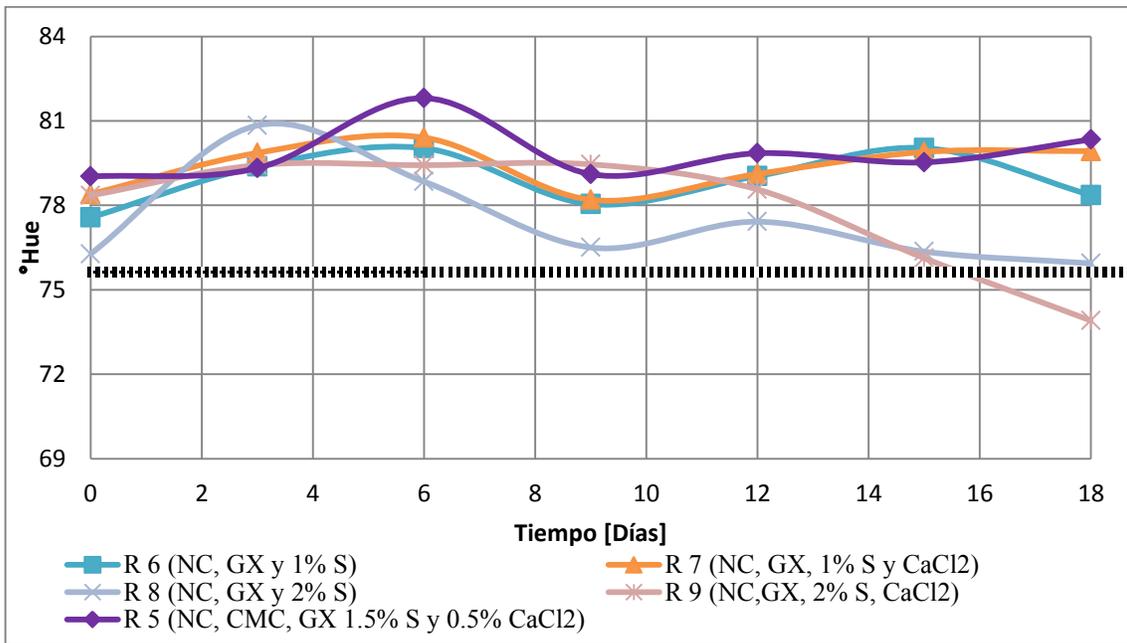


Figura 3. 16 Tonalidad del ángulo de los tratamientos de mango fresco cortado a base de goma xantana durante el almacenamiento.

La Figura 3. 15 y la Figura 3. 16 muestran los tratamientos con nanocápsulas, polisacáridos, sorbitol y cloruro de calcio en donde muestran una disminución de 1-2 unidades en °Hue del mismo modo el tratamiento N indicado en la Figura 3. 14 se muestra una disminución similar, ya que los mecanismos implicados en la inhibición del oscurecimiento por antioxidantes se deben a un efecto indirecto sobre la actividad de la PFO, donde posiblemente el β -caroteno nanoencapsulado que se libera a través del tiempo reduce las o-quinonas formadas a partir de difenoles siendo el mayor beneficio de los tratamientos de inmersión que contienen antioxidantes. Ya que °Hue se ha usado para indicar el cambio de la pulpa del mango de color amarillo claro a naranja se puede decir que los tratamientos lograron que este permaneciera generalmente constante a través de almacenamiento.

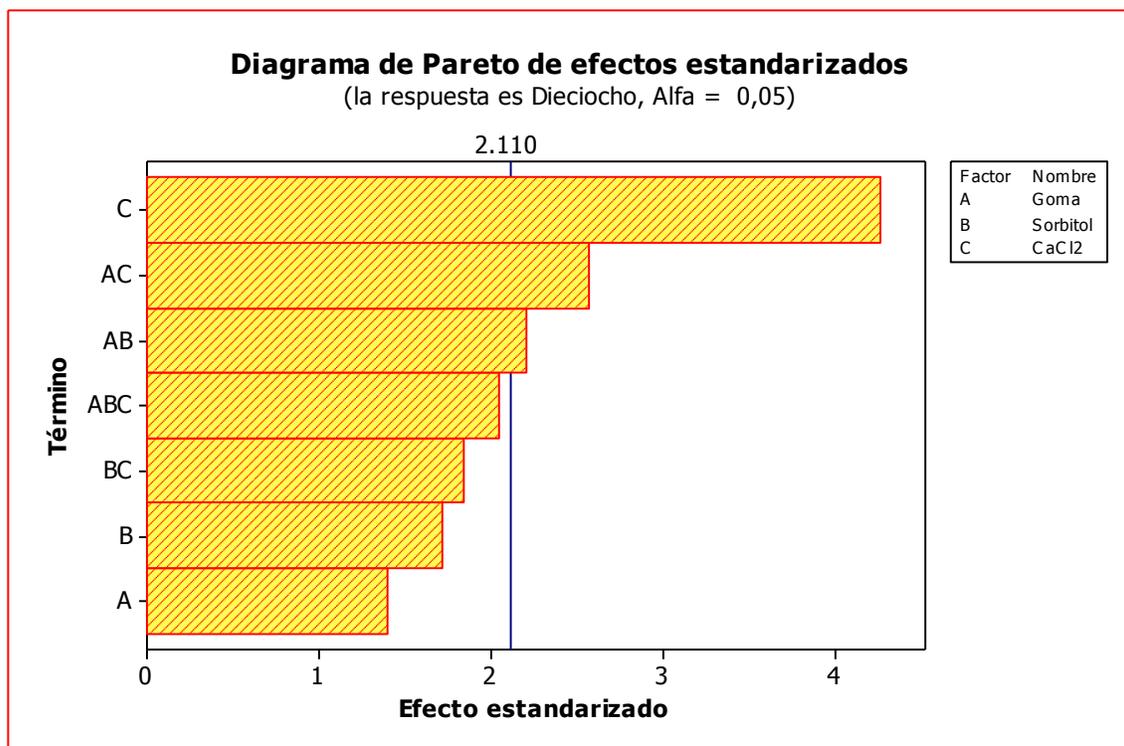


Figura 3. 17 Diagrama Pareto para tonalidad de ángulo en mango manila para el día dieciocho de almacenamiento.

La Figura 3. 17 muestra como el CaCl₂ y la interacción de este con el tipo de polisacárido presentan diferencia significativa en °Hue para el día dieciocho de almacenamiento ya que

el tiempo de almacenamiento es un factor que limita vida útil del mango fresco cortado, el °Hue se ve afectado disminuyendo durante el tiempo de almacenamiento debido al oscurecimiento causado por el daño al tejido dependiendo de la protección que se confiere al mango manila con los diferentes tratamientos va a ser esta disminución, ya que el CaCl_2 aumenta el área superficial del recubrimiento éste aumenta el consumo de oxígeno y con ello un aumento en la actividad enzimática.

En este sentido los trozos de mango manila tratados con nanocápsulas mantienen niveles más altos de °Hue, en comparación con los mangos controles y los tratamientos B y C los cuales disminuyeron significativamente durante el periodo de almacenamiento. Mismo comportamiento de °Hue en mango Kent y Keitt muestran Plotto y col. (2010) en el cual indica que las rodajas de mango control muestran valores más bajos de °Hue, mientras los trozos de mango recubiertos el °Hue permaneció generalmente constante a través de almacenamiento.

En la Figura 3. 15 y la Figura 3. 16 se puede observar que todos los tratamientos controlan la tonalidad de ángulo del mango manila, sin embargo, como lo indica la Figura 3. 17 el °Hue depende del tipo de polisacárido y de la adición o no del cloruro de calcio por lo que los tratamientos NC + CMC + 1% Sorbitol (R_1), NC + CMC + 2% Sorbitol (R_3), NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl_2 (R_5), NC + GX + 1 % Sorbitol (R_6) y NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl_2 (R_7) son los tratamientos que mantienen °Hue de manera más uniforme durante el tiempo de almacenamiento.

El mayor mantenimiento de °Hue se puede relacionar con la Figura 3. 7 y Figura 3. 8 en donde se puede se puede observar que los tratamientos R_1 , R_3 , R_5 , R_6 y R_7 mantienen un menor consumo de oxígeno con respecto al tiempo, lo que refleja una relación directa con la actividad de PFO pues el oxígeno es fundamental para que la reacción se lleve a cabo, a diferencia de los controles A y los tratamientos B y C los cuales presentan un alto consumo de oxígeno generando así un mayor oscurecimiento el cual puede observarse en la Figura 3. 14 (Rocha, 2011; Galindo, 2011).

3.3.2.3 Croma

La Figura 3. 18, la Figura 3. 19 y la Figura 3. 20, muestran la evolución de la cromaticidad con respecto al tiempo de almacenamiento a 4 ° C de los diferentes tratamientos en el mango manila. Se observa, en general, que con el tiempo se pierde la pureza del color, en donde los valores de croma (C*) disminuyen indicando un color opaco grisáceo en donde Plotto y col., (2010) demostraron en mango Tommy Atkins, Kent y Keitt que el uso de antioxidantes previene el obscurecimiento de, la fruta fresca cortada.

El C* del mango manila está estrechamente relacionada con el contenido de xantofilas en el mesocarpio del mango, en donde las concentraciones de all-trans-violaxantina, 9-cis-violaxantina y all-trans- β -caroteno se encuentran en las primeras etapas de la maduración, debido a la biosíntesis de all-trans- β -caroteno la intensidad del color en el mango manila aumenta durante el periodo de almacenamiento, por lo que el color y la concentración de carotenoides como índices de madurez y calidad se puede utilizar de manera confiable para el mango manila (Ornelas-Paz y col., 2008).

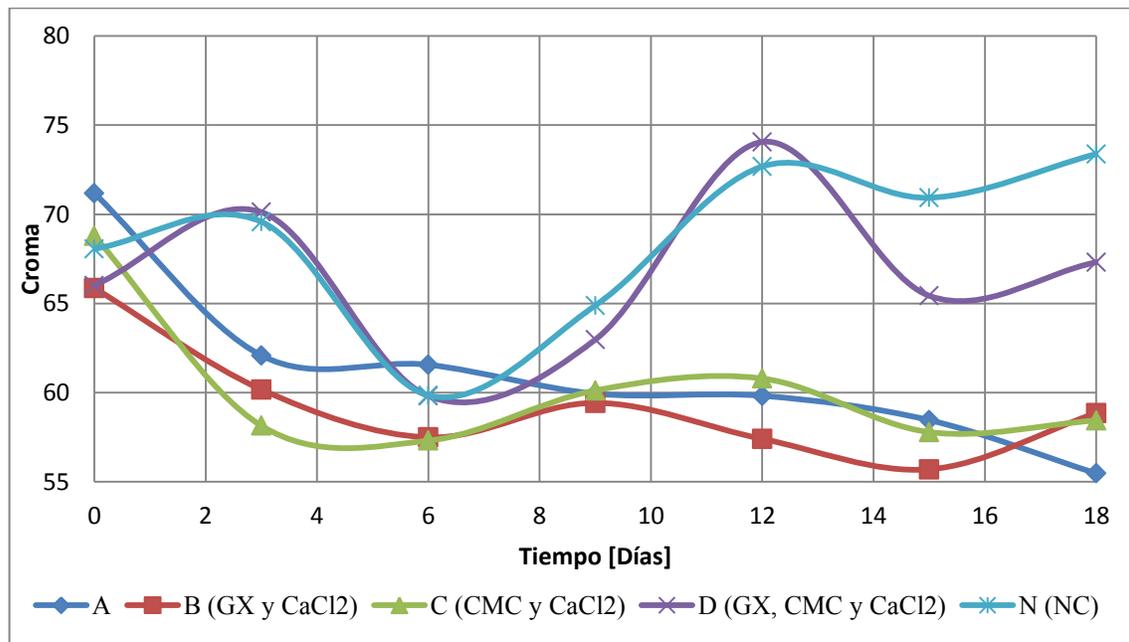


Figura 3. 18 Croma de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

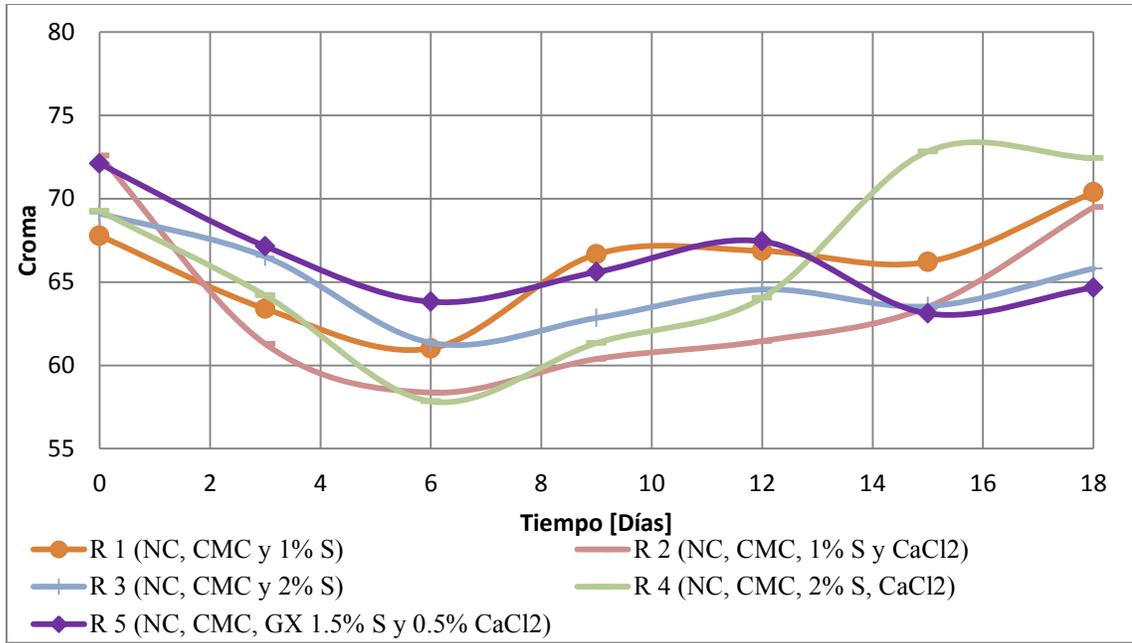


Figura 3. 19 Croma del mango manila con tratamiento a base de CMC durante el almacenamiento.

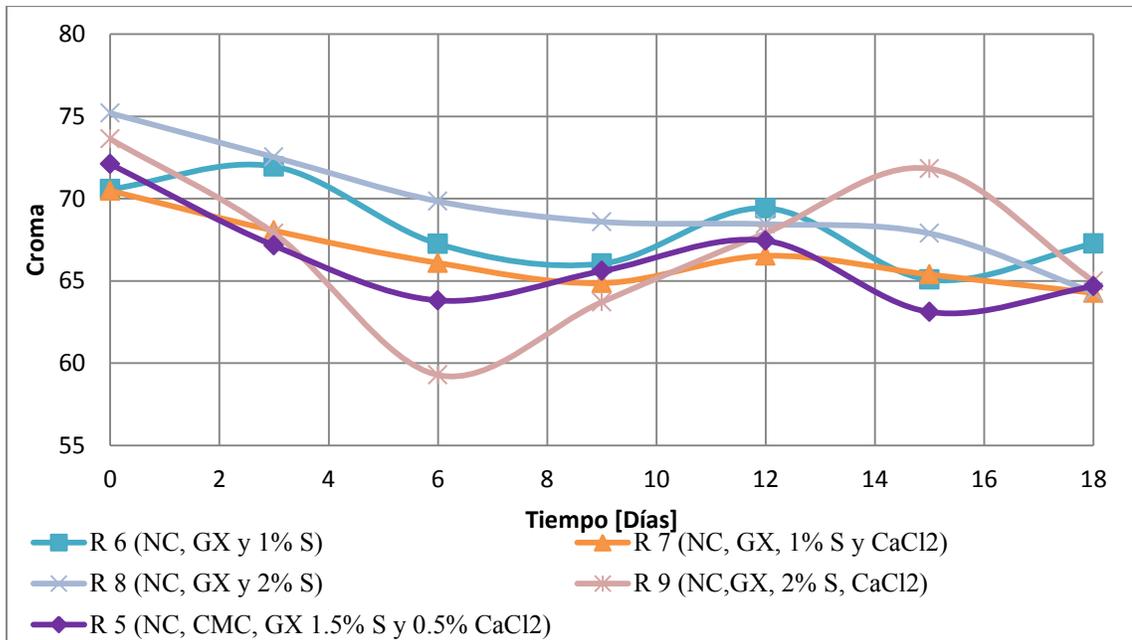


Figura 3. 20 Croma del mango manila con tratamiento a base de goma xantana durante el almacenamiento.

En la Figura 3. 18 se observa como los mangos control A disminuye 15 unidades de C^* hasta el día dieciocho de almacenamiento a 4 °C, sin embargo, la Figura 3. 18 indica que los mangos controles disminuyeron 10 unidades de C^* en los primeros tres días lo que sugiere que la apariencia opaca ya estaba presente en los primeros días de almacenamiento.

Por otro lado los tratamientos GX + CaCl₂ (B) y CMC + CaCl₂ (C) presentaron una reducción de 12 unidades en C^* , indicando que la capacidad de estos recubrimientos no es buena para la conservación del color en mango manila. En el caso de los tratamientos GX + CMC + CaCl₂ (D) y nanocápsulas (N) ayudaron a mantener el índice de calidad del mango ya que impidieron el oscurecimiento del tejido probablemente por la inhibición de la enzima del oscurecimiento.

En la Figura 3. 19 y la Figura 3. 20 se muestra como el uso de nanocápsulas en los tratamientos mantuvieron el croma de los mangos tratados dado que C^* se calcula con las coordenadas cromáticas del sistema CIELab, (a^* y b^*) en donde los valores de b^* indican la cromaticidad sobre el eje de azul a amarillo y los valores de a^* que representan una medida de cambio en color verde a rojo, en donde el cambio en la pulpa del mango durante el almacenamiento con el sistema CIELab se indica principalmente con el valor b^* en donde valores positivos indican amarillez los cuales va aumentando significativamente con el tiempo de almacenamiento mientras los valores de a^* disminuyen, esto indica una relación directa con los resultados obtenidos de a^* y b^* con C^* , al incorporar nanocápsulas de β -caroteno a las formulaciones de recubrimientos mantiene las propiedades iniciales del mango manila fresco cortado siendo reflejado sobre los valores de C^* .

Existió un retraso en la pérdida de calidad de los mangos manila recién cortados, de igual forma el recubrimiento promovió aumento significativo en antioxidantes ya que los recubrimientos de polisacáridos, nanocápsulas, sorbitol y cloruro de calcio son buenos para controlar la barrera de vapor por lo que existe una disminución de la tasa de respiración y en consecuencia las actividades metabólicas se retrasan. Según Chiumarelli y col (2011) el uso de polisacáridos y antioxidantes en recubrimientos comestibles conservar el color del mango Tommy atkins fresco cortado manteniendo la L^* y C^* de los mangos.

Aunque los valores de los tratamientos con nanocápsulas son pequeños para dar cualquier cambio en la apariencia con respecto al croma el análisis estadístico mostró cambio significativo desde el día tres de almacenamiento. En la Figura 3. 21 se muestra que en el día dieciocho el CaCl_2 presenta diferencias significativas en cuanto al C^* del mismo modo la cromaticidad del mango manila va a depender de la interacción del CaCl_2 con el tipo de polisacárido. En donde los tratamientos elaborados con CMC mantuvieron el C^* del mango, sin embargo, la goma xantana presentó valores más altos de cromaticidad de 5- 8 unidades. Al comparar NC + CMC + 1% Sorbitol (R_1) con NC + GX + 1 % Sorbitol (R_6), NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl_2 (R_2) con NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl_2 (R_7), NC + CMC + 2% Sorbitol (R_3) con NC + GX + 2% Sorbitol (R_8) y NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl_2 (R_4) con NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl_2 (R_9) se puede observar que los tratamientos con goma xanta muestran los valores más altos de C^* .

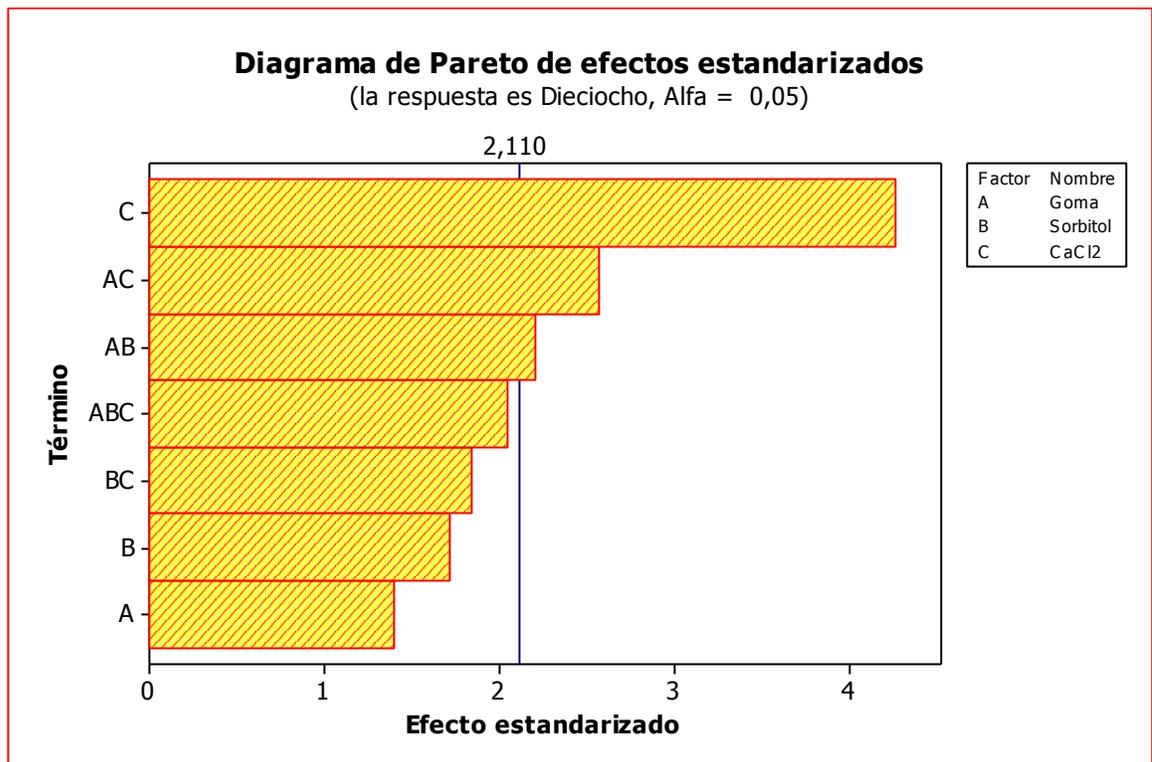


Figura 3. 21 Diagrama Pareto para Croma del mango manila fresco cortado en el día dieciocho de almacenamiento.

3.3.2.4 Delta E

La Figura 3. 22 muestra el delta E (ΔE) el cual indica la diferencia entre dos muestras ya que el mango manila fresco cortado presentó esta diferencia de color a lo largo del tiempo de almacenamiento. Dado que el tiempo de almacenamiento es considerado un factor limitante en la vida útil de las frutas frescas cortadas, el valor de L^* disminuye pronunciadamente durante el tiempo de almacenamiento debido al oscurecimiento causado por el daño al tejido ya sea como resultado de la actividad enzimática o por el aumento en las concentraciones de los pigmentos, de la misma manera disminuye b^* y los valores de a^* aumentan viéndose reflejado en el ΔE .

En la Figura 3. 22 se observa que el mango manila control (A) y los tratamientos GX con $CaCl_2$ (B) y CMC con $CaCl_2$ (C) los cuales mostraron el mayor ΔE a partir del día tres en cuanto al cambio de color, mientras los tratamientos D y N no rebasaron las 5 unidades de ΔE lo cual en un material biológico como es el mango manila representa una buena aceptación para el producto (Di Rienzo y col., 2008).

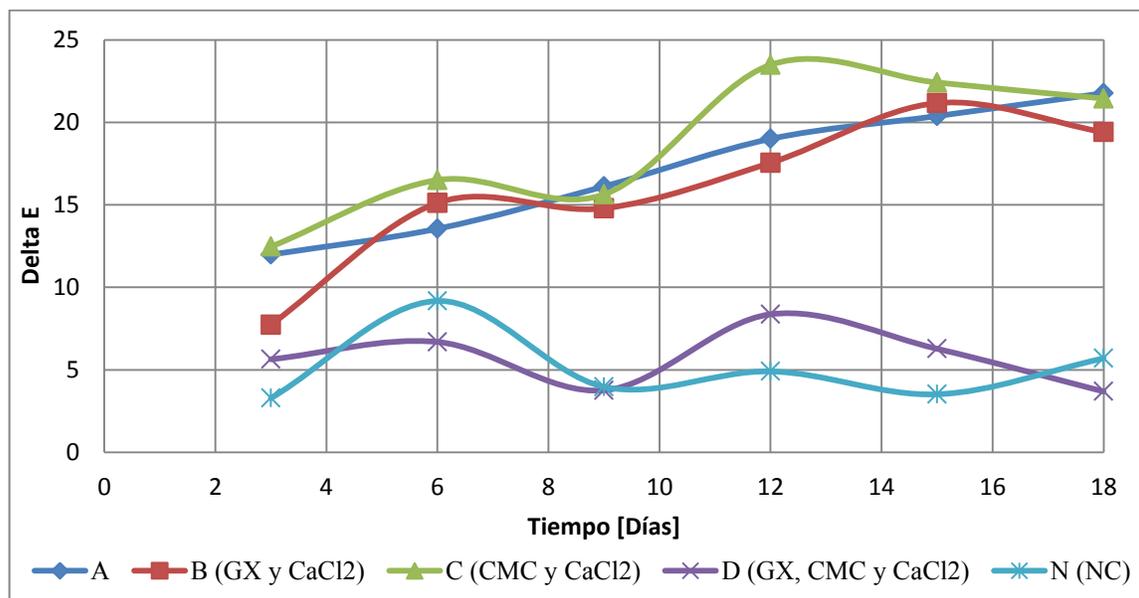


Figura 3. 22 Delta E del mango manila de los tratamientos A, B, C, D y N durante el almacenamiento.

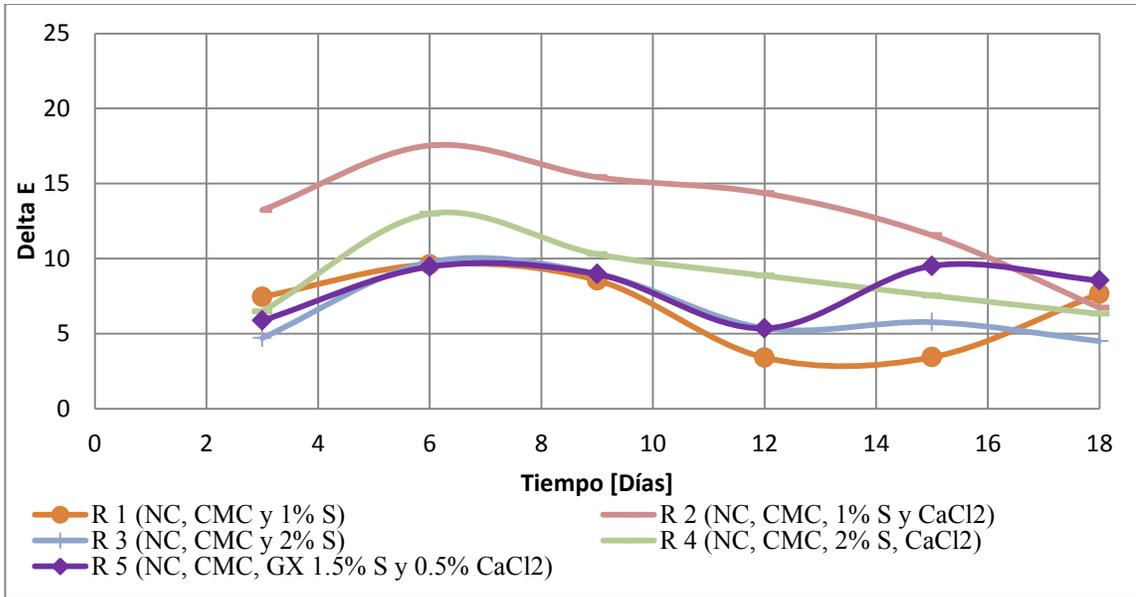


Figura 3. 23 Delta E del mango manila de los tratamientos a base de CMC durante el almacenamiento.

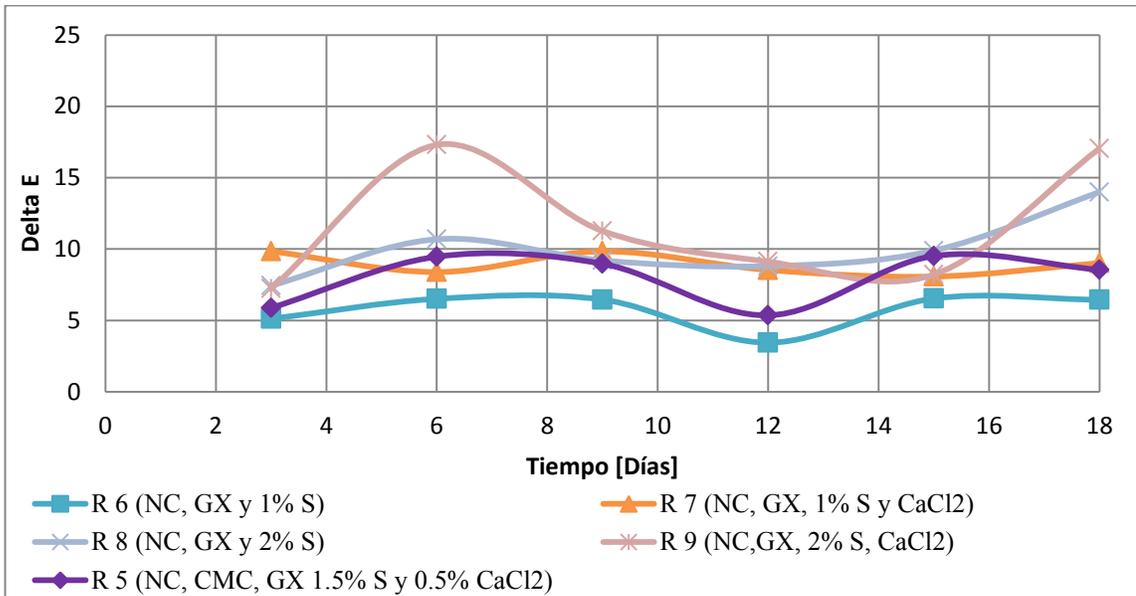


Figura 3. 24 Delta E del mango manila de los tratamientos a base de goma xantana durante el almacenamiento.

La Figura 3. 23 y la Figura 3. 24 se puede observar como la incorporación de nanocápsulas con β -caroteno en los tratamientos a los mangos permitió que el ΔE mantuviera una variación menor durante el almacenamiento lo que repercutió en una mejor calidad visual. Ya que el empleo de los recubrimientos con nanocápsulas promovió el mantenimiento de luminosidad, a^* , b^* , cromas y tonalidad de ángulo debido a un efecto indirecto sobre la actividad de la PFO donde el β -caroteno reduce las o-quinonas inhibiendo el oscurecimiento, el desarrollo de oscurecimiento en los mangos frescos cortados en los tratamientos R₁ –R₉ es tribuido al tipo de polisacárido empleado como base para el recubrimiento.

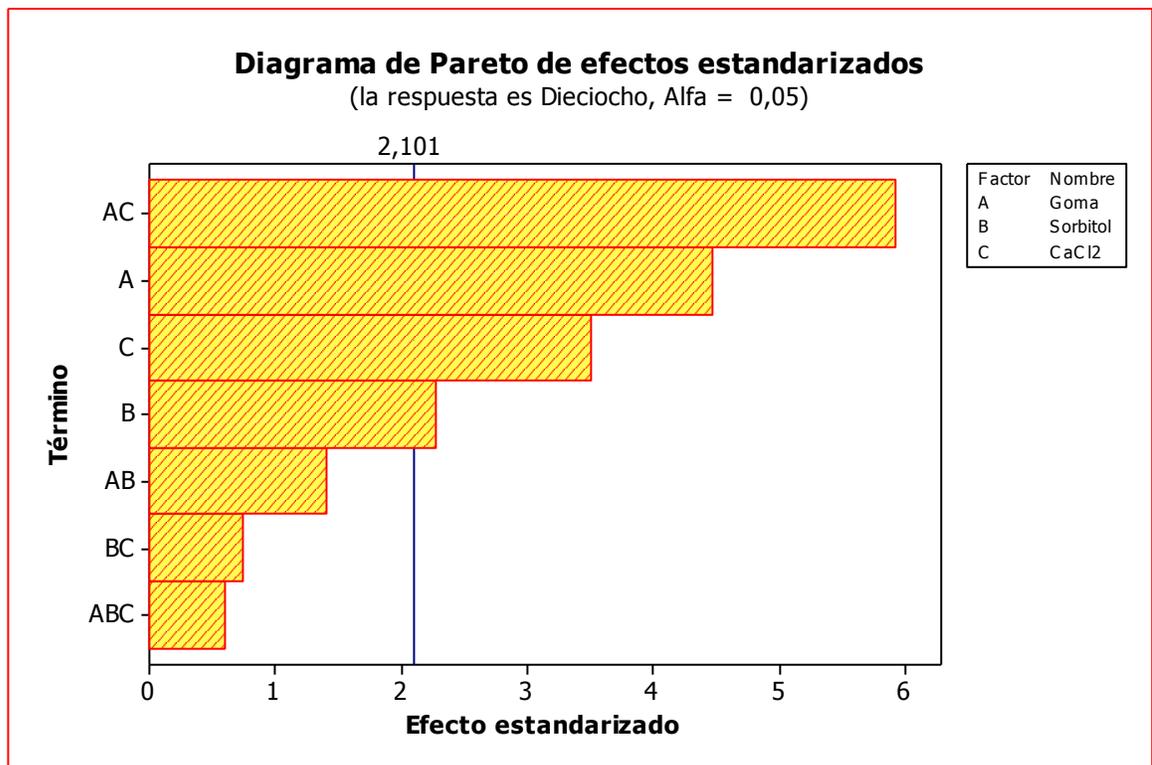


Figura 3. 25 Diagrama Pareto para Delta E en mango manila para el día dieciocho.

La Figura 3. 25 indica que tipo de polisacárido al igual que la concentración de CaCl₂ empleado para el recubrimiento muestran diferencias significativas en cuanto al ΔE del mango manila en el día dieciocho, estas diferencias se presentan a partir del día seis, sin embargo, se muestra únicamente el día dieciocho debido a que es el que muestra mayor

diferencia significativa a comparación de los días seis, nueve, doce y quince. Lo que indica que el tiempo de almacenamiento es un factor limitante en los frutos frescos cortados.

La Figura 3. 23 y la Figura 3. 24 muestran como el tipo de polisacárido empleado en cada tratamiento va a conferirle distintos cambios en la apariencia del mango manila, en donde los tratamientos a base de CMC mostrados en la Figura 3. 23 presentan un mayor ΔE con respecto al tiempo en comparación con los tratamientos a base de goma xantana indicados en la Figura 3. 24 los cuales mantienen un menor cambio en el ΔE a través del almacenamiento. Este comportamiento puede explicarse mediante la morfología de la goma xantana ya que las moléculas multitrenzadas forman una varilla rígida en donde la distribución de las moléculas es conforme a la longitud de contorno extendiéndose en la superficie del mango al tener un acomodo al azar este permite una mayor transmisión de luz inhibiendo con ello el oscurecimiento del mango manila.

3.3.3 Evaluación de textura

La apariencia y textura son las dos características fundamentales para determinar la aceptabilidad de la fruta recién cortada, ya que en esencia son cambios son muy fuertemente vinculados a un deterioro del tejido, y como tal se utilizan como medidas de frescura y disminución de la calidad. Para el consumidor la firmeza es el factor que más influye para la sensación en la boca.

La firmeza se determina en gran parte por la anatomía física del tejido, particularmente del tamaño de las células, la forma, el espesor de la pared celular, la fuerza, y la medida de la adherencia de célula a célula. Ya que los frutos frescos cortados son heridos en los tejidos, se deterioran más rápidamente por los diversos procesos de pelado, extracción, picado, cortado, rebanado o troceado. La compartimentación subcelular se interrumpe por las superficies de corte, en donde la mezcla de sustratos y enzimas pueden iniciar reacciones que normalmente no se producen, dando como resultado daños mecánicos en los frutos (Toivonen. &Brummell., 2008).

Estudios de Gonzalez-Aguilera y col., (2008) de firmeza en mango fresco cortado Ataulfo, Kent y Keitt indican una disminución de firmeza durante el almacenamiento a 5 °C ya que la firmeza inicial del mango Ataulfo fue de 7-8 N mientras en los mangos Kent y Keitt fue de 5-6 N, durante los primeros tres días Kent y Keitt mostraron una fuerte reducción de su firmeza (1-3 N) mientras los cubos de Ataulfo tuvieron una disminución de firmeza menos dramática (5-7 N), es debido a la liberación de agua y otros compuestos como consecuencia del proceso de corte, sin embargo, los tres cultivares mantienen un grado significativamente mayor de firmeza durante todo el período de almacenamiento, cuando se compara con las muestras sin tratar. Por otro lado Moalemiyan y col., (2012) estudiaron la firmeza del mango Ataulfo en donde la aplicación de una película comestible mantuvo la firmeza durante el almacenamiento ya que en un principio el mango Ataulfo con y sin tratamiento contaba con una firmeza de 7-8 N para el día cuatro el mango Ataulfo sin tratamiento contaba con una firmeza de 2-3 N, mientras el mango tratado con película comestible alcanzó el día once con una firmeza de 3-4 N.

Los cambios en la firmeza de los mangos son producidos por las pectino-metil-esterasas (PME) que producen la hidrólisis de la pectina, formando metanol y ácido péctico, el cual puede ser despolimerizado por las poligalacturonasas (PG), desestabilizando las estructuras celulares.

Los resultados anteriores indican que el recubrimiento comestible mantiene significativamente la firmeza debido a la reducción (restricción) de la humedad por la pérdida de velocidad de transmisión de vapor de agua de la película y por lo tanto el mantenimiento de la turgencia de la fruta, también la degradación de los componentes responsables de la rigidez estructural de la fruta, principalmente la pectina insoluble y protopectina. Varios tratamientos post-cosecha, como atmósferas modificadas, envasado y recubrimientos de atmósfera modificada, así como el almacenamiento a bajas temperaturas desaceleraron el ablandamiento y dieron lugar a retraso correspondiente tanto de PG y la actividad PE.

La Figura 3. 26 representan la curva fuerza contra tiempo obtenida de la prueba de compresión del tratamiento NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl_2 (R_5) en el día 18 de almacenamiento, la cual presentan un comportamiento de material suave ya que los valores de fuerza máxima (dureza) reportados del mango manila son bajos con respecto a otras frutas.

En la prueba de compresión realizada al mango manila se muestra la fracturabilidad representada por la primera fuerza que aparece en el ciclo de compresión con efecto significativo en el segundo 9 con una carga de 1.5 N, la adhesividad en el segundo 5.5 la cual es el trabajo requerido para quitar la celda de la muestra completamente, también se observa la dureza identificada como la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de compresión del ensayo esta puede ser ubicada en el segundo tres con una carga de 1.7 N. Por otro lado se puede observar el módulo de Young el cual es la pendiente que existe en la primera compresión esta se puede apreciar desde el tiempo cero hasta 0.7 s. De los datos obtenidos los más significativos son la dureza, el porcentaje de deformación y el módulo de Young por lo que estos se discutirán a detalle.

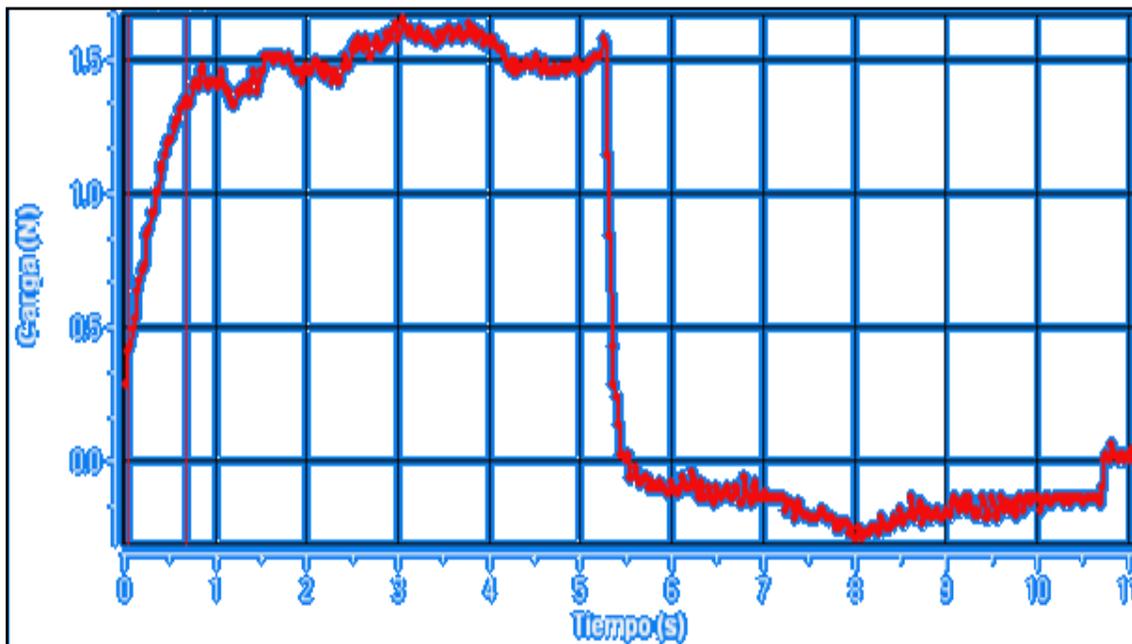


Figura 3. 26 Curva de fuerza contra tiempo del mango manila fresco cortado.

3.3.3.1 Dureza

En la Figura 3. 27, la Figura 3. 28 y la Figura 3. 29 se observa que la dureza va disminuyendo a través del tiempo esto es porque las pectino-metil-esterasas (PME) hidrolizan la pectina del mango, formando metanol y ácido péctico, el cual puede ser despolimerizado por las poligalacturonasas (PG), desestabilizando las estructuras celulares (Chiumarelli y col., 2011; Robles-Sanchez y col., 2009; Siller-Cepeda y col., 2009).

La Figura 3. 27 muestra que los controles A son aquellos que muestran una menor dureza, esto debido a la alta tasa de respiración como se observa en la Figura 3. 6 y en el Cuadro 3. 5 en donde al presentar un alto intercambio de gases éste favorece al metabolismo de las PME por ende una disminución en la dureza del mango manila fresco cortado durante el almacenamiento a 4° C.

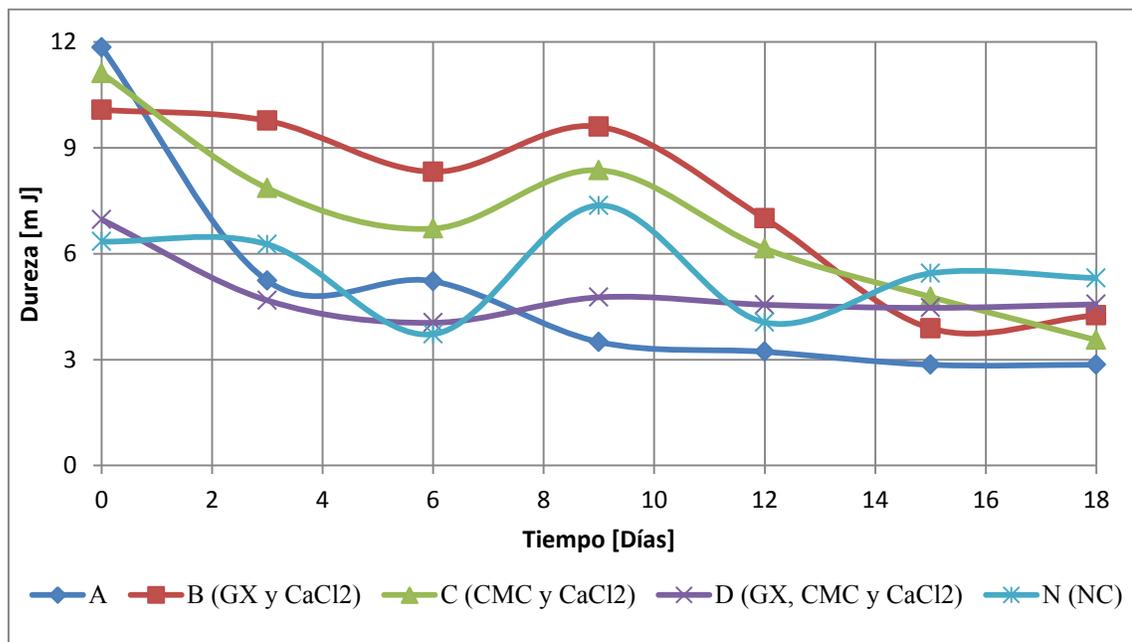


Figura 3. 27 Dureza de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

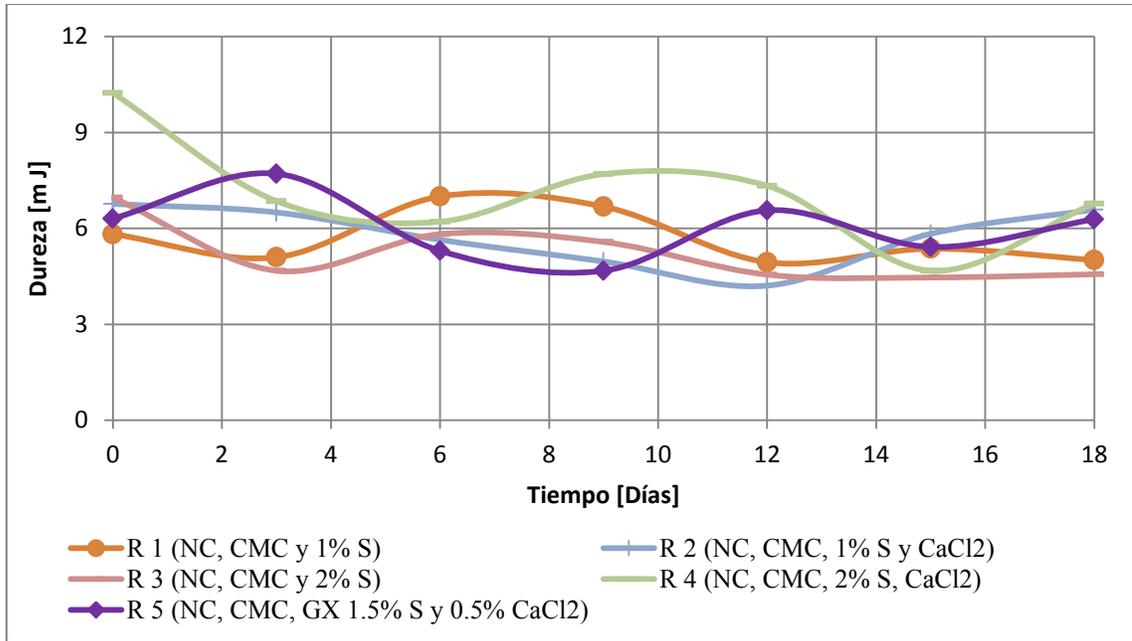


Figura 3. 28 Dureza de los tratamientos a base de CMC de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

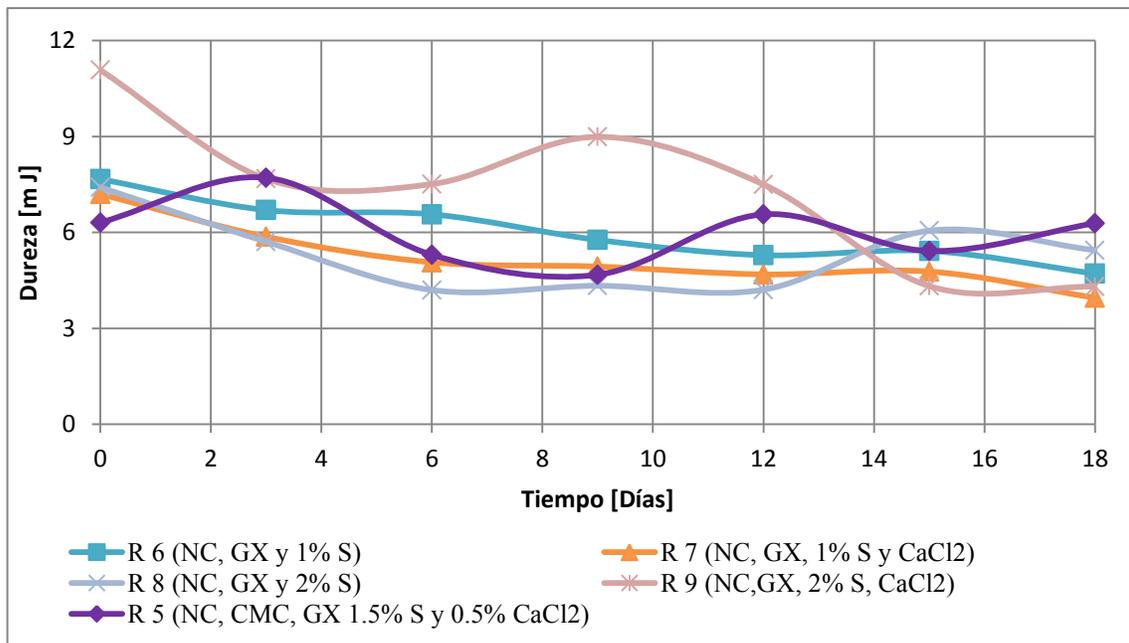


Figura 3. 29 Dureza de los tratamientos a base de goma xantana de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

La Figura 3. 27 muestra los tratamientos GX + CaCl₂ (B) y CMC + CaCl₂ (C) en donde se observa que las propiedades mecánicas del mango manila son mejoradas ya que presentan los niveles más altos de dureza durante los primeros días mostrándose este comportamiento hasta el día doce, los polisacáridos y el CaCl₂ al ser agentes de reticulación modificaron las propiedades mecánicas del recubrimiento, la solubilidad en agua, el contenido de humedad, el espesor del recubrimiento y su capacidad de contener calcio aumentando con ello la capacidad de soportar la tensión mecánica y manipulación durante envasado o almacenamiento (Altenhofen y col., 2009). Por otro lado como se observa en la Figura 3. 6 y el Cuadro 3. 5 indican una alta disponibilidad de oxígeno, sin embargo, de mismo modo se puede observar el Cuadro 3. 1 que los tratamientos B y C presentan no más del $2.37 \pm 1.46 \%$ y $4.75 \pm 2.75 \%$ respectivamente de pérdida de peso esto debido a las propiedades hidrófilas de los polisacárido, sin embargo, la calidad del mango con las formulaciones B y C comienza a disminuir drásticamente a partir del día nueve. En caso de los tratamientos GX + CMC + CaCl₂ (D) y nanocápsulas (N) confirieron una protección buena en cuanto a la dureza ya que esta se mantuvo a lo largo del periodo de almacenamiento disminuyendo como máximo 3 mJ en ambos casos.

En la Figura 3. 28 y la Figura 3. 29 se muestran como los tratamientos adicionados con nanocápsulas mantuvieron casi constante los valores de dureza disminuyendo como máximo $2.5 \text{ mJ} \pm 1.1 \text{ mJ}$ durante el tiempo de almacenamiento a 4 °C. El mantenimiento de la dureza de los recubrimientos con nanocápsulas es generado por la poli-ε-caprolactona (PCL) utilizada para el encapsulamiento del β-caroteno. La PLC es biodegradable y altamente miscible en polímeros, se cristaliza muy fácilmente, presenta muy baja toxicidad y gran permeabilidad mejorando las características de los recubrimientos (Zhou y col., 2008). Sin embargo, ya que es un polímero blando, con alta flexibilidad en la cadena principal, las propiedades mecánicas son pobres y la velocidad de degradación por hidrólisis es muy baja, por el balance hidrófilo / hidrófobo entre éster y grupos metileno (D' Ayala y col., 2009). Al mismo tiempo dicho balance hidrófilo/hidrófobo es que permite la encapsulación de β-caroteno y que las nanocápsulas sean de carácter hidrófobo, éstas al aglomerarse con los polímeros de carácter hidrofílico, disminuyen el área superficial que está en contacto con la superficie para generar estabilidad en el sistema,

permitiendo un adecuado intercambio de gases al recubrimiento, así la capacidad del sistema disperso es mayor durante el almacenamiento. La Figura 3. 30 indica que independientemente que la adición de nanocápsulas mejore las propiedades de barrera de los recubrimientos, estas propiedades van a depender mayormente del tipo de polisacárido empleado y la interacción del polisacárido con el CaCl₂ adicionado a cada tratamiento.

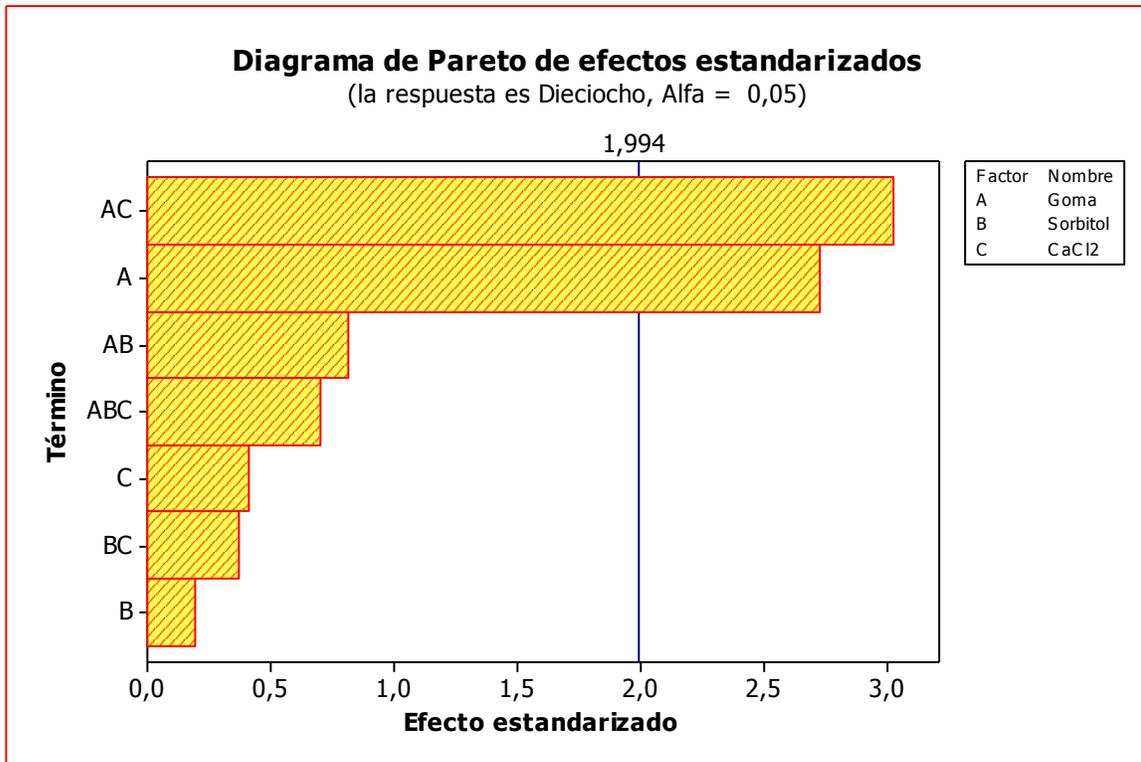


Figura 3. 30 Diagrama Pareto para dureza del mango manila en el día dieciocho de almacenamiento.

Al comparar la Figura 3. 28 y la Figura 3. 29 se puede decir que los tratamientos elaborados a base de CMC mejoraron las propiedades mecánicas del mango manila, esto es debido a la estructura de la CMC y a que el acomodo de las moléculas es de forma uniforme en forma de octaedro y el polímero al interactuar con la PCL, éste genera una cristalización ordenada mejorando las propiedades del recubrimiento. En comparación de una cristalización desordenada como es el caso de la goma xantana permitiendo con ello un mayor intercambio de gases y así mismo un ablandamiento del tejido.

3.3.3.2 Módulo de Young

La Figura 3. 31 muestra el gráfico Esfuerzo-Deformación del mango manila en donde la curva incrementa casi linealmente hasta un valor de fuerza máximo llamado punto de ruptura; esta linealidad indica el módulo de Young. Enseguida del punto de ruptura ocurre la fractura seguida por un decremento en la carga

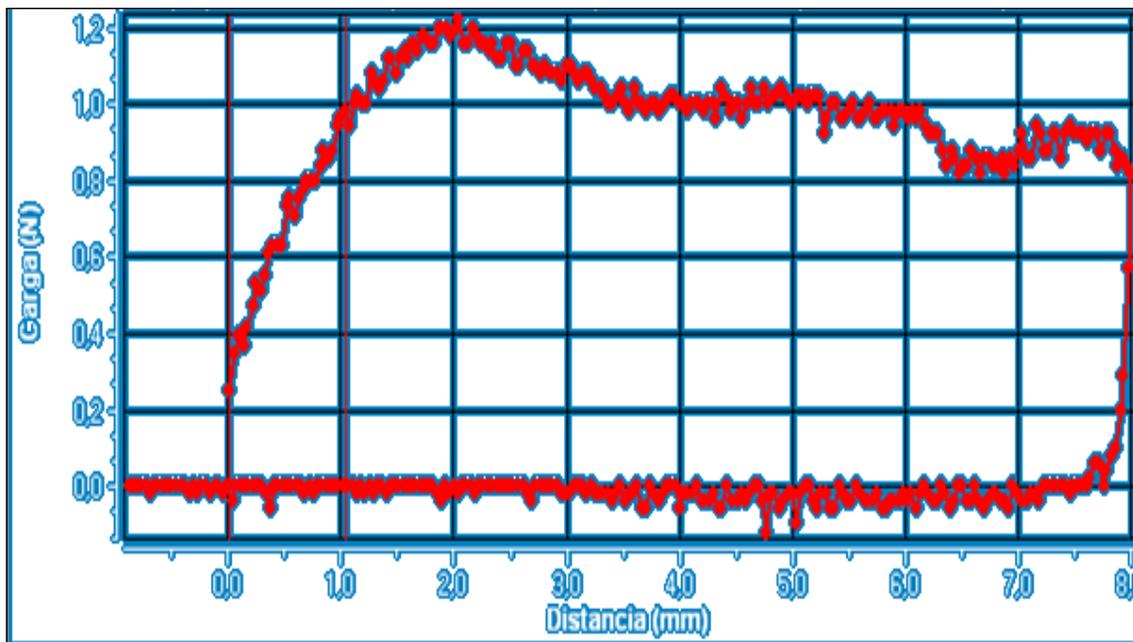


Figura 3. 31 Gráfico esfuerzo distancia del mango manila.

La pérdida de firmeza del mango fresco cortado se va mostrando a lo largo del periodo de almacenamiento, por lo que la disminución de tensión máxima que el mango es capaz de soportar sin mostrar desviación de proporcionalidad de la tensión respecto a la deformación (Módulo de Young) baja con el tiempo de almacenamiento a 4 °C, esto debido al ablandamiento del mango el cual se caracteriza por un aumento en la solubilidad de la pared celular por la degradación de la pectina. Estudios realizados por Moalemiyan y col., (2012) en la pared celular durante la maduración del mango observaron que la actividad de poligalacturonasa (PG), la enzima responsable de la degradación de (1 → 4)-residuos de ácido galacturónico y pectinaesterasa (PE) y a su vez cataliza la desesterificación de

grupos metilo de pectinas ácidas disminuyendo la masa molecular de la pared celular de la hemicelulosa, con ello un decremento en la firmeza del mango.

La Figura 3. 32, la Figura 3. 33 y la Figura 3. 34 indican que la variación del módulo de Young fue mayor en los trozos de mango manila control A, mientras los tratamientos aplicados al mango mostraron una disminución menos drástica del módulo de Young.

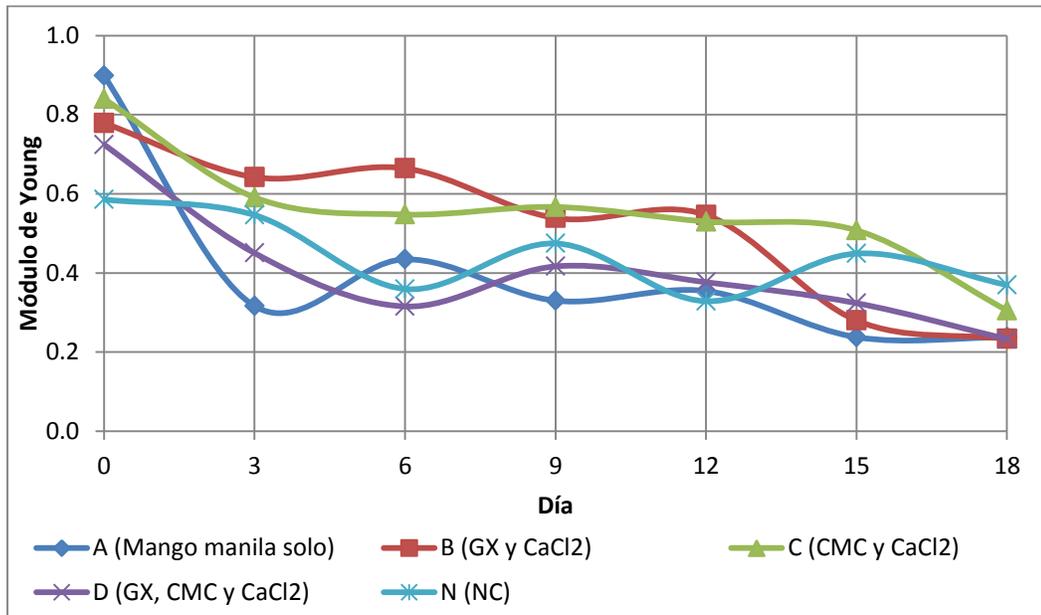


Figura 3. 32 Módulo de Young de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento

La Figura 3. 32 indica que el Módulo de Young disminuye de $0.9 \text{ N/mm} \pm 0.32$ a $0.32 \text{ N/mm} \pm 0.15$ en el tercer día de almacenamiento a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ para el día quince de almacenamiento el esfuerzo-deformación se reduce hasta alcanzar el valor de $0.24 \text{ N/mm} \pm 0.7$ siendo más evidente la ruptura de la pared celular del mango manila ya que estos valores están relacionados con la rigidez de la fruta, por otro lado los tratamientos GX + CaCl₂ (B) y CMC + CaCl₂ (C) ayudaron a mantener los atributos de textura del mango, en donde el tratamiento B muestra los mejores valores de esfuerzo-deformación al ser los valores más altos de módulo de Young de la Figura 3. 32 durante los primeros nueve días,

descendiendo estos valores de esfuerzo deformación a partir del día doce hasta una fuerza aplicada de $0.55 \text{ N/s} \pm 0.23$, para el último día de almacenamiento presentaron $0.24 \text{ N/s} \pm 0.08$ de módulo de Young.

Los tratamientos que presentaron mejores propiedades mecánicas fueron aquellos que contenían como polímero base a la goma xantana, ya que ésta es un heteropolisacárido extracelular de alto peso molecular con celulosa en la columna vertebral, al momento de la refrigeración después de aplicar el recubrimiento las moléculas de la xantana son liberadas para un acomodo molecular debido a una disminución en la temperatura. Durante el tiempo de almacenamiento las cadenas moleculares se mueven libremente hasta que el sistema alcanza la homogeneidad y así formar una red firme debido al enfriamiento mejorando con ello las propiedades mecánicas de los mangos tratados con una base de goma xantana.

La Figura 3. 32 marca que el tratamiento goma xantana más CaCl_2 (B), es aquel que mantiene el módulo de Young durante los primeros doce días, además presenta los valores más altos desde el día tres hasta el día doce, sugiriendo que el uso de la goma xantana ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del mango manila durante el almacenamiento.

También en la Figura 3. 32 se muestran los tratamientos $\text{GX} + \text{CMC} + \text{CaCl}_2$ (D) y nanocápsulas (N) los cuales indican que estos recubrimientos mostraron valores bajos de esfuerzo-deformación del mango manila durante el tiempo de almacenamiento al igual que A apuntando a que estos tratamientos no ayudan a mantener las propiedades mecánicas del mango manila fresco cortado.

La Figura 3. 33 y la Figura 3. 34 muestran los tratamientos con nanocápsulas, polisacáridos, sorbitol y cloruro de calcio los cuales son los que presentan mejores propiedades mecánicas al presentar un esfuerzo-deformación mayor que los controles.

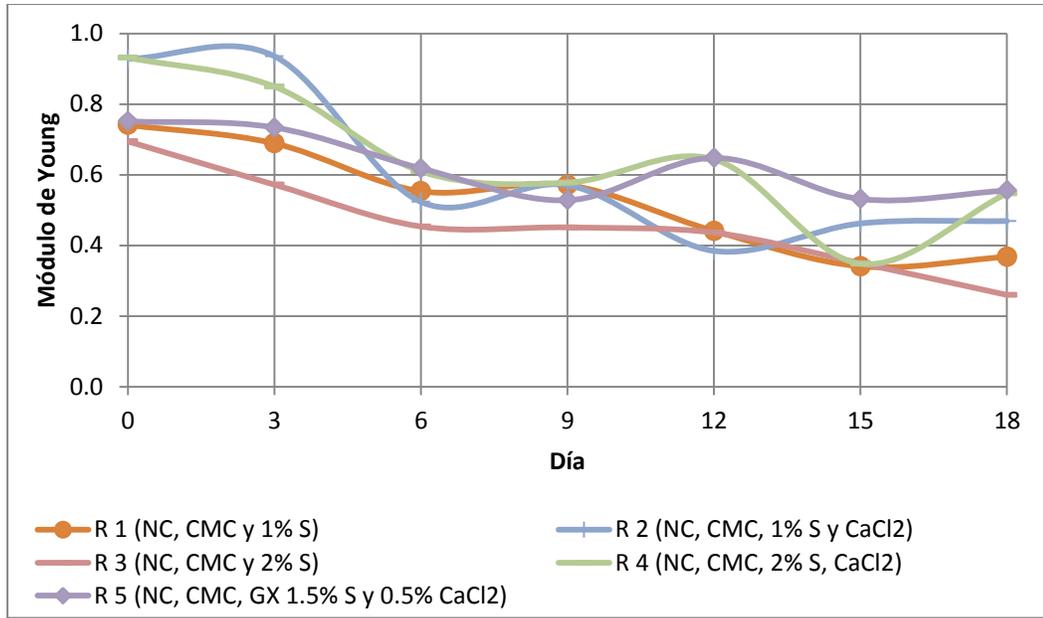


Figura 3. 33 Módulo de Young de los tratamientos a base de CMC de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento

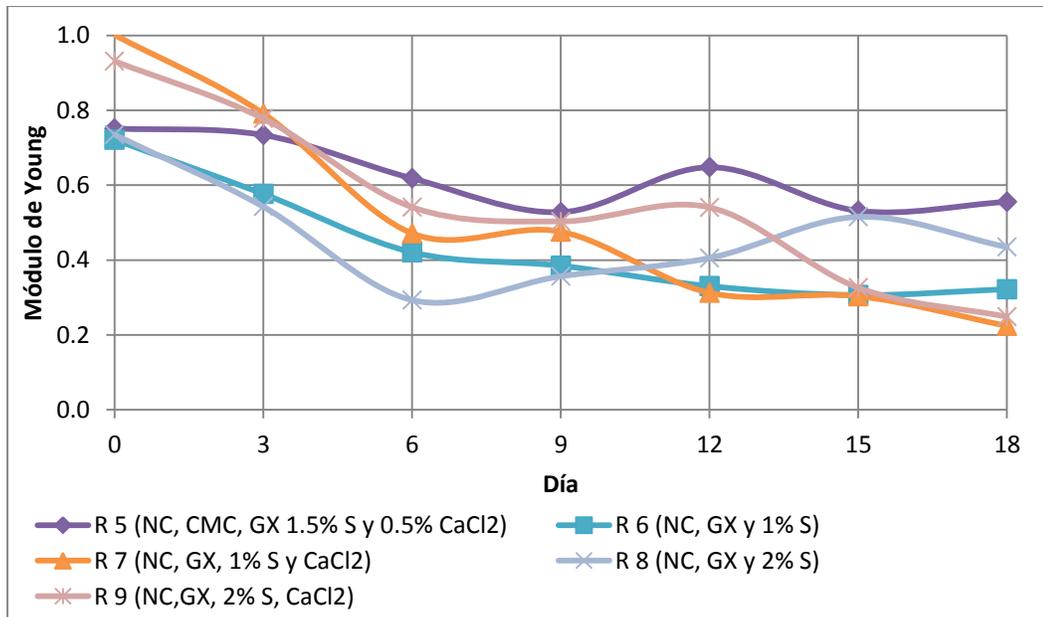


Figura 3. 34 Módulo de Young de los tratamientos a base de goma xantana de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento

En la Figura 3. 33 se muestra el módulo de Young de los tratamientos con nanocápsulas a base de CMC, en donde se observa que los tratamientos que mantienen casi constante el módulo de Young son NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁), NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃) y NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl₂ (R₅), sin embargo, el mejor tratamiento es R₅, ya que el gráfico indica que se aplica una mayor fuerza para alcanzar el punto de ruptura, apuntando a que la pared celular de los mangos manila recubiertos con R₅ presentaron un menor deterioro que los mangos tratados con otras formulaciones. Los tratamientos NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂) y NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄) muestran una tendencia muy similar por lo que CaCl₂ pudo ayudar a la formación de enlaces cruzados de cationes con ácidos pépticos y los polisacáridos, limitando la accesibilidad a la pared celular de las enzimas de degradación (Robles-Sanchez y col., 2009).

La Figura 3. 34 muestra los tratamientos con nanocápsulas, goma xantana, sorbitol y cloruro de calcio en donde se puede observar que en estos tratamientos a pesar de que el módulo de Young se mantiene a través del tiempo de almacenamiento a 4°C estos valores son menores en comparación de los tratamientos a base de CMC mostrados en la Figura 3. 33. Al igual que los tratamientos a base de CMC, los tratamientos NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₇) y NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉) a base de goma xantana muestran una tendencia similar durante el almacenamiento esto es debido a la presencia del calcio, ya que el calcio en el mantenimiento de la rigidez de la fruta al realizar puentes de calcio entre las moléculas de pectina en la pulpa del fruto responsables de la cohesión celular manteniendo con ello la estructura del mango, sin embargo, estos tratamientos no mejoran las propiedades mecánicas solo las mantienen.

La Figura 3. 35 indica que en el día dieciocho de almacenamiento el módulo de Young depende principalmente de la interacción del cloruro de calcio y el tipo de polisacárido empleado. Estudios de Fontes y col. (2008) con manzanas mínimamente procesadas recubiertas con alginato de sodio o almidón de yuca, observaron el endurecimiento del tejido atribuido a las sales de calcio, debido a la formación de iones calcio con la pectina de

la pared celular, los cuales mejoraron de la integridad estructural y promovieron una mayor firmeza de los tejidos, por lo que el CaCl_2 contribuye a mantener el módulo de Young.

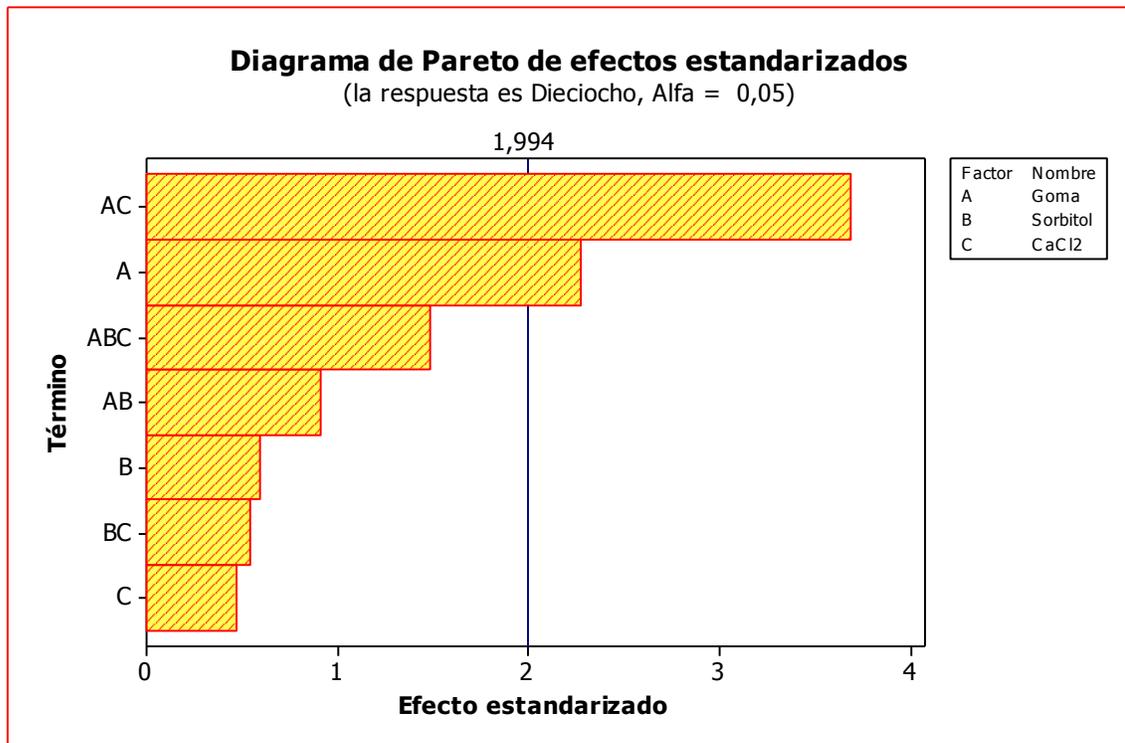


Figura 3. 35 Diagrama Pareto para Módulo de Young de mango manila en el día dieciocho de almacenamiento.

3.3.3.3 Porcentaje de deformación

En la Figura 3. 36, la Figura 3. 37 y la Figura 3. 38 muestran el porcentaje de deformación el cual es el cambio de forma del mango referido a la forma original, el porcentaje de deformación va disminuyendo a lo largo del almacenamiento debido a que las PME y PG causan la degradación de los componentes responsables de la rigidez estructural del mango.

La actividad de estas enzimas se reduce cuando el producto se almacena con un menor contenido de oxígeno, lo que repercute en la retención de agua de las frutas con ello la deformación que pueden sufrir es menor (Chiumarelli y col., 2011), esto se puede

relacionar con el Cuadro 3. 1 y la Figura 3. 36 en donde se observa que los valores de pérdida fisiológica de peso son menores cuando se aplica un recubrimiento al mango manila de igual forma el porcentaje de deformación es menor al aplicar un recubrimiento.

La Figura 3. 36 indica el porcentaje de deformación del mango manila mostrando los mangos control, los cuales mantienen el porcentaje de deformación únicamente los primeros tres días, como ya se había indicado en los distintos parámetros texturales; en donde en el día cero presentó un porcentaje de deformación de 9.5 ± 5.17 , en el día seis fue de 8.8 ± 5.3 , para el día seis se ve evidente la disminución del porcentaje de deformación alcanzando valores de 4.4 ± 1.44 por lo que para este estudio un valor de 4.5 de deformación va a ser indicativo de daño en el tejido del mango manila ya que en el día seis los mangos control ya se mostraban con mala apariencia.

Del mismo modo en la Figura 3. 36 se muestran los tratamientos GX + CaCl₂ (B), CMC + CaCl₂ (C) GX + CMC + CaCl₂ (D) y nanocápsulas (N) los cuales mantienen el porcentaje de deformación, en el caso del tratamiento B disminuye tres unidades durante los primeros seis días con una velocidad de 0.5 unidades por día, sin embargo, después del día seis este tratamiento mantiene las propiedades de deformación del mango, mismo comportamiento ocurre con el tratamiento C con la diferencia de que en los primeros tres días disminuye seis unidades, el tratamiento D muestra mucha variación en el transcurso del almacenamiento, sin embargo, no sobre pasa el valor dado como límite de porcentaje de deformación.

En cuanto el tratamiento N se puede observar que mantiene el porcentaje de deformación durante todo el tiempo de almacenamiento a 4 °C, disminuyendo únicamente 6 unidades durante los 18 días debido a las propiedades conferidas por la PCL, al integrarse con el mango resalta su capacidad como polímero blando con alta flexibilidad de la cadena principal manteniendo la estructura del mango.

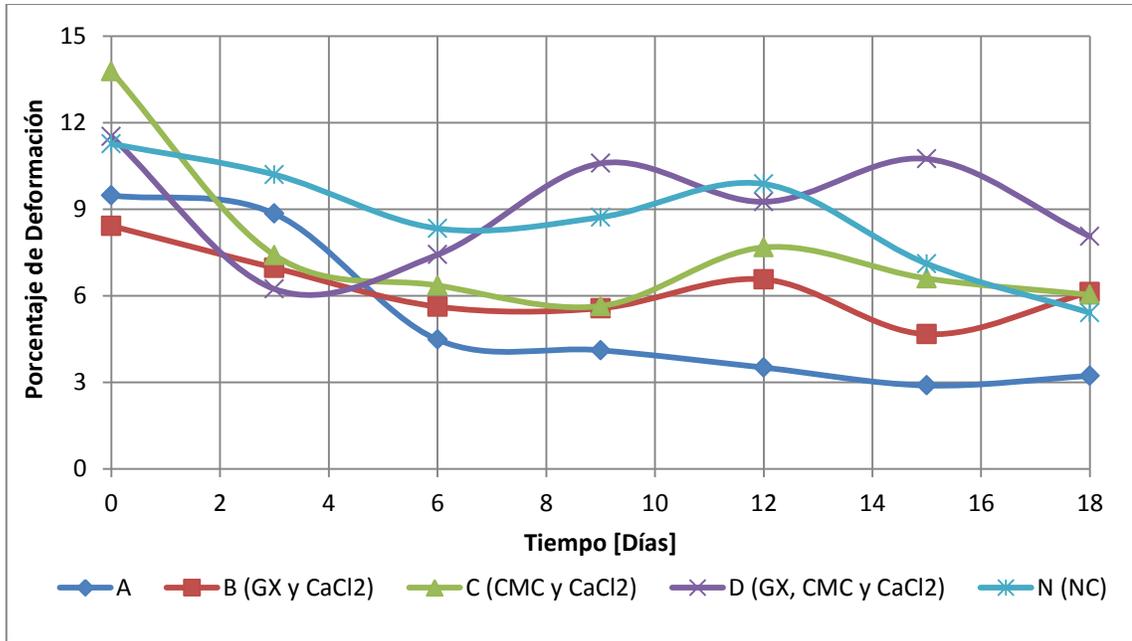


Figura 3. 36 Porcentaje de deformación de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

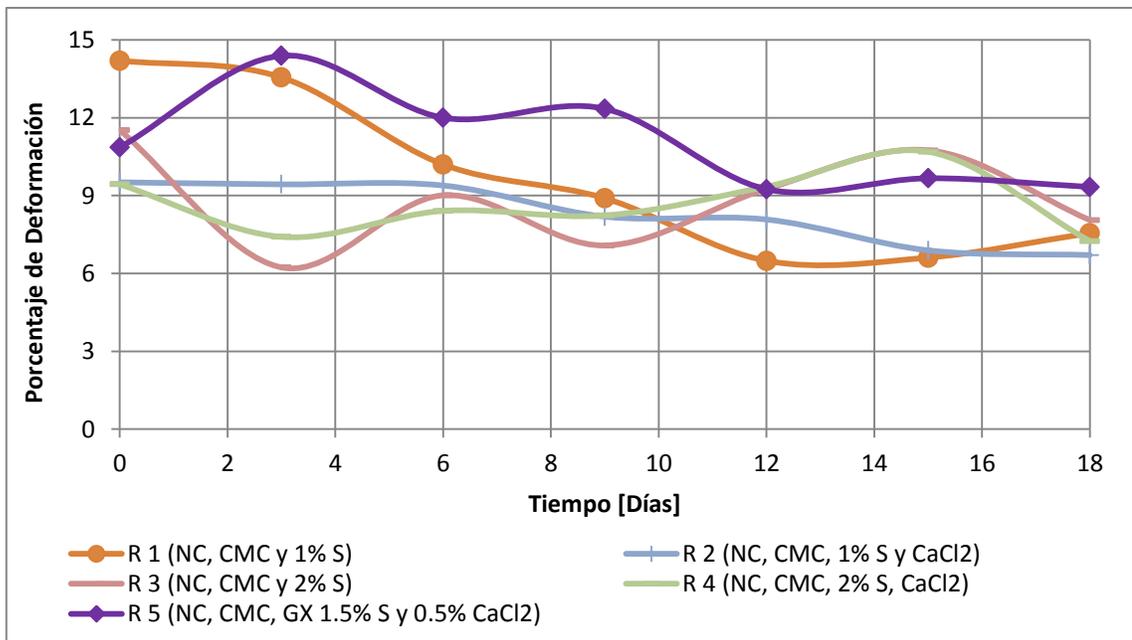


Figura 3. 37 Porcentaje de deformación de los tratamientos a base de CMC de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

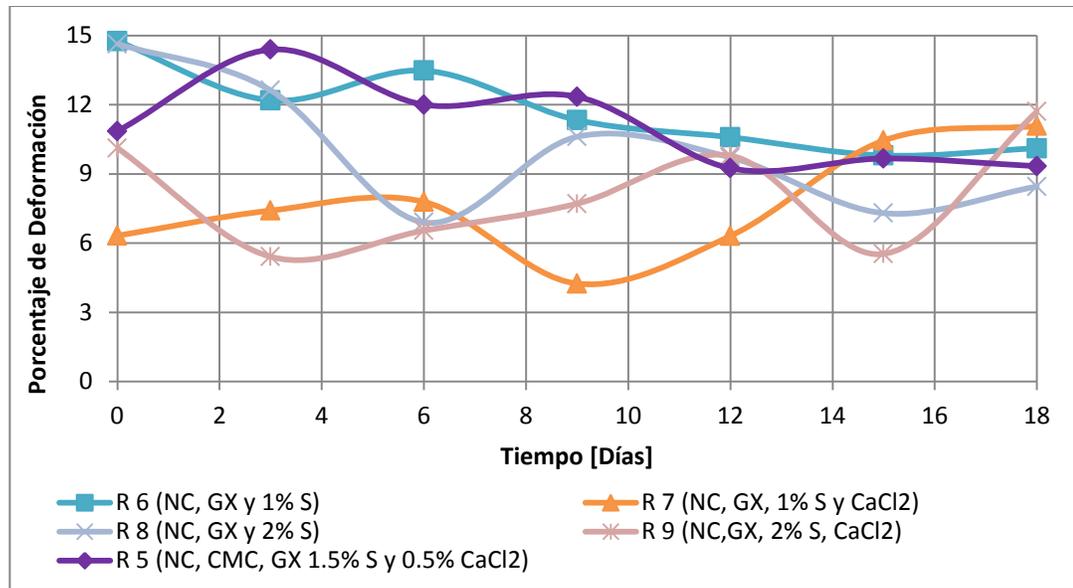


Figura 3. 38 Porcentaje de deformación de los tratamientos a base de goma xantana de mango manila fresco cortado durante el almacenamiento.

La Figura 3. 37 y la Figura 3. 38 muestran que el porcentaje de deformación es mayor que los controles e incluso que los tratamientos B, C y D ya que el uso de nanocápsulas permite una doble barrera semipermeable, debido a la pared de PCL en conjunto con el polímero empleado para cada tratamiento en donde el porcentaje de deformación depende directamente de la capa protectora que confiere cada tratamiento. La Figura 3. 37 indica los tratamientos realizados a base de CMC en donde NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂) y NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄) destacan como el segundo y tercer mejor tratamiento para mantener la dureza seguido de NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁) y posteriormente NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃). El mejor tratamiento es para NC + CMC, + GX + 1.5% de sorbitol + 0.5% de CaCl₂ (R₅), en donde una interacción de polisacáridos mejoraron las propiedades mecánicas de los trozos de mango manila.

La Figura 3. 38 muestra los tratamientos a base de goma xantana en donde la doble barrera que se formó fue menos efectiva que la doble barrera formada por los tratamientos de CMC ya que muestra una mayor ruptura del tejido debido a que el proceso de respiración no fue controlado tan bien como en el caso de los tratamientos con CMC de base. Sin

embargo, el tratamiento NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆) puede competir con las propiedades mecánicas del tratamiento R₅ ya que presenta altos valores de porcentaje de deformación, disminuyendo únicamente 6 unidades durante el transcurso del almacenamiento.

Por otro lado la adición de CaCl₂ a los tratamientos a base de goma xantana ayudan a la estructura del mango manila observándose en los tratamientos NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₇) y NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉), se menciona esto ya que se puede observar que el porcentaje de deformación de los tratamientos R₇ y R₉ es baja desde el día cero por lo que la presencia del calcio mantiene la cohesión celular del mango de la pared celular manteniendo con ello la estructura del mango manila y así mejorando las propiedades mecánicas.

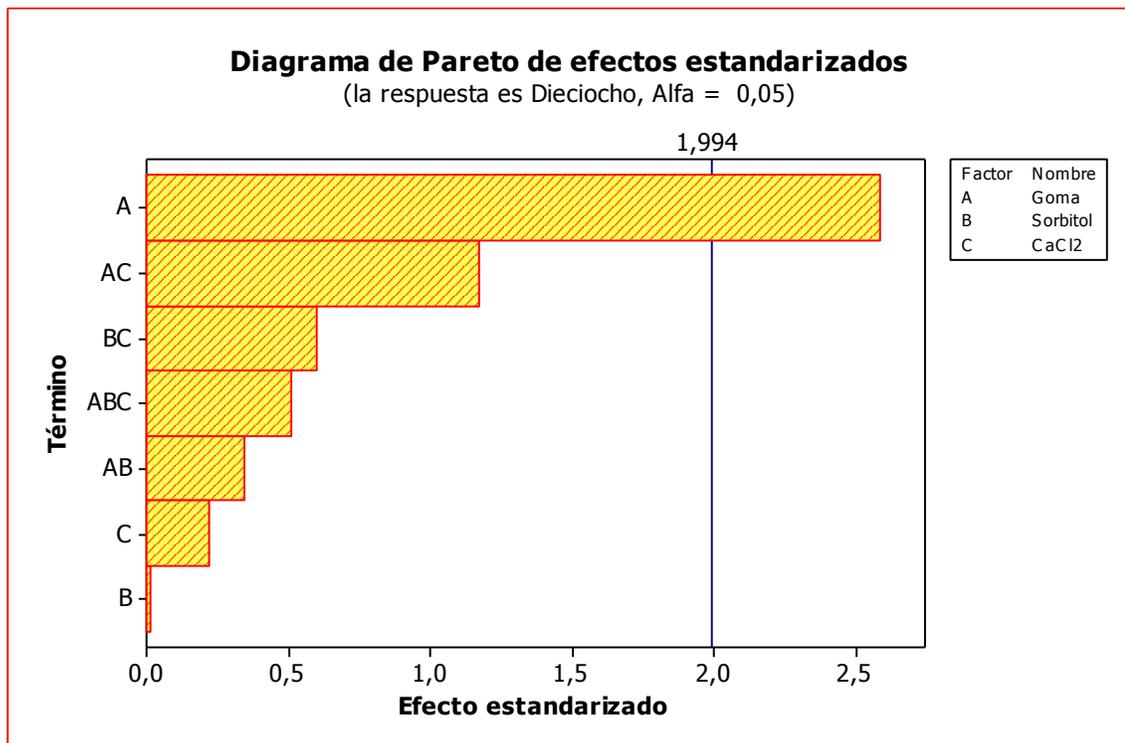


Figura 3. 39 Diagrama Pareto para porcentaje de deformación de mango manila en el día dieciocho de almacenamiento.

La Figura 3. 39 indica que el porcentaje de deformación depende del tipo de polisacárido empleado en los tratamientos con nanocápsulas lo cual se puede ver en la Figura 3. 37 y la Figura 3. 38, en donde se denota que el componente que presenta mayores diferencias es el tipo de polisacárido base empleado en cada recubrimiento, debido a que dependiendo de éste va a ser la interacción con las nanocápsulas en específico de la PCL ya que el balance hidrófilo / hidrófobo entre éste y grupos metileno va a depender de los enlaces que tenga cada polímero dentro de su estructura.

3.3.4 Liberación de β -caroteno

Elaboración de curva patrón del β – caroteno

Ya que es necesario conocer las concentración de β -caroteno nanoencapsulado en diferentes soluciones, se realizó una curva en base a la absorbancia del β -caroteno (460 nm) con un espectrofotómetro, Thermo Scientific (Modelo GENESYS 10s UV-VIS, USA).

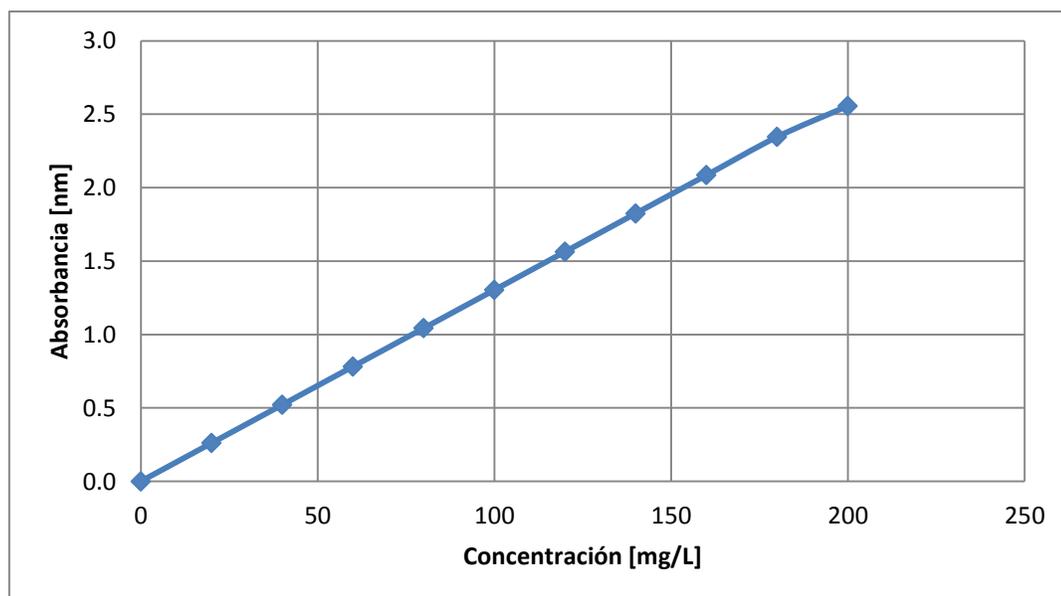


Figura 3. 40 Curva de concentración vs absorbancia del β – Caroteno

La relación de la concentración en función de la absorbancia se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Concentración de } \beta\text{-caroteno [mg/L]} = \frac{A}{1.303 \times 10^{-2}} \quad R^2 = 0.9995$$

En la Figura 3. 41, Figura 3. 42 y Figura 3. 43 se muestra la liberación de β -caroteno en función del tiempo de almacenamiento del mango manila, en la cual se puede observar que dentro de los primeros seis días la cantidad liberada de β -caroteno depende del tipo recubrimiento empleado.

Con el transcurso del tiempo en el día tres y seis se observa una disminución en la velocidad de liberación de β -caroteno la cual puede ser explicada por el decremento en el gradiente de concentración del β -caroteno que se genera en el interior de la nanocápsula y la base del recubrimiento siendo el caso de los tratamientos con nanocápsulas (N, R₁-R₉), del mismo modo los tratamientos sin nanocápsulas tuvieron una disminución en el contenido de β -caroteno del mango manila ya que el β -caroteno cuantificado de estos tratamientos (A, B, C y D) era el liberado de la fruta, atribuido al metabolismo natural del mango ya que los niveles de β -caroteno dependen de tiempo de almacenamiento disminuyendo gradualmente a lo largo del período de almacenamiento a 4 ° C .

Para el día nueve se presentó una tendencia a igualarse la liberación de β -caroteno hasta el día dieciocho para todos los recubrimientos, sugiriendo que la protección brindada por la poli- ϵ -caprolactona (PCL) formadora de la membrana polimérica en conjunto del tipo de polisacárido empleado proporcionaron mayor rigidez a la pared formada impidiendo la liberación del β -caroteno de la matriz polimérica, sin embargo, ya que no todas las caras del mango estaban recubiertas debido al corte realizado para la técnica de liberación se cuantifico el β -caroteno del mango manila. Los tratamientos sin nanocápsulas muestran un comportamiento similar al mango con nanocápsulas ya que el β -caroteno cuantificado era el del mango manila al no adicionar una protección extra este se perdió en los primeros días de almacenamiento (Chávez y col., 2002; Galindo y col., 2010).

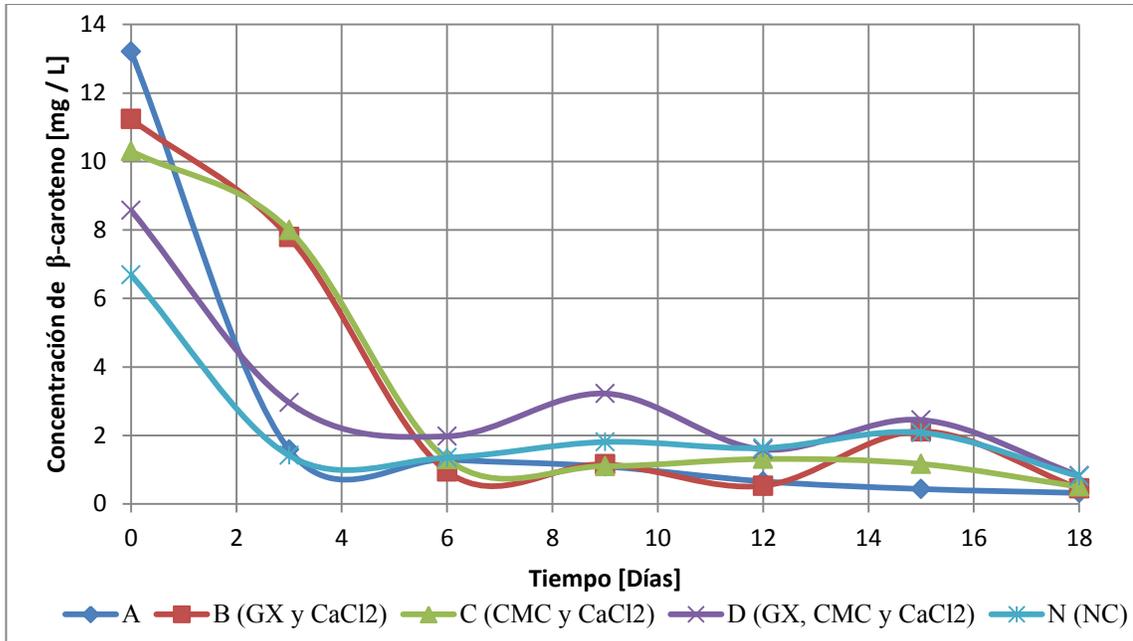


Figura 3. 41 Liberación de β -caroteno de los tratamientos A, B, C, D y N de mango manila.

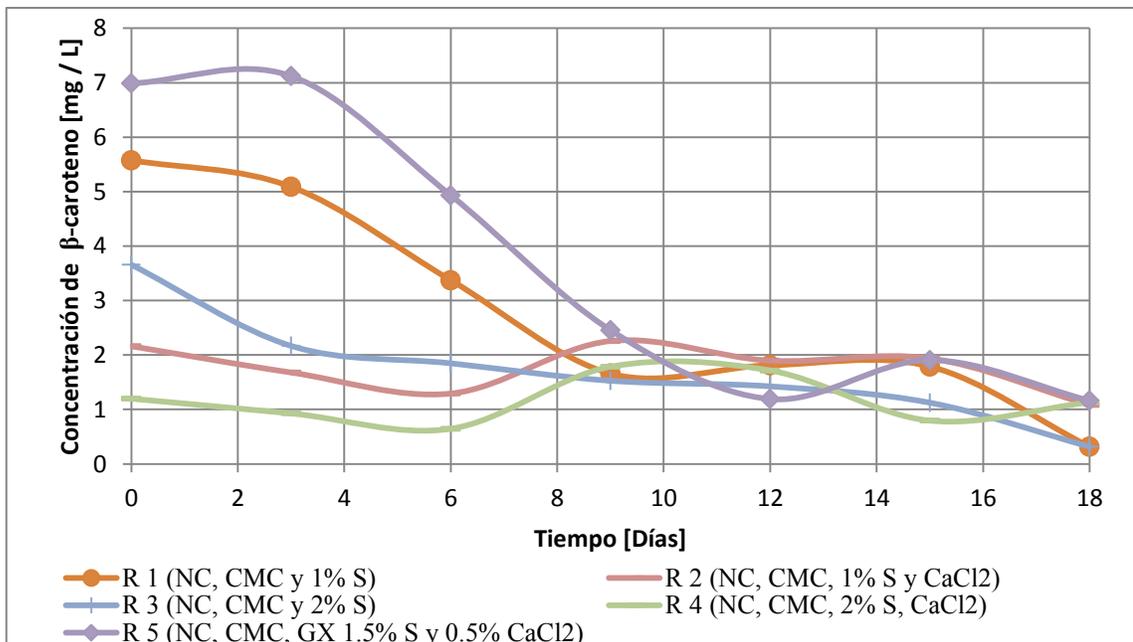


Figura 3. 42 Liberación de β -caroteno de recubrimientos con CMC como polímero base del mango manila.

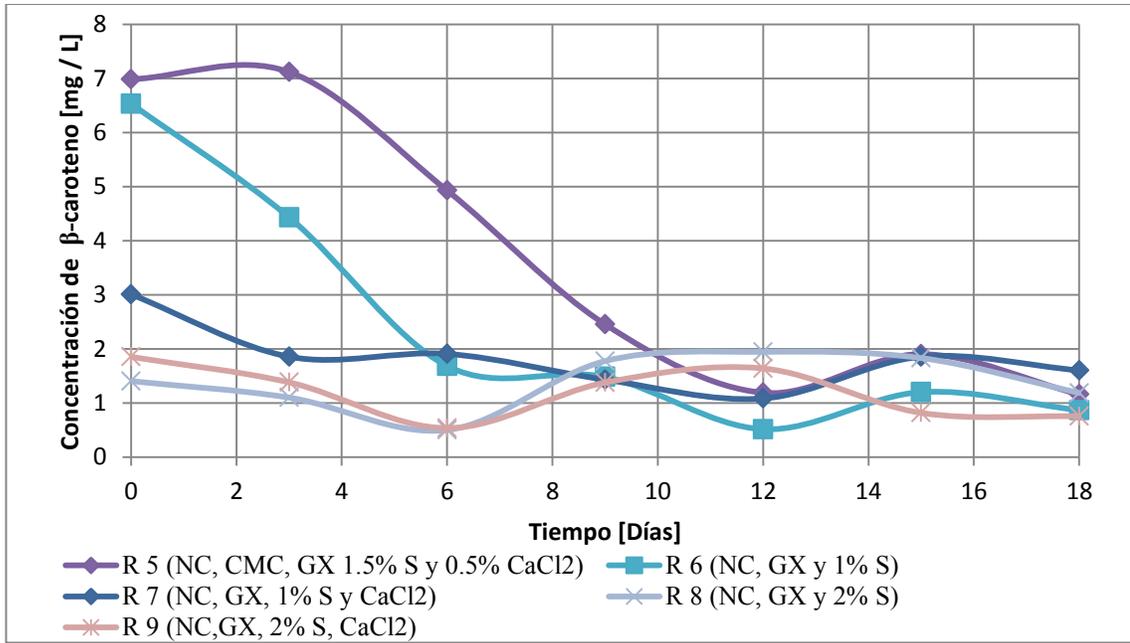


Figura 3. 43 Liberación de β -caroteno de recubrimientos con Goma Xantana como polímero base del mango manila.

La Figura 3. 41 indica que el control A en el día cero fue aquel que presentó una mayor liberación de β -caroteno con una extracción de $13.21 \text{ mg/L} \pm 0.58$, esta extracción debió presentar valores bajos de β -caroteno ya que que no se agregaron nanocápsulas a este control.

La técnica para la cuantificación de la liberación del agente activo de la nanocápsula indica que es necesario un movimiento mecánico constante, sin embargo, en los días cero y tres de la experimentación de los recubrimientos control mostraron alto daño mecánico, resultado de agitaciones inadecuadas durante la ejecución de la técnica. Ya que el β -caroteno se encuentra en el cloroplasto de la célula del mango manila, al existir un choque constante contra el mango, la fuerza mecánica rompió la pared celular y a su vez el cloroplasto del mango manila liberando el β -caroteno; el ciclohexano al ser un disolvente apolar tuvo afinidad química con el β -caroteno al ser liposoluble, por lo que el β -caroteno cuantificado fue el que se encontraba dentro del cloroplasto del mango manila (Gonzalez-Aguilera y col., 2008; Djoua y col., 2010; Robles-Sánchez y col., 2013; Rocha., 2011).

Del mismo modo en los tratamientos GX + CaCl₂ (B), CMC + CaCl₂ (C) y GX + CMC + CaCl₂ (D) se presentó daño mecánico en la extracción del día cero, sin embargo, este tipo de agitación se continuó en los tratamientos B y C para la cuantificación de este en el día tres, por lo que nuevamente los valores obtenidos de liberación fueron del cloroplasto del mango manila. A partir del día seis los valores de liberación de β-caroteno permanecieron casi constantes como debió presentarse desde un principio.

Para el tratamiento que contenía únicamente nanocápsulas (N) se observa que la liberación se presentó dentro de los primeros tres días, ya que al ser de talla submicrónica con pared de PCL y β-caroteno en el centro, la liberación del agente activo se encontró únicamente en función a las propiedades de la pared polimérica de la PCL, su interacción con el mango manila y el medio de almacenamiento. Al ser sistemas biodegradables no requieren de alguna intervención para liberar el agente activo, ya que la liberación es controlada el β-caroteno permite mantener un índice constante de liberación a partir del tercer día desde la matriz insoluble hasta la fase soluble (Rocha., 2011).

En la Figura 3. 42 y Figura 3. 43 se muestran que los tratamientos adicionados con nanocápsulas y polímeros (R₁-R₉) presentan una liberación continua, dado que las nanocápsulas se encuentran distribuidas en los polímeros de CMC, xantana o bien mezcla de ambos, formando una doble barrera semipermeable, que permite que la liberación del β-caroteno sea de forma controlada protegiendo este del medio que lo rodea como la luz, humedad y oxígeno, contribuyendo al incremento de la vida útil del mango (Real., 2013).

Es importante resaltar que a los tratamientos se le adicionaron la misma cantidad de β-caroteno, sin embargo, la liberación del agente activo depende del recubrimiento empleado ya que cada tratamiento desarrolló una barrera semipermeable que interacciona de forma distinta con la nanocapsula de β-caroteno. Para este estudio la mezcla de polisacáridos generó un equilibrio entre los grupos hidroxilo de la PCL y los grupos carbonilo de la CMC y goma xantana al igual que los hidrógenos del CaCl₂, por otro lado el β-caroteno que no fue liberado no contribuye a la conservación del mango manila, sin embargo, este funge

como neutracéutico ya que además del valor nutritivo del mango manila el β -caroteno nanoencapsulado que no se liberó va a proporcionar beneficios para la salud.

La Figura 3. 44 indica que la liberación de β -caroteno en los diferentes tratamientos depende principalmente del tipo de polisacárido empleado en el recubrimiento y su interacción con el CaCl_2 , sin embargo, el tipo de polisacárido de forma individual presenta diferencia significativa con respecto a la liberación de β -caroteno. Ya que las nanocápsulas tenían doble barrera semipermeable por a la pared de PCL de la estructura capsular y el polímero empleado para cada recubrimiento (CMC o goma Xantana), las liberaciones de β -caroteno dependen directamente de la capa protectora que se formó a partir del cada polímero y su interacción con los componentes de los tratamientos.

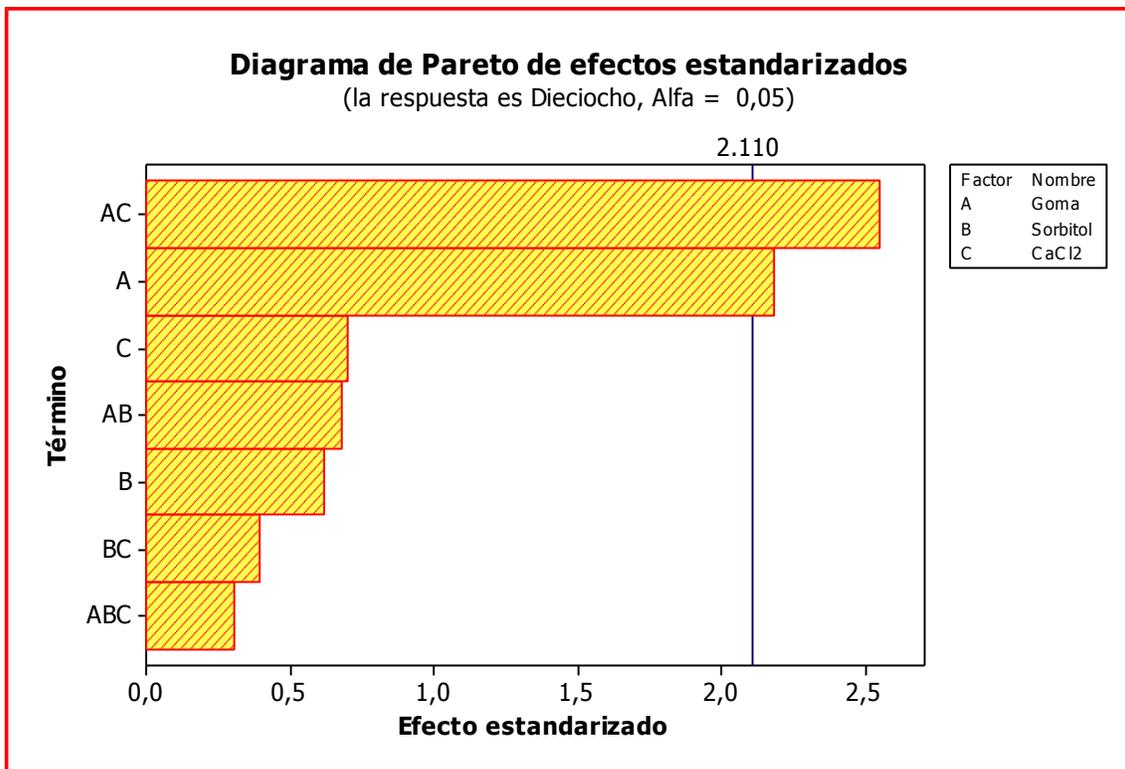


Figura 3. 44 Diagrama Pareto de liberación de β -caroteno en el día dieciocho.

Al comparar los tratamientos NC + CMC + 1% Sorbitol (R₁) y NC + GX + 1 % Sorbitol (R₆) se puede observar que el tratamiento R₁ cuya base es de CMC es mucho mejor que R₆, debido a que presenta mayor liberación del agente activo durante los primeros nueve días, confiriéndole una mayor protección durante al almacenamiento. Al igual que todos los tratamientos en el día cero la liberación de β-caroteno es mayor, sin embargo, al comprar R₁ con R₆, R₁ presentó una mayor liberación tanto en el día cero como en el día tres y seis. En ambos casos el β-caroteno liberado presentó una tendencia a igualarse a partir del día nueve, por lo que se puede decir que el polisacárido empleado y la interacción del polisacárido con el CaCl₂ influyen directamente con la liberación del β-caroteno como se había mencionado.

Del mismo modo los tratamientos NC + CMC + 2% Sorbitol (R₃) y NC + GX + 2% Sorbitol (R₈), el polisacárido base con mejor liberación de β-caroteno es la CMC aunque un incremento de sorbitol disminuyó la liberación de β-caroteno. Con respecto al efecto de plastificación de las moléculas de la goma xantana se puede hacer referencia al impacto de la gran carga negativa que existe en su rígida varilla (Ibrahim, y col., 2011), del mismo modo el plastificante afectan significativamente la tenacidad y la rigidez de los recubrimientos de CMC (Maurer, y col., 2012).

Por otro lado los tratamientos NC + CMC + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₂) y NC + GX + 1% Sorbitol + CaCl₂ (R₇) el polisacárido que muestra una mejor liberación en los días cero y tres es la goma xantana, sin embargo, para el día nueve aunque ya siguen una tendencia constante la CMC presenta una mayor liberación por muy ligera que ésta sea. De igual forma sucede con los tratamientos NC + GX + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₉) y NC + CMC + 2% Sorbitol + CaCl₂ (R₄). La formación del hidrocóide puede explicar porque con CMC se obtienen los mejores tratamientos, ya que las moléculas iniciales se descomponen, y las cadenas empiezan a reorganizarse en la formación del polímero, en donde las moléculas se mueven libremente hasta que el sistema alcanza la homogeneidad en ambos polímeros. Sin embargo, el acomodo de las moléculas de xantana no es uniforme en la superficie (Iijima, y col., 2007), en donde el cambio estructural de la cadena de xantano va cambiando en función al tiempo brindando rigidez al gel (Boateng y col., 2009).

Capítulo III. Resultados

Por otro lado el acomodo de las moléculas de CMC es de forma uniforme debido a la forma de octaedro que adopta el polímero (Ibrahim, y col., 2011).

CONCLUSIONES

La aplicación de diferentes aditivos y concentraciones de los mismos (polisacáridos, plastificantes y/o sales) para la formulación de los recubrimientos afecta de manera significativa a los cambios de calidad del mango manila fresco cortado. El cloruro de calcio mejora los atributos de pH y acidez de los tratamientos con CMC ya que neutraliza los grupos carboxilo del polímero actuando como buffer regulador limitando los cambios de pH y acidez.

La velocidad de respiración se ve afectada ya que al interactuar con el plastificante de los recubrimientos, estos facilitan el intercambio de gases y con ello un aumento en consumo de oxígeno limitando la calidad del producto final. Por otro lado la presencia del sorbitol se denota con mayor intensidad en el consumo de oxígeno y la velocidad de respiración siendo los mejores tratamientos aquellos que presentan una menor cantidad del plastificante o bien el punto central.

Los recubrimientos adicionados con nanocápsulas de β -caroteno regulan el metabolismo del mango manila, presentando mejores resultados ya que aumenta la vida útil tres veces más con respecto a los tratamientos sin nanocápsulas, esta mejoría es evidente al comparar el tratamiento con nanocápsulas más una mezcla de polímeros CMC y goma xantana, sorbitol y cloruro de calcio (R_5) contra los mangos control. Los tratamientos con nanocápsulas y polímeros mantienen la calidad fisiológica y visual del mango manila disminuyendo los cambios indeseables de color y textura.

El empleo de nanocápsulas de β -caroteno en las diferentes bases de polisacáridos de los tratamientos generó un bajo rango de transmisión de oxígeno debido a la formación de una doble barrera semipermeable, la mezcla de polisacáridos como base del tratamiento presentó una mejora en las características del recubrimiento reduciendo mayormente el consumo de oxígeno debido al sinergismo formado por los polisacáridos y las nanocápsulas. Dependiendo del tipo de polisacárido base que se empleó en cada recubrimiento fue él

Conclusiones

consumo de oxígeno y como consecuencia el control de metabolismo fue diferente alargando la vida útil de quince a dieciocho días según el tratamiento empleado.

La aplicación de recubrimientos con nanocápsulas mejoró visualmente la apariencia de los trozos de mango manila desde el día cero, ya que la adición de β -caroteno nanoencapsulado unificó el color de los tratamientos R₁ hasta R₉ y el control N. Del mismo modo al agregar nanocápsulas de β -caroteno el color del mango manila fresco cortado se mantuvo durante el almacenamiento mostrando una menor variación en los parámetros L*, Croma, °Hue y ΔE en comparación con los tratamientos sin nanocápsulas. De los tratamientos adicionados con nanocápsulas los que contenían CMC proporcionaron una mejor protección sobre el oscurecimiento asociado a la actividad polifenoloxidasas, sin embargo, el tratamiento que proporcionó una mejor protección de la enzima es el que contiene una mezcla de polisacáridos (R₅).

Los resultados de compresión indican que los trozos de mango recubiertos adicionados con β -caroteno mantienen significativamente la firmeza debido a la restricción de la humedad, inhibiendo la degradación de los componentes responsables de la rigidez estructural del mango, principalmente la pectina insoluble y protopectina.

La liberación de β -caroteno en los diferentes tratamientos indica que dependiendo del tipo de polisacárido y su interacción con el CaCl₂ va a ser el tipo de liberación que ocurra a lo largo del tiempo, en donde la adición de nanocápsulas permite que los mangos frescos cortados y refrigerados alarguen su vida útil, de igual forma fungen como alimentos neutracéuticos debido a que se encapsuló un ingrediente funcional como lo es el β -caroteno por lo que el mango manila fresco cortado recubierto con nanocápsulas cuenta con un mayor valor nutricional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Altenhofen, M., Krause, A. C., & Guenter, T. (2009). Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca^{+2} ions: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers*, 77, 736-742.
2. Arik Kibar, E. A., & Us, F. (2013). Thermal, mechanical and water adsorption properties of corn starch-carboxymethylcellulose/methylcellulose biodegradable films. *Journal of Food Engineering*, 114(1), 123-131.
3. Baloch, M. K., Bibi, F., & Jilani, M. S. (2013). Effect of coatings over the quality and shelf life of mango (*mangifera indica* L.) fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(1), 66-73.
4. Biswal, D., Singh, R., 2004. Characterisation of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate Polymers* 57, 379–387.
5. Boateng, J. S., Stevens, H. N. E., Eccleston, G. M., Auffret, A. D., Humphrey, M. J., & Matthews, K. H. (2009). Development and mechanical characterization of solvent-cast polymeric films as potential drug delivery systems to mucosal surfaces. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 35(8), 986-996.
6. Bouwmeester, H., Dekkers S., Noordam M.Y., Hagens W.I., Bulder, A. S., Heer, C., Voorde S.E.C.G., Wijnhoven S.W.P., Marvin, H.J.P. & Sips A.J.A.M. (2009). Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 53 (2009), 52–62.
7. Briceño, S., Zambrano, J., Materano, W., Quintero, I & Valera, A. (2005). Calidad de los frutos de mango ‘bocado’, madurados en la planta y fuera de la planta cosechados en madurez fisiológica. *Agronomía Trop.* 55(4): 461-473.
8. Chiumarelli, M., Pereira, L. M., Ferrari, C. C., Sarantópoulos, C. I. G. L., & Hubinger, M. D. (2010). Cassava starch coating and citric acid to preserve quality parameters of fresh-cut "tommy atkins" mango. *Journal of Food Science*, 75(5), E297-E304.
9. Chiumarelli, M., Pereira, L. M., Ferrari, C. C., Sarantópoulos, C. I. G. L., & 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 (2011) 381–387.
10. Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz-Romero, M., & Cummins, E. (2012). Nanotechnologies in the food industry - recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science and Technology*, 24(1), 30-46.
 11. De Ayala, G. G., Di Pacea, E., Laurienzoa, P., Pantalena D., Somma E. & Nobile M.R. (2009). Poly(ϵ -caprolactone) modified by functional groups: Preparation and chemical–physical investigation. *European Polymer Journal* 45 (2009) 3217–3229.
 12. Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Díaz M.P., Robledo, C. W. & Balzarini M. G. (2008). “Estadística para ciencias agropecuarias”. Editorial Brujas 7ma edición. Córdoba, Argentina.
 13. Djioua, T., Charles, F., Freire Jr., M., Filgueiras, H., Ducamp-Collin, M. -, & Sallanon, H. (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), 849-855.
 14. Dong, X., Wrolstad, R.E. & Sugar, D., 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears. *Journal of Food Science*. 65, 181–186.
 15. Ducamp-Collin, M. -, Reynes, M., Lebrun, M., & Freire, M. (2009). Fresh cut mango fruits: Evaluation of edible coatings
 16. Duncan, T. V., (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*. 363 (2011), 1–24.
 17. Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A. & Ibarza. A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22 (2011) 292e303.
 18. Fennema, O.R. (2000). “Química de los alimentos”. Editorial Acriba 2da edición. Zaragoza, España.
 19. Figueroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R., & Narvaez, G., (2011). Edible coatings in the conservation of mango and avocado, and perspective to use in the formulation propolis. *Rev. Colombiana cienc. Anim.* 3(2).

20. Fleet, G. (1999). Microorganisms in food ecosystems. *International Journal of Food Microbiology*. 50:101-117.
21. Fonseca, S., Oliveira, F. & Brecht, J. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages. *Journal of Food Engineering*. (52) 99-119.
22. Galindo Pérez, M. J. (2011). Influencia del tamaño de partículas coloidales de α -tocoferol sobre la actividad polifenoloxidasas, aplicadas en la manzana "Red Delicios" cortada-refrigerada. México: Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
23. Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296.
24. Gonzalez-Aguilar, G. A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R. R., De La Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2008). Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 91-101.
25. Gregorio Luna Esquivel, Ma. de Lourdes Arévalo Galarza, Socorro Anaya Rosales, Ángel Villegas Monter, Marcelo Acosta Ramos, Gabriel Leyva Ruelas. Calidad de mango 'ataulfo' sometido a tratamiento hidrotérmico *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29, (Es2), 123-128.
26. Guillard, V., Issoufov, V., Redl, A., & Gontard, N. (2009). Food preservative content reduction by controlling sorbic acid release from a superficial coating. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(1), 108-115.
27. Gutierrez, B., Cruz, J., Parkin, K. & Galindo, H. (1996). Effect of refrigerated storage on manila mangoes (*Mangifera indica L.*) after hydrothermal treatment. *Acta. Hort.* 455:679-686.
28. Ibrahim, A. A., Adel, A. M., El-Wahab, Z. H. A., & Al-Shemy, M. T. (2011). Utilization of carboxymethyl cellulose based on bean hulls as chelating agent. synthesis, characterization and biological activity. *Carbohydrate Polymers*, 83(1), 94-115.

29. Iijima, M., Shinozaki, M., Hatakeyama, T., Takahashi, M., & Hatakeyama, H. (2007). AFM studies on gelation mechanism of xanthan gum hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 68(4), 701-707. Retrieved from www.scopus.com
30. Janick, J. & Paul, R. (2008). *The Encyclopedia of fruits and nuts*. Cambridge University Press. United Kingdom, pp16.
31. Kim, Y., Lounds-Singleton, A.J., Talcott, S.T., 2009. Antioxidant phytochemical and quality changes associated with hot water immersion treatment of mangoes (*Mangifera indica L.*). *Food Chem.* 115, 989–993.
32. Li H., Chenb R., Lua X. & Houa W.(2012) Rheological properties of aqueous solution containing xanthan gum and cationic cellulose JR400. *Carbohydrate Polymers*, 90 (2012) 1330– 1336.
33. Liu, H., Chen, F., Yang, H., Yao, Y., Gong, X., Xin, Y., & Ding, C. (2009). Effect of calcium treatment on nanostructure of chelate-soluble pectin and physicochemical and textural properties of apricot fruits. *Food Research International*, 42(8), 1131-1140.
34. Lu, Z., Zhang, J., Ma, Y., Song, S. & Gu, W. (2012). Biomimetic mineralization of calcium carbonate/carboxymethylcellulose microspheres for lysozyme immobilization. *Materials Science and Engineering*, 32(7), 11982–1987.
35. Márquez, C. J., Cartagena, V. & Pérez-Gago, M.B. (2009). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (*eriobotryajaponica t.*). *Redalyc-Sistema de Información Científica*, 16 (3):304-310.
36. Marzo Rojas, I. (2010). Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína. España: Tesis, Universidad Pública de Navarra.
37. Maurer, S., Junghans, A., & Vilgis, T. A. (2012). Impact of xanthan gum, sucrose and fructose on the viscoelastic properties of agarose hydrogels. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 298-307.
38. McHugh, T. H., & Krochta, J. M. (1994). Sorbitol- vs glycerol-plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4), 841-845.
39. McMurry, J., *Química Orgánica*, 5ª. Edición, México, Ed. International Thomson Editores, S.A. de C.V., 2001

40. Moalemiyan, M., Ramaswamy, H. S., & Maftoonazad, N. (2012). Pectin-based edible coating for shelf-life extension of ataulfo mango. *Journal of Food Process Engineering*, 35(4),572-600.
41. Mora-Huertas, C. E., Fessi, H., & Elaissari, A. (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 385(1-2), 113-142.
42. Muy, D.R., Siller-Cepeda, J., Díaz-Pérez J & Valdéz-Torres, B. (2004) Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad de mango. *Revista Fitotecnia Mexicana*,. 27(2), 201-209.
43. Narchi, I., C. & Djelvel, G. (2009). Effect of protein-polysaccharide mixtures on the continuous manufacturing of foamed food products. *Food Hydrocolloids*, 23, 188-201.
44. Nongtaodum, S., & Jangchud, A. (2009). Effects of edible chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (fa-lun) during storage. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 43(5 SUPPL.), 282-289.
45. Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148.
46. Ornelas-Paz, J. J., Elhadi, M.Y. & Gardea, A. A. (2008). Changes in external and internal color during postharvest ripening of ‘Manila’ and ‘Ataulfo’ mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography–APCI+–time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology* 50,145-152.
47. Ornelas-Paz, J. J., Elhadi, M.Y. & Gardea-Bejar, A. (2007). Identification and Quantification of Xanthophyll Esters, Carotenes, and Tocopherols in the Fruit of Seven Mexican Mango Cultivars by Liquid Chromatography-Atmospheric Pressure Chemical Ionization-Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55, 6628-6635.
48. Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M. A., Gutierrez-Martinez, P., Robles-Sánchez, M., & González-Aguilar, G. A. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica L.*, cv. ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7-13.

49. Pérez-Gago, M. B., Serra, M., & Río, M. A. D. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 84-92.
50. Pilar, M.; De Ancos, B. and Sánchez-Moreno, C. (2005). Altas presiones. Nueva estrategia para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados. Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas, vegetales frescos cortados. La Habana, Cuba. 1-9.
51. Plotto, A., Narciso, J. A., Rattanapanoneb, N., & Baldwin, E. A. (2010). Surface treatments and coatings to maintain fresh-cut mango quality in storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(13), 2333-2341.
52. Pott, I., Breithaupt, D.E. & Reinhold, C. (2003). Detection of unusual carotenoid esters in fresh mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Kent') *Phytochemistry* 64 825–829.
53. Purwadaria, H. K. (2010). Research and development for quality and safety of fresh and fresh cut produce in indonesia
54. Qi, H., Hu, W., Jiang, A., & Tian, M. (2010). Extending shelf-life of fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, doi:10.1016/j.ifset.2010.11.001.
55. Qinchun, R., Jeancarlo, R., Rocca-Smith, Schoenfuss, T.C. & Labuza, T.P. (2012). Accelerated shelf-life testing of quality loss for a commercial hydrolysed hen egg white powder. *Food Chemistry*, 135 (2012) 464–472.
56. Quintanar-Guerrero, D., Alléman, E., Doelke E., & Fessi, H. (1998). Preparation and characterization of nanocapsules from preformed polymers by a new process based on emulsification-diffusion technique. *Pharmaceutical Research*, 15 (7), 1056-1062.
57. Quintanar-Guerrero, D., Zambrano-Zaragoza, M. L., Gutiérrez-Cortez, E., & Mendoza-Muñoz, N. (2012). Impact of the emulsification-diffusion method on the development of pharmaceutical nanoparticles. *Recent Patents on Drug Delivery and Formulation*, 6(3), 184-194.
58. Ramírez, R., Quijada, O., Castellano, G., Burgos, M.E., Camacho, R. & Marin, R.C. (2010). Características físicas y químicas de frutos de trece cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en el municipio mara en la planicie de maracaibo. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 10(2), 65-72.

59. Ramos-García, M.L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L.L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I. & Estrada-Carrillo, M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28: 44- 57.
60. Real Sandoval, S. A. (2013). Efecto de un recubrimiento de nanopartículas con α -tocoferol sobre la actividad de fenilalanin amonio-liasas como indicador del oscurecimiento en manzana fresca cortada. México: Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
61. Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 63–70.
62. Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 63–70.
63. Robles-Sánchez, R. M., Rojas-Graü, M. A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G., & Martín-Belloso, O. (2013). Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut kent mangoes. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 240-246.
64. Robles-Sánchez, R. M., Rojas-Graü, M. A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G., & Martín-Belloso, O. (2009). Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut 'Kent' mango (*Mangifera indica L.*). *Postharvest Biology and Technology* 50, 384–390.
65. Rocha Villalpando, M. A. (2011). Liberación de β -caroteno nanoencapsulado en melón cantaloupe fresco cortado en refrigeración. México: Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
66. Rojas-Graü M. A. (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. Lleida: Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria.
67. Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny R. & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of Natural Antibrowning Agents on Color and Related Enzymes in Fresh-Cut Fuji Apples as an Alternative to the Use of Ascorbic Acid. *Journal of Food Science*.73(6), 267-272.

68. Rollett, A., Reiter, T., Nogueira, P., Cardinale, M., Loureiro, A., Gomes, A., Cavaco-Paulo, A., Moreira, A., Carmo, A. M., & Guebitz, G. M. (2012). Folic acid-functionalized human serum albumin nanocapsules for targeted drug delivery to chronically activated macrophages. *International Journal of Pharmaceutics*, 427 (2012), 460–466.
69. Salinas-Hernández, R. M., González-Aguilar, G. A., & Tiznado-Hernández, M. E. (2013). Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 1-15.
70. Salinas-Hernández, R. M., Pirovani, M. É., Gardea-Béjar, A. A., & González-Aguilar, G. A. (2010). Physicochemical and sensory changes that limit shelf-life of fresh-cut mangoes. [Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango fresco cortado] *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 215-223.
71. Shalviri, A., Liu, Q., Abdekhodaie, M.J. & Wua, X.Y. (2010). Novel modified starch-xanthan gum hydrogels for controlled drug delivery: Synthesis and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 79 (2010) 898–907.
72. SIAP. (2012). Monografías. Detalle del cultivo, Mango (*Mangifera indica*). Recuperado el 27 de Octubre de 2012 [en línea]: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=206&Itemid=427
73. SIAP. (2012). Producción agrícola, Detalle del cultivo, Mango (*Mangifera indica*). Recuperado el 27 de Octubre de 2012 [en línea]: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351
74. Siddiq, M., Sogi, D. S., & Dolan, K. D. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut 'tommy atkins' mangoes as affected by different pre-treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 156-162.
75. Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Baéz-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E. & Ireta-Ojeda, A. (2006). Postharvest quality of mango cultivars of early, middle and late seasons. *Rev. Fitotec. Mex.*, 32(1): 45-52.

76. Soong, Y., Barlow, P., 2006. Quantification of gallic acid and ellagic acid from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed and mango (*Mangifera indica* L.) kernel and their effects on antioxidant activity. *Food Chem.* 97, 524–530.
77. Sothornvit, R., & Rodsamran, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3),407-415.
78. Sothornvit, R., & Rodsamran, P. (2010). Mango film coated for fresh-cut mango in modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1689-1695.
79. Tamer, C. E., & Çopur, Ö. U. (2010). Chitosan: An edible coating for fresh-cut fruits and vegetables.
80. Thongsook, T., & Tiyaboonchai, W. (2011). Inhibitory effect of sericin on polyphenol oxidase and its application as edible coating. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(10), 2052-2061.
81. Toivonen, P. M. A., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1-14.
82. Tong, Q., Xiao, Q., & Lim, L. -. (2008). Preparation and properties of pullulan-alginate-carboxymethylcellulose blend films. *Food Research International*, 41(10), 1007-1014.
83. Tzoumaki, M. V., Biliaderis, C. G., & Vasilakakis, M. (2009). Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) during cold storage. *Food Chemistry*, 117(1), 55-63.
84. Varakumar, S., Kumar, Y.S. & Reddy, O.V.S. (2011). Carotenoid composition of mango (*Mangifera indica* L.) wine and its antioxidant activity. *Journal of Food Biochemistry*, 35 (2011) 1538–1547.
85. Villalobos-Carvajala, R., Hernández-Munñoz, P., Alborsc, A. & Chiralt, A. (2009). Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. *Food Hydrocolloids*, 23 (2009) 526–535.
86. Villegas Cardenaz, A. (2005) Cambios en la calidad de frutos de litchi mínimamente procesados. México: Tesis, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

87. Wiley, C. R. (1994) “Minimally processed refrigerated fruits and vegetables”. Editorial Chapman Hall, New York.
88. Zambrano-Zaragoza M.L., Mercado-Silva E., Ramírez-Zamorano P., Cornejo-Villegas M.A., Gutiérrez-Cortez E., Quintanar-Guerrero D. (2013). Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava L.*) shelf-life. *Food Research International* 51 (2013) 946–953.
89. Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Gutiérrez-Cortez, E., Castaño-Tostado, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT - Food Science and Technology*. 44(6), 1362-1368.
90. Zhou, R., Mo. Y., Li. Y., Zhaoc, Y., Guixian, Z. & Hu, Y. (2008). Quality and internal characteristics of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) treated with different kinds of coatings during storage. *Postharvest Biology and Technology* 49 (2008) 171–179