



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**“Efecto del tratamiento de luz ultravioleta y líquido de
cobertura con nanocápsulas antioxidantes sobre la
conservación de mango Ataulfo cortado-refrigerado”.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA

TANIA FLORENCIA BERNAL COUOH

ASESORES:

**DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA
L.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa 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 comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto del tratamiento de luz ultravioleta y líquido de cobertura con nanocápsulas antioxidantes sobre la conservación de mango Ataulfo cortado-refrigerado.

Que presenta la pasante: Tania Florencia Bernal Couch
Con número de cuenta: 310017376 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Octubre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
VOCAL	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
1er. SUPLENTE	M. en C. Julieta González Sánchez	
2do. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

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

LMCF/cga*

AGRADECIMIENTOS

- El PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos nanopartículados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas”. de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).
- El proyecto PIAPI 1647 “Evaluación y diseño de sistemas nanopartículados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal. Proyecto interno de FES-Cuautitlán-UNAM
- Tania Florencia Bernal Couoh agradece la beca otorgada por el proyecto PAPIIT IT201617 “Efecto de recubrimientos nanopartículados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas” (DGAPA-UNAM).
- Además, Tania Florencia Bernal Couoh agradece la beca otorgada por el proyecto PAPIME PE206614: “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.” (DGAPA-UNAM).
- A su vez, Tania Florencia Bernal Couoh, agradece el apoyo técnico para la realización de pruebas fisicoquímicas y texturales de la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas, en el Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la UIM.

A mis padres TANIA COUOH e IVÁN BERNAL, gracias por TODO, por la familia tan bonita que me dieron, por ser mi mayor inspiración y guiar mi camino toda mi vida, porque con su ejemplo, motivación, educación, sustento, valores, consejos, oportunidades, apoyo y regaños, he logrado dar cada paso y llegar hasta donde estoy, por motivarme, y estar conmigo incondicionalmente. Pero sobre todo, por enseñarme que las cosas se logran dando todo, con esfuerzo y dedicación para conseguirlo. Gracias por esto y más, los amo mucho.

A mis hermanos ANDREA y PAVEL, los mejores cómplices que pude tener, gracias por caminar esta vida junto a mí, por todo su amor, apoyo y alegría, ustedes son mi gran motivación y batería de todos los días.

A mis abuelitas POOL, AMÉRICA y RAMÓN, gracias por estar conmigo, cuidarme, consentirme y apoyarme, pero sobre todo por su amor, consejos y enseñanza a lo largo de mi vida. Los quiero mucho.

A mi mamá académica, la Dra. LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA, gracias por guiar mi camino durante estos últimos años, por ser un gran ejemplo de fortaleza y superación para llegar muy lejos. Gracias por todos los consejos, apoyo y oportunidades, por creer en mí y abrirme las puertas de su laboratorio, en donde he crecido más como profesional y persona. La quiero mucho maestra, espero poder seguir formando parte de este equipo, que me enorgullece, durante mucho tiempo más.

A mi persona favorita, FERNANDO, gracias todo tu apoyo, motivación y consejos, por contagiarme tu alegría, por hacer de mí una mejor persona, por consentirme, cuidarme y complementarme como lo haces. Agradezco a la vida por ponerte en mi camino, quiero compartir muchos más logros a tu lado, te amo y admiro mucho mi amor.

A mi asesor de tesis I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS, gracias por todo su apoyo, ayuda y enseñanza, por el tiempo dedicado y los conocimientos que me transmitió en la realización de mi trabajo y académicamente. Me enorgullece caminar junto a grandes personas como usted.

A mis sinodales, M. en C. TAIS NOPAL GUERRERO, I.A. MIRIAM ÁLVAREZ VELASCO, M. en C. JULIETA GONZÁLEZ SÁNCHEZ y M. en C. ARACELI ULLOA SAAVEDRA, gracias por su dedicación, apoyo y conocimientos transmitidos para la realización de éste trabajo y formación profesional.

A los profesores de la carrera, gracias por todos los conocimientos transmitidos, por su apoyo y motivación durante mi formación académica: DANIEL MAURICIO VICUÑA GÓMEZ, SATURNINO MAYA RAMÍREZ, JOSÉ JAIME FLORES MINUTTI y ELSA GUTIÉRREZ CORTÉS.

A mi mejor amiga LUCÍA, gracias por estar siempre conmigo siempre, por brindarme tu apoyo incondicional en las buenas y en las malas, por tus consejos, pero sobre todo por esta amistad de 12 años, que durará toda la vida, te quiero mucho.

A mis amigos del L-16, MOY, MONTSE, QUITZIA y VERO, gracias por su amistad, apoyo y experiencias que hemos compartido juntos, no hubiera sido lo mismo sin ustedes. A RICARDO, mi amigo y compañero, muchas gracias por tus consejos, confianza y apoyo, por todo lo que me has enseñado académica y personalmente, te quiero y admiro mucho. A CLAUDIA, te agradezco mucho todo lo que me enseñaste desde que entré al laboratorio, tu colaboraste mucho en mi formación, siempre vas a ser alguien importante para mí.

A mis amigos de la Universidad; HELIA, IVETH, FELIPE, BIANCA, ALEJANDRA, PACZKA, ALFREDO y RODRIGO GARCÍA, ustedes son el gran regalo que la carrera me dio. Gracias por estar conmigo durante estos 5 años, por brindarme su amistad, compañerismo, alegría y apoyo en los momentos buenos y malos, por estar conmigo incondicionalmente y regalarme tantas experiencias juntxs, son grandes personas que admiro y quiero mucho, espero poder formar parte de su vida siempre.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, gracias por todas las oportunidades que me ha brindado, es un orgullo para mí formar parte de la máxima casa de estudios de México, en especial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, donde me desarrollé y formé como profesionista.

INDÍCE

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I. ANTECEDENTES	
1.1. Generalidades del mango	1
1.1.1. Definición	1
1.1.2. Composición química del mango	2
1.1.3. Producción y comercialización del mango	4
1.1.4. Parámetros de calidad del mango	5
1.2. Frutas frescas cortadas	7
1.3. Conservación de los frutos frescos cortados	8
1.3.1. Líquido de cobertura	8
1.3.2. Aplicación de baja temperatura	12
1.3.3. Radiación Ultravioleta	16
1.4. Nanotecnología	21
1.4.1. Métodos de encapsulación	23
1.4.2. Aceites esenciales utilizados en la nanoencapsulación	28
CAPITULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	
2.1. Objetivo General	31
2.2. Objetivos Particulares	31
2.3. Justificación de variables	32
2.4. Actividades preliminares	33
2.4.1. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	33
2.4.2. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta	34
2.4.3. Selección del mango (<i>Manguifera indica</i> L.) variedad ataulfo	34

2.4.4.	Preparación de nanocápsulas por gelificación interna	35
2.4.5.	Caracterización de los sistemas submicrónicos	36
2.4.6.	Preparación del líquido de cobertura	36
2.5.	Diseño Experimental	37
2.5.1.	Preparación de las muestras	38
2.5.2.	Proceso de envasado de las muestras	39
2.6.	Evaluación de Color	39
2.7.	pH	40
2.8.	Sólidos solubles	40
2.9.	Ácido total	40
2.10.	Contenido de ácido ascórbico	41
2.11.	Prueba de firmeza	42
2.12.	Turbidez	42
2.13.	Concentración de fenoles totales	43
2.14.	Capacidad antioxidante por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil)	44
2.15.	Análisis estadístico	45

CAPÍTULO III. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1.	Actividades preliminares	46
3.1.1.	Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	46
3.1.2.	Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta	46
3.1.3.	Caracterización de nanocápsulas de α -tocoferol y aceite esencial de lima	47
3.1.4.	Evaluación de absorción de líquido de cobertura	48
3.1.5.	Evaluación de Color	50
3.1.6.	pH	56
3.1.7.	Sólidos solubles	58
3.1.8.	Ácido total	60
3.1.9.	Contenido de ácido ascórbico	62

3.1.10. Firmeza	65
3.1.11. Turbidez	67
3.1.12. Concentración de fenoles totales	68
3.1.13. Capacidad antioxidante por DPPH	71
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

INDÍCE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Mango (<i>Manguifera indica</i> L.) variedad Ataulfo (Agroalimentarias, 2014).	2
Figura 2.	Producción y comercialización de Mango 'Ataulfo' en México (SAGARPA, 2017)	4
Figura 3.	Estructura química de la inulina de agave (Madrigal & Sangronis, 2007)	10
Figura 4.	Estructura química de la goma arábica (Gracia, 2012)	11
Figura 5.	Estructura química de la carboximetil celulosa (CMC) (Dhall, 2013)	12
Figura 6.	Esquematación de una nanocápsula y una nanoesfera (Rocha-Formiga, et al., 2009)	22
Figura 7.	Estructura del polímero de alginato (López-Córdoba, 2012)	26
Figura 8.	Formación del gel de alginato de calcio (Villena, 2009)	27
Figura 9.	Reacción del tocoferol para formar el radical peroxil (Tovar, 2013)	30
Figura 10.	Punto de lectura para el acondicionamiento del frigorífico	33
Figura 11.	Punto de lectura para el acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta	34
Figura 12.	Selección del mango (<i>Manguifera indica</i> L.) variedad ataulfo	35
Figura 13.	Preparación de la muestra	38
Figura 14.	Envasado y almacenamiento de las muestras de mango	39
Figura 15.	Prueba de firmeza a las muestras de mango fresco cortado	43
Figura 16.	Capacidad antioxidante por DPPH (1,1-difenil-2-picrihidracil)	45
Figura 17.	Lectura de la incidencia de luz ultravioleta en los diferentes puntos dentro de la cámara, reportado en kJ/m^2	47
Figura 18.	Líquido de cobertura absorbido en mango cortado durante su almacenamiento a 7 °C durante 24 días	49

Figura 19.	Cambios de luminosidad en mango fresco cortado en función a las características de líquido de cobertura	52
Figura 20.	Cambios en saturación de color (croma) en mango fresco cortado inmerso en líquido de cobertura, refrigerado a 7 °C	54
Figura 21.	Cambios de ángulo de tono (Hue) en mango fresco cortado en líquido de cobertura a 7 °C	55
Figura 22.	Comportamiento de los sólidos solubles en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7 °C	59
Figura 23.	Determinación de acidez total en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7 °C	61
Figura 24.	Determinación de ácido ascórbico en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7 °C durante 24 días.	64
Figura 25.	Cambios de firmeza en mango fresco cortado en función al tratamiento y tiempo de almacenamiento a 7 °C durante 24 días	66
Figura 26.	Cambios en la turbidez del líquido de cobertura	68
Figura 27.	Determinación de fenoles totales en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7°C durante 24 días	71
Figura 28.	Determinación de la actividad antioxidante por la prueba de DPPH en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7 °C durante 24 días	73

INDÍCE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Composición química del mango en 100 g de porción comestible (Scherz, 1999)	3
Tabla 2. Estado de maduración de mango variedad Aaulfo (NMX-FF-058-SCFI-2006)	6
Tabla 3. Clasificación de la longitud de onda de la radiación ultravioleta (Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013)	17
Tabla 4. Formulación del líquido de gobierno para la conservación de mango variedad 'Aaulfo'	36
Tabla 5. Factores y niveles de variación	37
Tabla 6. Cambios de pH en mango fresco cortado almacenado a 7 °C	57

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la aplicación de luz ultravioleta y un líquido de cobertura incorporando nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol, sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y actividad antioxidante de mango fresco cortado variedad ataulfo (*Manguifera indica* L.), almacenado en refrigeración a 7 °C durante 24 días. Para determinar el efecto del tratamiento se midió color, firmeza, sólidos solubles, acidez, pH, ácido ascórbico, fenoles totales y actividad antioxidante por DPPH y turbidez del líquido de cobertura. Durante la experimentación se estudiaron 4 lotes de mango en diferentes líquidos de cobertura. 1) control (sin nanocápsulas ni UV-C, 2) tratamiento con UV-C (352 nm), 3) tratamiento con UV-C (352 nm) con nanocápsulas, 4) sólo líquido de cobertura con nanocápsulas. Con los resultados obtenidos se concluyó que el tratamiento que logró mantener por más tiempo las propiedades del mango fue la aplicación de nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol en el líquido de cobertura en sinergismo con la aplicación de luz UV-C, bajo refrigeración; logrando mantener y conservar las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y capacidad antioxidante del mango fresco cortado, prolongando así el tiempo de vida útil y propiedades de calidad del fruto.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Manguifera Indica L.*) es una fruta tropical de origen mexicano con más aceptación en los mercados internacionales debido a sus atractivas características de color, sabor y textura, aunado a su alto contenido en compuestos bioactivos como el ácido ascórbico, β -carotenos y compuestos fenólicos (Siddiq, et al., 2013), los cuales a su vez tienen alto poder antioxidante.

La variedad de mango ataulfo se caracteriza por ser de sabor dulce y cremoso con poca cantidad de fibra, con pulpa suave y firme; su forma es ovalada y plana, es la variedad con el mayor contenido de vitamina A (Agroalimentarias, 2014).

El cambio en el estilo de vida ha producido un incremento en el consumo de frutas y vegetales frescos cortados debido a la practicidad y accesibilidad, sin embargo el daño en los tejidos por pelado o cortado de las frutas y vegetales conduce a la pérdida de calidad alimenticia, cambios en color, composición química, textura, sabor, valor nutrimental y seguridad microbiana; lo que resulta en una vida de anaquel limitada (George, et al., 2015a; Kaleem, et al., 2011).

Los distintos métodos de conservación de alimentos procuran incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento aplicando tecnologías que inactiven la acción enzimática que impidan alteraciones microbiológicas y retarden los cambios de maduración, manteniendo la calidad del producto; con la finalidad de incrementar su tiempo de comercialización.

Una nueva tecnología emergente aplicada en alimentos, es el uso de luz ultravioleta (UV-C) como método de desinfección, debido al efecto nocivo que causa sobre el ADN de muchos microorganismos. Así mismo es elegida por tratarse de un proceso que no altera las propiedades organolépticas de los productos y reduce el uso de sustancias químicas, empleándose principalmente para la preservación de alimentos líquidos y sólidos, pero en estos últimos su aplicación es efectiva a nivel superficial.

Al aplicar radiación UV en frutas y vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado “*efecto hermético*”, dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras (Domínguez, et al., 2011).

El uso de la tecnología UV con fines de desinfección, tipo C, involucra a la región ultravioleta del espectro electromagnético con un rango de longitud de onda corta de 200 a 280 nm, para lograr el efecto germicida (Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013).

La combinación de la radiación UV-C con otros tratamientos ha demostrado tener un efecto sinérgico en la conservación de muchos alimentos. Una combinación que ha demostrado tener buenos resultados es el tratamiento de frutas almacenadas en líquido de cobertura, también llamado líquido de gobierno; se trata de un fluido constituido por agua, polisacáridos como inulina de agave; que aporta grandes beneficios a la salud como prebiótico y aporte de fibra dietética, goma arábiga; la cual sustituye la funcionalidad de azúcar como agente de volumen no calórico, carboximetil celulosa (CMC); la cual confiere consistencia al sistema, y la incorporación de aceites esenciales como el aceite esencial de lima que ayuda a potencializar y mejorar el sabor, además de poseer un efecto bactericida natural y α -tocoferol que funge como antioxidante natural.

Estos aceites pueden ser incorporados al líquido de cobertura empleando la encapsulación de talla nanométrica. Se ha demostrado que la utilización de aceites esenciales nano encapsulados tiene grandes beneficios, ya que exhiben propiedades antioxidantes que ayudan a prolongar la vida útil de los alimentos, así como mejorar y potencializar el sabor de los

mismos. Existen distintos métodos de sistemas de encapsulación en la industria alimentaria. Los sistemas de encapsulación con diámetros de partícula por debajo de 100 nm son clasificados como sistemas de nanoencapsulación, estos sistemas son de gran interés ya que no sólo proporcionan estabilidad a los compuestos bioactivos atrapados sino que también potencializan la absorción y biodisponibilidad (Singh, 2016).

Uno de los métodos de nanoencapsulación de ingredientes activos, es la gelificación iónica interna, el cual consiste en un entrecruzamiento iónico entre un ion divalente como el cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) y alginato de sodio/pectina como componentes de la membrana, dando lugar a un gel conocido como modelo de “caja de huevo” (Villena, 2009).

En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que tiene la utilización de un líquido de cobertura a base de inulina de agave, carboximetilcelulosa y goma arábica, así como la incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol; elaboradas por el método de gelificación iónica interna, en las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y actividad enzimática en mango variedad ataulfo.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1.Generalidades del mango

1.1.1. Definición

El mango, *Manguifera indica* L., es una de las frutas tropicales que destaca y tiene amplia aceptación por su particular sabor y aroma (Ramírez-Méndez, et al., 2010). En nuestro país es el cuarto producto frutícola más importante después de la naranja, el plátano y el limón (Guzmán, et al., 2013), aunado a que es uno de los principales países productores además de India, China y Tailandia (Muy-Rangel, et al., 2009).

Las principales variedades que México produce son: Ataulfo (25%), Manila (18%), Tommy Atkins (15%), Haden (12%) y Kent (12%), entre otros (SAGARPA, 2015; Agroalimentarias, 2014).

La variedad Ataulfo pertenece a la familia de las Anacardiáceas o marañón, que representa más de 50 especies diferentes, de las cuales sólo unas cuantas son frutos comestibles. *Manguifera indica*, es un árbol frondoso de hasta 20 metros de altura, de copa redonda, siempre verde, con inflorescencia (panícula) provista de numerosas ramas.

El mango es una drupa carnosa, su peso varía de 150 g a 350 g de forma ovoide-oblonga, sus medidas van de 5 a 15 cm de longitud, la tonalidad de la cáscara puede ser de color verde, amarillo, rosa, rojo o violeta; es gruesa y contiene un número importante de polifenoles, carotenoides, ácidos grasos, omega-3, omega-6, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, enzimas y fibra dietética (Siddiq, et al., 2013). Estudios encontraron que la cáscara de mango es un auxiliar en enfermedades del corazón, cáncer y diabetes; sin embargo, no debe consumirse

ya que puede ser irritante en la piel por la cantidad de resina mangifera, ácido mangiférico y mangiferol que contiene.

Posee un mesocarpio comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo, generalmente es de color amarillo, suave y firme, muy jugoso, dulce, cremoso y con un buen aroma; especialmente cuando el fruto está maduro (Vásquez, 2009).



Figura 1. Mango (*Mangifera indica* L.) variedad Ataulfo (Agroalimentarias, 2014).

1.1.2. Composición química del mango

La composición química del mango, Tabla 1, es diferente de acuerdo a la variedad, estado de maduración y las condiciones de cultivo, tiene una composición promedio de 69% de pulpa, 19% de cáscara y 8.5% de hueso o semilla (Secretaría de Economía, 2015).

Tabla 1. Composición química del mango en 100 g de porción comestible (Scherz, 1999).

Mango			
Contenido energético de los componentes digestibles de 100g de porción comestible		kg:	247
		kcal:	58
Componentes principales de 100 g de porción comestible			
Agua.....	82,0 g	Grasa.....	0,5 g
Ácidos orgánicos.....	0,4 g	Sales minerales.....	0,5 g
Proteína.....	0,6 g	Hidratos de carbono.....	12,5 g
Fibra.....	1,7 g		
Composición detallada de 100g de porción comestible			
Sales minerales		Hidratos de carbono	
Sodio.....	5 mg	Glucosa.....	850 mg
Potasio.....	190 mg	Fructosa.....	2,600 mg
Magnesio.....	18 mg	Sacarosa.....	9,000 mg
Calcio.....	12 mg		
Manganeso.....	25 µg	Lípidos	
Hierro.....	400 µg	Ácido palmítico.....	85 mg
Cobre.....	120µg	Ácido esteárico.....	5 mg
Fosforo.....	13 mg	Ácido oleico.....	85 mg
Yodo.....	2 µg	Ácido linoléico.....	9 mg
		Ácido linolénico.....	65 mg
Vitaminas		Otros componentes	
Carotenos.....	3 mg	Ácido málico.....	75 mg
Vit. E.....	1mg	Ácido cítrico.....	295 mg
Vit B1.....	45 µg	Ácido oxálico.....	35 mg
Vit. B2.....	50 µg	Ácido tartárico.....	80 mg
Nicotinamida.....	700 µg	Ácido salicílico.....	110 µg
Ácido fólico.....	40 µg		
Vit. C.....	40 mg		

1.1.3. Producción y comercialización del mango

Este año, la producción de mango en México aumentó un 36 por ciento, al pasar de 1.3 a 1.8 millones de toneladas, por lo que se ha logrado comercializar en 27 destinos internacionales, entre los que se encuentran Estados Unidos, Canadá, Rusia, Australia, Noruega, España, Francia, Italia y Reino Unido, informó la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

De acuerdo con estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción en 2016 de este cultivo superó lo obtenido durante todo el 2015, lo que consolida a México como el quinto lugar mundial en producción de este fruto (Figura 2).



Figura 2. Producción y comercialización de Mango 'Ataulfo' en México (SAGARPA, 2017).

Asimismo, la principal entidad productora de mango en el país entre enero y octubre de 2016 fue Guerrero, con 358 mil 235 toneladas; le siguen Sinaloa, 334 mil 239; Nayarit, 312 mil 39; Chiapas, 237 mil 530; Oaxaca, 158 mil 847, y Michoacán, 146 mil 767 toneladas. Estas seis entidades aportan un volumen de 1.5 millones de toneladas a la producción nacional, lo que equivale a más del 80 por ciento del total generado en el periodo de referencia (SAGARPA, 2017).

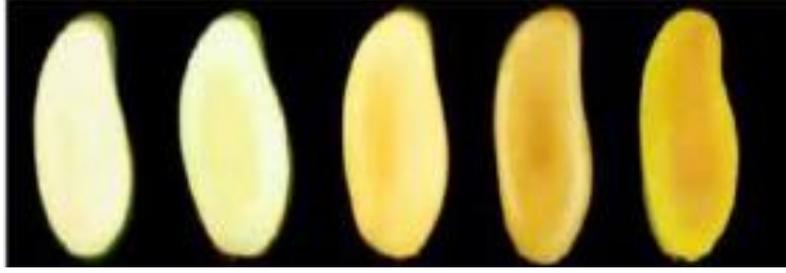
El mango ha aumentado su importancia económica pero su comercialización se ha restringido por la rápida pérdida de calidad de sus frutos debido a la maduración acelerada, pérdida de firmeza, y desarrollo de enfermedades (Muy-Rangel, et al., 2009). Aunado a que como muchas otras frutas tropicales, el mango experimenta cambios químicos nutricionales y en sus características organolépticas; principalmente en sabor, color y aroma.

1.1.4. Parámetros de calidad del mango

La calidad es un factor clave en la comercialización del mango, ya que los consumidores exigen cada vez estándares más altos, tanto en los parámetros fisicoquímicos relacionados con madurez, así como en su apariencia externa (Osuna, et al., 2002); la forma, sabor, olor y firmeza de la pulpa. En México existe una Norma Mexicana (NMX-FF-058-SCFI-2006) de calidad para el mango fresco para su consumo humano, la cual se basa en el aspecto externo del fruto y en características fisicoquímicas como acidez titulable, pH, sólidos solubles totales, además del color externo e interno y firmeza.

En la Tabla 2 se muestra el punto óptimo o grado de madurez fisiológico del mango, considerándose madurez fisiológica aceptable cuando la pulpa ha alcanzado un color amarillo en toda su área (sin partes blancas), acentuándose este color alrededor de la semilla. Su piel tendrá un color combinado entre verde y amarillo limón (NMX-FF-058-SCFI, 2006).

Tabla 2. Estado de maduración de mango variedad Ataulfo (NMX-FF-058-SCFI-2006).

Color promedio					
Color interno de la pulpa					
Grado de madurez	1	2	3	4	5

- a) **Potencial de Hidrógeno (pH):** Es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica calculando el número de iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en escala 7 la sustancia es neutra, valores por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida, por el contrario, arriba de 7 indican que es básica. La acidez elevada propicia un ambiente indeseable para el crecimiento de la mayoría de las bacterias, por lo tanto, el pH bajo de las frutas permite que el potencial de deterioro sea de las levaduras, mohos y bacterias que toleren la acidez (López, 2003).
- b) **Ácidoz titulable:** La acidez en los frutos es un parámetro de calidad atribuido a la presencia de ácidos orgánicos que contribuye a la percepción del sabor y por lo tanto a la aceptación del fruto por parte del consumidor. El contenido de ácido, específicamente para el mango Ataulfo, se expresa en porcentaje de ácido cítrico ya que es el ácido que predomina en el fruto, el cual varía según la madurez (López, 2003).
- c) **Sólidos solubles (*Brix):** El contenido de sólidos solubles es una estimación del contenido de azúcares totales. Los ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico y tartárico) son otros componentes importantes del sabor y tienden a disminuir a medida que el fruto madura, por lo que las relaciones con los sólidos solubles tienden a aumentar (López, 2003).

- d) Color:* La apariencia es el atributo más importante en los alimentos frescos y mínimamente procesados ya que es la primera impresión que el consumidor recibe y el componente más importante para la aceptación. Todas las frutas y hortalizas exhiben cambios de color como parte del proceso de maduración (López, 2003).
- e) Textura:* Son los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, por lo que al aplicar un esfuerzo sobre un alimento, es factible medir de forma instrumental las características mecánicas primarias (dureza, elasticidad, adhesividad, etc.) y secundarias (fragilidad, masticabilidad y gomosidad (INIAP, 2004). El ablandamiento de la fruta es una consecuencia de los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del tejido basado sobre los cambios de la estructura química de los polisacáridos de la pared celular.

1.2. Frutas frescas cortadas

La Asociación Internacional de Productos Frescos Cortados (IFPA, por sus siglas en inglés) indica que las frutas y vegetales frescos cortados inicialmente llamados mínimamente procesados o productos ligeramente procesados, son cualquier fruta fresca o vegetal que ha sido físicamente modificado de su forma original; pelado, cortado y/o lavado; para obtener un producto 100% comestible que es subsecuente embolsado o empacado y almacenado bajo refrigeración (Rojas-Graü, et al., 2009).

La principal ventaja de estos productos es la comodidad y el ahorro de tiempo, ya que en la mayoría de los casos están listos para ser consumidos; algunos ejemplos son las ensaladas, mezclas de vegetales, frutas frescas cortadas como manzanas, piñas, sandías, etc. (Pérez, 2011).

Los alimentos frescos cortados requieren conservar la cadena de frío a temperaturas de refrigeración o ligeramente más altas dependiendo del producto base o la mezcla de productos que se trate. El envase para los alimentos frescos cortados debe prevenir la transmisión de los

gases, así como las pérdidas por difusión de vapor de agua, proteger al contenido de agentes biológicos, mecánicos y físicos externos durante el almacenamiento, transporte y comercialización, suministrar un nivel aceptable o mínimo de interacción material de envasado/contenido, conservar el contenido y prevenir o retardar directa o indirectamente la descomposición química o disminución de la calidad del producto envasado (Schlimme, 1997).

Las frutas y vegetales frescos cortados se deterioran mucho más rápidamente que los productos frescos intactos como resultado directo de las heridas asociadas al procesamiento, el cual conduce a un número de cambios físicos y fisiológicos que afectan la calidad del alimento, como cambios en textura, oscurecimiento enzimático, contaminaciones microbiológicas, color desagradable, etc.; los cuales contribuyen a reducir la vida útil de los productos frescos cortados (Rojas-Graü, et al., 2009).

1.3. Conservación de los frutos frescos cortados

El importante valor nutricional y económico de las frutas frescas, es bien conocido, ya que son las mejores transportadoras de vitaminas, minerales esenciales, fibra dietaria, antioxidantes fenólicos, glucosinolatos y otras sustancias bioactivas, junto con los vegetales. Además, proveen de carbohidratos, proteínas y calorías. Estos efectos nutricionales y promotores de la salud mejoran el bienestar humano y reducen el riesgo de varias enfermedades (Alzamora, 2004). Sin embargo, al ser productos altamente perecederos, surge la necesidad de buscar nuevas tecnologías de conservación con el fin de extender su vida útil, garantizar la calidad organoléptica del producto y asegurar su calidad nutricional (Ramírez-Méndez, et al., 2010).

1.3.1. Líquido de cobertura.

El líquido de cobertura, también llamado líquido de gobierno es un fluido que se añade en la elaboración de conservas y semiconservas. Hay muchos tipos de líquido de cobertura, siendo un ingrediente más para mejorar el sabor del alimento por adición de especias, por equilibrio de pH, etc.; puede ser un almíbar, jugos de fruta, agua con sal, vinagre o limón, aceites, jarabes,

especias, por mencionar algunos. (Muñoz, 2014). El color también es un factor favorecido por el líquido de cobertura, pues gracias a sus componentes, lo conserva o incluso lo potencia.

Dependiendo de su composición, el líquido de cobertura puede ser consumido igual que el producto que ha conservado, ya que puede contener nutrientes y sabor que mejoran al producto. A continuación, se presentan los componentes del líquido de cobertura.

a) Inulina de agave

Varios estudios indican que las piñas o cabezas de agave son ricos en carbohidratos, entre los que se encuentra la inulina, representando el 24 % de los azúcares totales aparte del almidón, dextrina y glucosa (Higuera, 2010).

La inulina de agave es un carbohidrato no digerible de reserva energética que está presente en muchos vegetales; principalmente de la raíz Achicoria y Dalia, frutos y cereales, utilizado ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales gracias a sus grandes beneficios a la salud como su aporte de fibra dietética, bajo valor calórico, refuerzo de las funciones inmunológicas, aumento de la biodisponibilidad de minerales, mejora del metabolismo de las grasas y de la respuesta glicémica, reducción del riesgo de cáncer y protección contra desórdenes intestinales (Madrigal & Sangronis, 2007), siendo su funcionalidad más importante de prebiótico potencial; gracias a su conformación peculiar la mantiene intacta por el tracto digestivo, pudiendo llegar integra al colón, estimulando el crecimiento de un grupo de bacterias benéficas y reprimiendo otras que puedan ser perjudiciales (Berdalis-Díaz, 2016), aunado a esto, se ha destacado por ser capaz de aumentar la absorción de calcio y reducir el colesterol.

La inulina es estable a altas temperaturas, con propiedades humectantes, reduce la actividad de agua, favoreciendo la estabilidad microbiológica. Adicionalmente posee propiedades tecnológicas similares a la sacarosa y al jarabe de glucosa.

La inulina nativa o de alta pureza, químicamente contiene azúcares libres como glucosa, fructosa, sacarosa (Figura 3), lo que le confiere cierto dulzor (10% del dulzor de la sacarosa), es moderadamente soluble en agua. En productos alimenticios, utilizan la inulina y sus derivados

como agentes espesantes, emulsificantes, gelificantes, sustituto de azúcares y de grasas, humectantes y depresores del punto de congelación (Higuera, 2010).

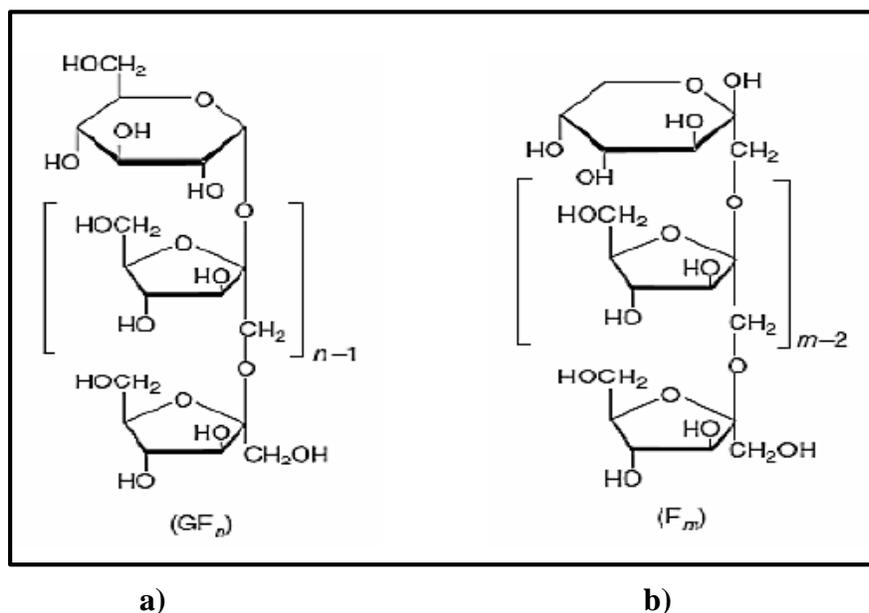


Figura 3. Estructura química de la inulina de agave: con una molécula de glucosa (β -D-glucopiranosil) (a) y con una molécula terminal de fructosa (β -D-fructopiranosil) (b) (Madrigal & Sangronis, 2007).

b) Goma arábica

La goma arábica existe en la naturaleza como una sal neutra o ligeramente ácida de un polisacárido complejo que contiene calcio, magnesio y potasio. Se trata de un material heterogéneo y puede estar compuesto de varias especies moleculares ligeramente diferentes (Figura 4). Se presume que la característica estructural principal de la molécula es una cadena de unidades de β -Galactopiranosil unida a través de las posiciones 1-3, con cadenas laterales de unidades de Galactopiranosil 1-6 terminadas en residuos de ácido glucurónico o 4-O-metil-D-glucurónico. La hidrólisis completa de la molécula produce los 4 azúcares constituyentes básicos: D-Galactosa, L-Arabinosa, L-Ramnosil y D-Acido Glucurónico. Es soluble en agua y

tolera medios ácidos con contenido etílico, así como tratamientos térmicos. Su pH en solución va de 4.5 a 8 (Gracia, 2012).

La goma arábiga forma geles, y debido a su baja viscosidad se puede emplear en grandes concentraciones a diferencia de otros hidrocoloides. Se ha utilizado como un agente que sustituye la funcionalidad de azúcar (Williams, 2011). Además posee varias propiedades funcionales por lo que puede emplearse como agente de volumen no calórico, emulsificante, agente gelificante, estabilizante y espesante, además de ser una fuente de fibra soluble benéfica para el organismo.

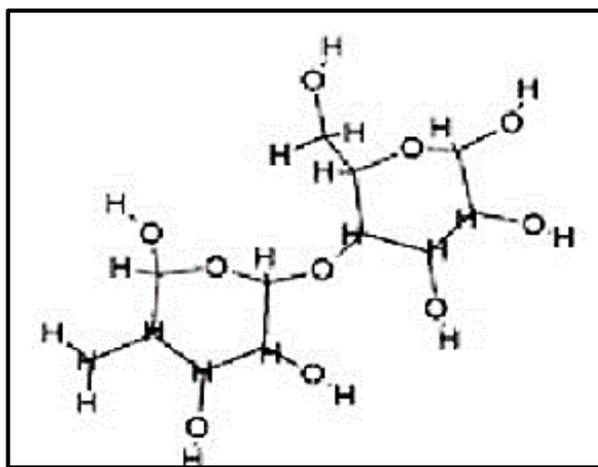


Figura 4. Estructura química de la goma arábiga (Gracia, 2012).

c) Carboximetilcelulosa (CMC)

La carboximetilcelulosa es un polímero no tóxico cuando está disuelto en agua. Para obtener este compuesto, se sustituyen los grupos CH_2COOH en las unidades de glucosa de la cadena de celulosa (Figura 5), aumentando el peso molecular desde 21,000 a 500,000. Si la reacción se produce en medio alcalino, los grupos carboxilos se esterifican, teniendo así grupos $\text{R-O-CH}_2\text{COONa}$ (Silva-Weiss, et al., 2013).

La CMC ha recibido una atención considerable por sus aplicaciones en frutas y vegetales. Su carácter hidrofílico, alta viscosidad en soluciones diluidas, buenas propiedades formadoras de

película e inocuidad; han diseminado su uso en la industria alimentaria, presenta propiedades como aglutinante, espesante y estabilizante y forma películas resistentes (Dhall, 2013).

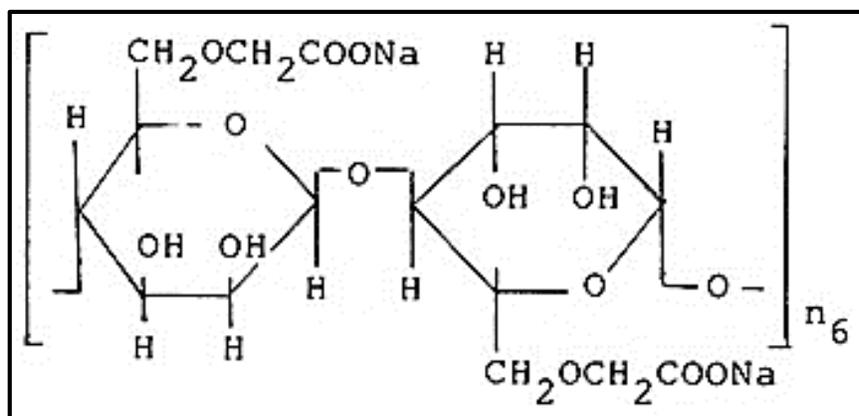


Figura 5. Estructura química de la carboximetil celulosa (CMC) (Dhall, 2013).

Desarrolla sus propiedades funcionales en frío, además de tener tolerancia ante los medios ácidos. Dependiendo del tratamiento químico a que se ha sometido, se pueden obtener una gran variedad de viscosidades. Para el caso de alimentos regularmente se manejan dos niveles, baja viscosidad (de unos 300 cps) o bien de alta viscosidad (por encima de las 2000 cps). En la industria de alimentos, comúnmente se emplean concentraciones menores al 1% (Nussinovitch, 2009).

1.3.2. Aplicación de baja temperatura

Los consumidores de frutas y vegetales son cada vez más exigentes por la calidad de estos productos, no sólo la que tienen al ser empacados en origen, sino la que presentan en el momento de ser comprados, y más aún, al consumirse. La solución idónea para preservar la calidad (organoléptica, comercial, microbiológica y nutritiva) de los productos hortofrutícolas y satisfacer las crecientes exigencias de los mercados internacionales, consiste en mejorar los tratamientos post cosecha.

Las técnicas de almacenamiento que se utilizan después de la cosecha y una vez que las frutas han sido empacadas para su comercialización en fresco, tienen el propósito de conservar la

calidad de las mismas teniendo en cuenta las condiciones ambientales adecuadas que permitan reducir la velocidad de los procesos de maduración, así como disponer de ellos por períodos más prolongados a los normales, además de ofrecer productos frescos a mercados distantes y reducir pérdidas durante su comercialización. Dentro de las técnicas más utilizadas para la conservación de frutas y hortalizas encontramos la conservación por frío (Turmanidze, 2017).

Es la técnica más ampliamente utilizada para la conservación de frutas y hortalizas, se basa generalmente en la aplicación de ciertas temperaturas constantes al producto a conservar, siempre por encima del punto crítico durante un período de tiempo, que dependerá de la especie y variedad de que se trate. La conservación refrigerada bajo condiciones óptimas permite reducir las pérdidas cualitativas y cuantitativas debidas a desórdenes fisiológicos y podredumbres, retrasar la maduración y senescencia, así como prolongar la vida comercial de los productos hortofrutícolas con buena calidad para su consumo en fresco (Paciulli et al., 2015; Xin, et al., 2015).

a) Efectos de la aplicación de bajas temperaturas

La conservación de los frutos a bajas temperaturas influye en diferentes procesos biológicos como son:

- **Respiración.** La respiración es el principal proceso de deterioro de los frutos, el mismo es atenuado por las bajas temperaturas, la cual logra disminuir la tasa respiratoria y la pérdida excesiva de agua, así como la velocidad de las reacciones bioquímicas y enzimáticas. La velocidad de respiración de un fruto se reduce a la mitad por cada 10°C en que disminuye la temperatura.

En los frutos climatéricos como el mango, las temperaturas altas de más de 40°C muestran un incremento en la actividad respiratoria, por el contrario, temperaturas bajas menores de 13°C disminuyen su respiración y prolongan su vida de anaquel (Mditshwa, et al., 2017).

- **Deshidratación.** La pérdida de peso en los frutos se incrementa como consecuencia de la transpiración después de la cosecha y se traduce en una disminución de la calidad y aceptabilidad, estas pérdidas suelen ocasionar mermas superiores al 5% durante la comercialización. Las condiciones de baja humedad provocan un incremento de la transpiración y por tanto una elevada pérdida de agua, lo que acelera la senescencia del fruto y una marcada pérdida en la calidad, tanto por la aparición de arrugas en la corteza como por el encogimiento y ablandamiento. Las pérdidas por deshidratación representan una cantidad importante, que en algunos casos pueden superar a las producidas por las podredumbres (Xin et al., 2015).
- **Pérdida de la calidad y senescencia.** En la post cosecha, los frutos evolucionan hacia la senescencia con pérdidas de calidad, ablandamiento, pérdida de acidez, vitamina C y características organolépticas (sabor y comestibilidad). La velocidad de reacción de los procesos metabólicos, que llevan a la pérdida de calidad se duplica por cada 10°C de aumento de la temperatura.
- **Podredumbres.** La aplicación del frío disminuye los riesgos de aparición y desarrollo de ciertos agentes causantes de alteraciones como bacterias, hongos y levaduras. Aunque es importante señalar que puede disminuir la acción de los microorganismos, pero no inhibe la germinación de esporas de los patógenos que contaminan a las frutas. Para reducir la incidencia de alteraciones patológicas durante el almacenamiento frigorífico se deben tomar una serie de medidas higiénicas y profilácticas que van desde evitar el máximo de heridas y golpes en la recolección y transporte al almacén, pasando por una periódica limpieza y desinfección de las cajas de campo, línea de manipulación, almacén y cámaras frigoríficas y se completan con un tratamiento fungicida aplicado a la propia fruta (Tsaniklidis, et al., 2014; Xin, et al., 2015).

b) Daños por frío

La temperatura constituye una de las variables más importantes para la conservación de los productos hortofrutícolas. Siendo necesario el control de ésta en el lugar de almacenamiento, ya que a medida que disminuya la temperatura, se retarda la pérdida de calidad de los frutos. Sin embargo, existen limitaciones en cuanto a las temperaturas mínimas que pueden aplicarse en este tipo de conservación. Una de estas limitaciones es que algunos de los productos de origen tropical y subtropical, presentan sensibilidad a las bajas temperaturas que se manifiesta en alteraciones y manchas en la piel, conocidas generalmente como lesión o daño por frío y que pueden causar una alta pérdida de calidad comercial (Biglia, 2016).

Este fenómeno limita considerablemente la vida post cosecha de los productos sensibles al frío, además de que un alto porcentaje de las pérdidas son ocasionadas por este desorden. Los síntomas del daño varían en función de la especie, tipo de tejido, su estado de madurez y metabólico inmediatamente antes del tratamiento y por una gran diversidad de factores ambientales.

En cítricos, los daños pueden mostrar diversas sintomatologías, el más común es el picado (*pitting*) en el que áreas discretas de la piel colapsan formando lesiones hundidas. Las mismas tienden a juntarse, siendo la demarcación entre las lesiones y el tejido epidérmico sano muy definida. En pomelos, las depresiones pueden adquirir tonalidades rosadas y brillantes. Los frutos de piel delgada son más susceptibles como también los menos maduros. Así mismo, a temperaturas cercanas a 0 °C, ocurre un escaldado superficial en lugar del picado. En pomelos y tangelos las glándulas de aceite pueden ennegrecer por acción del frío. La susceptibilidad de los cítricos a bajas temperaturas depende de la especie y variedad, siendo pomelos y limones los más sensibles. Además influyen numerosos factores tanto previos a la cosecha como posteriores a ella, entre ellos se incluyen: las condiciones ambientales, tratamientos durante el cultivo, condición del árbol y madurez de la fruta y la recolección, entre otros (Mditshwa et al., 2017; Tsaniklidis, et al., 2014).

1.3.3. Radiación Ultravioleta

Los distintos métodos de conservación de alimentos procuran incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, idealmente, aplicando técnicas que impidan alteraciones microbiológicas, manteniendo así la calidad del producto.

La eficacia de estos métodos depende principalmente del cuidado de la higiene durante el proceso productivo, siendo su objetivo disminuir la carga microbiana y evitar su desarrollo. Para tal fin muchos productos son tratados térmicamente, técnica que muchas veces modifica las características, tanto sensoriales (textura, sabor y color), como nutricionales (pérdidas de vitaminas, principalmente) del alimento.

Debido a estos efectos adversos del tratamiento a altas temperaturas, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados tecnologías suaves (Domínguez, et al., 2011).

Hace años se investigan los efectos de la luz sobre bacterias y otros organismos, lo que comenzó a partir del concepto del daño celular causado por la incidencia de la radiación solar sobre organismos vivos. Posteriormente se estudió el efecto producido por radiaciones monocromáticas del espectro ultravioleta (UV).

La radiación ultravioleta, en su forma natural, proviene del sol. El espectro de dicha radiación, que penetra en la atmósfera terrestre, se ha dividido en tres regiones dependiendo de su longitud de onda. Dichas regiones ejercen diferentes características sobre los organismos, el uso con fines de desinfección involucra a la región ultravioleta del espectro electromagnético, con un rango de longitud de onda entre 100 y 400 nm. En la Tabla 3 se presenta una clasificación de la longitud de onda de la radiación ultravioleta.

Es debido a las propiedades germicidas de la radiación de luz ultravioleta de longitud corta (UV-C), que se han creado fuentes de radiación artificiales (lámparas) con fines prácticos, generalmente con propósitos de desinfección. Estas fuentes de radiación son fabricadas utilizando lámparas de mercurio de baja presión, que producen radiación con una longitud de

onda de 254nm (efecto germicida) (George, et al., 2015b; Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013).

Tabla 3. Clasificación de la longitud de onda de la radiación ultravioleta (Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013).

Clasificación	Longitud de onda (nm)	Efectos en el organismo
Larga	320-400	Cambios de tonalidad en la piel
Media	280-320	Quemaduras graves
Corta	200-280	Efecto germicida

La radiación UV-C afecta el ADN de los microorganismos, causando mutaciones mediante la separación de la doble hélice, evitando de esta manera su reproducción (Moreno et al., 2017). Es así como esta tecnología no térmica puede ser aplicada para inactivar diversos tipos de microorganismos incluyendo virus. Asimismo, es elegida por tratarse de un proceso que no altera las propiedades organolépticas de los productos y reduce el uso de sustancias químicas (Domínguez, et al., 2011).

a) Radiación ultravioleta en alimentos líquidos

La radiación UV-C se utiliza para desinfectar agua, ya sea para ser comercializada como tal o en la industria de bebidas. También para desinfectar aguas de proceso y jugos de frutas y verduras, para aumentar su vida útil.

Cabe destacar que el poder de penetración disminuye cuando se tratan líquidos que no son transparentes y/o tienen sólidos en suspensión. Los líquidos son buena transmitancia de luz ya que no presentan inconvenientes en el tratamiento con radiación UV, la baja transmitancia está asociada a la concentración inicial de microorganismos, partículas en suspensión, color y composición del producto. El agua por ser un líquido transparente tiene el mayor índice de

transmisividad. Cabe resaltar que el poder germicida de la radiación disminuye al aumentar la distancia desde la fuente de luz. Por esto, el tiempo de exposición, la dosis y el perfil de flujo son clave para lograr la reducción microbiana necesaria (Antonio-Gutiérrez, et al., 2012; Moreno et al., 2017; Xie et al., 2015).

Como ejemplo puede mencionarse que la penetración de luz UV en jugos es de aproximadamente 1 mm para obtener una absorción del 90%. En estos alimentos es muy importante asegurar un flujo turbulento a fin de lograr una mayor eficiencia de contacto de la radiación con el producto (Domínguez, et al., 2011).

b) Radiación ultravioleta en alimentos sólidos

Al aplicar radiación UV-C en frutas y vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado “*efecto hermético*”. Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras, dado que puede estimular la producción de fenilalanina amonialiasa, que induce la formación de compuestos fenólicos (fitoalexinas), tóxicos para ellos (Moreno et al., 2017).

Es posible tratar con luz UV-C en la superficie distintos tipos de carne (pescado, pollo, carne bovina), antes de su refrigeración, para reducir la carga microbiana en dos o tres ciclos logarítmicos (dependiendo de la dosis aplicada), lo que puede aumentar varios días su vida útil. No obstante, es posible que se generen sustancias iniciadoras de la oxidación del alimento, por lo que existe el riesgo de que las características organolépticas del producto se modifiquen (Domínguez, et al., 2011).

Por esto, hace un tiempo se comenzó a investigar su aplicación en forma pulsada, es decir, aplicando sobre el producto flashes o pulsos de luz intensa, de manera que se libera energía rápidamente a la superficie del producto. El escaso tiempo de exposición limita la formación de estos componentes, lo que dificulta esas modificaciones químicas indeseables.

Es importante destacar que pese a ser una tecnología aplicable a muchos alimentos, es necesario tener en cuenta la composición de cada producto, ya que se requieren dosis distintas de radiación UV según la matriz (composición química y ordenamiento estructural) propia del alimento (Guerrero-Beltrán, 2004).

c) Mecanismo de acción

La radiación UV-C produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte. La radiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre tiamina y citocina, (nucleótidos de bases pirimidínicas) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros ciclobutil pirimidina.

Esto produce distorsiones en la forma del ADN interfiriendo en el apareamiento normal de las bases. Como resultado se bloquea la síntesis de ADN y consecuentemente quedan afectadas las funciones celulares pudiendo provocar la muerte. Los efectos en los enlaces cruzados son proporcionales al tiempo de exposición e intensidad de la luz UV-C (Domínguez, et al., 2011; Moreno et al., 2017).

No obstante, es posible que ocurra una reactivación dado que el ADN puede ser reparado por factores proteínicos cuando las células dañadas se exponen a longitudes de onda superiores a 330 nm. Puede estimularse la separación del ácido nucleico debido a la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza los dímeros (separación de tiaminas y otras pirimidinas) formados después del proceso de radiación (Guerrero-Beltrán, 2004; Xie et al., 2015).

Las células reactivadas pueden ser más resistentes si son sometidas a un segundo tratamiento. Se observó que sería necesaria una dosis mayor de radiación para lograr una reducción 4-log de células foto reactivadas, previo al tratamiento de agua con UV-C. A fin de lograr la inactivación microbiana, la exposición a la radiación UV-C debe ser al menos 400 J/m² en toda la superficie del producto. Los factores críticos incluyen la transmisividad del producto, la configuración

geométrica del reactor, la potencia, la longitud de onda y la disposición física de la fuente de UV, el perfil de flujo de producto y la trayectoria de la radiación (Xie et al., 2015).

La radiación emitida se mide en Watts (W) y la intensidad de la radiación en kJ/m^2 . Para una desinfección eficaz es importante conocer la dosis de radiación necesaria para reducir la carga del microorganismo, la cual es el producto entre la intensidad de la radiación (I), expresada como energía por unidad de área y el tiempo de residencia o contacto con la luz UV (t) en segundos.

d) Equipos para el tratamiento con luz ultravioleta

La luz ultravioleta es producida por lámparas de vapor de mercurio, de las que existen varios tipos, dependiendo del uso y la potencia necesaria. Entre otras variantes hay con y sin generación de ozono, compactas y para uso en aire, agua, etc. Los tipos de lámparas UV-C utilizadas en la industria son de baja presión, presión media, presión baja de alta intensidad, presión media de alta intensidad y amalgama.

Su apariencia es similar a las de las lámparas fluorescentes, poseen una vida útil promedio de un año de trabajo sin interrupción. La mayoría producen una longitud de onda de 254 nm (máxima eficiencia para la desinfección) (Domínguez, et al., 2011).

La combinación de la radiación UV-C con otros tratamientos ha demostrado tener un efecto sinérgico en la conservación de muchos alimentos. Una combinación que ha demostrado buenos resultados es el tratamiento de frutas con una solución desinfectante (ácidos orgánicos o sales de las mismas) seguida de la aplicación de radiación UV-C (Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013).

1.4. Nanotecnología

La nanotecnología es un nuevo campo emergente de la investigación (Das-Purkayastha, et al., 2016), ha sido definida como el diseño, caracterización y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica, en un rango que va de 1 a 1000 nanómetros. Un nanómetro es una millonésima parte de un milímetro. Es una tecnología fusionada y altamente multidisciplinaria que se ha extendido en casi todos los campos de la tecnología (Rodríguez-López, 2007).

Muchas definiciones indican que el tamaño de las nanopartículas y los nanocompuestos debe ser inferior a los 100 nm, donde es más probable que las propiedades de los materiales cambien. Sin embargo, esto no quiere decir que dichos fenómenos no ocurran por encima de los 100 nm (Pérez, 2011). Las partículas de tamaño tan pequeño presentan propiedades fisicoquímicas que son significativamente diferentes a las macroscópicas. El tamaño generalmente se relaciona con la funcionalidad de los materiales alimenticios; un tamaño más pequeño que significa un área superficial más grande, es deseable para propósitos tales como absorción de agua, liberaciones, diseño molecular, biodisponibilidad y velocidad más rápida de catálisis (Das-Purkayastha, et al., 2016).

Las nanopartículas son definidas como partículas sólidas o coloidales que incluyen nanoesferas y nanocápsulas, donde la característica fundamental es su tamaño, que generalmente se da alrededor de 5-10 nm hasta un tamaño límite de 1000 nm, el tamaño generalmente obtenido es de 100 a 500 nm (Pérez, 2011).

De acuerdo a Rocha-Formiga, et al. (2009), las nanocápsulas son sistemas vesiculares en los que el agente bioactivo se localiza en el interior de la partícula, generalmente disuelto en un vehículo oleoso (Figura 6a). Las nanoesferas, en cambio, son sistemas de tipo matricial donde el agente bioactivo se encuentra encapsulado en el interior de la matriz polimérica (Figura 6b).

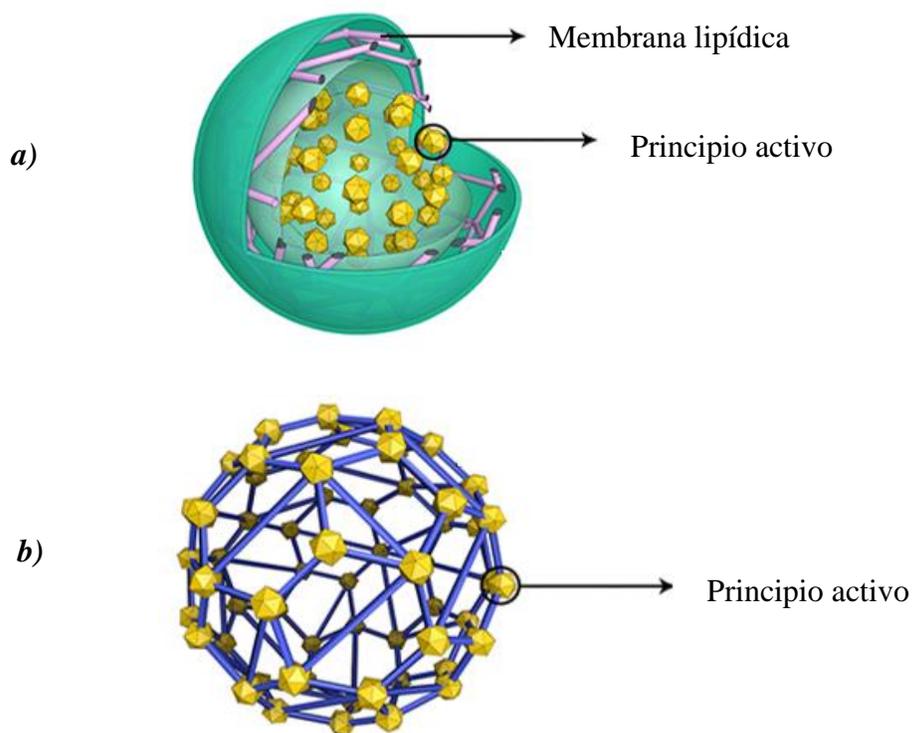


Figura 6. Esquematización de a) una nanocápsula y b) una nanoesfera (Rocha-Formiga, et al., 2009).

Actualmente la nanotecnología es empleada en áreas como robótica, biología, medicina farmacia, genética, computación, ingeniería química y en la industria alimentaria, donde se encuentran en numerosas aplicaciones de producción, procesamiento, envasado, almacenamiento y desarrollo de materiales innovadores, productos y aplicaciones; además de mejora de sabores y aromas, absorción de nutrientes, entre otros (Das-Purkayastha, et al., 2016).

La incorporación de compuestos bioactivos para mejorar las características sensoriales y de estabilidad en los alimentos sin comprometer los beneficios para la salud sigue siendo un reto de investigación importante. La nanociencia y la nanotecnología tienen el potencial de proporcionar nuevas soluciones en el desarrollo de alimentos funcionales, en particular la inclusión de compuestos bioactivos sin afectar la percepción sensorial del consumidor, mejorando la absorción de ciertos componentes (Singh, 2016).

Un sistema de liberación para alimentos debe realizar diferentes papeles: 1) debe servir como medio para encapsular compuestos bioactivos dentro de una forma física que pueda ser

incorporado en el alimento, 2) el sistema de liberación debe ser compatible con un alimento o bebida al cual sea incorporado, sin afectar negativamente el sabor, textura o tiempo de vida útil del alimento, 3) debe ser capaz de controlar la liberación del agente funcional a una cierta velocidad, en un sitio particular y/o en respuesta a un estímulo ambiental (pH, temperatura o fuerza iónica) y 4) deben ser preparados usando ingredientes de grado alimenticio (Pérez 2011; Singh, 2016).

Hoy en día hay un interés considerable en el desarrollo de vehículos de liberación para la encapsulación y protección de las sustancias activas de origen alimentario, haciendo uso de la nanotecnología. Muchos nutrientes e ingredientes bioactivos pueden ser cargados en partículas de talla nanométrica, mejorando la solubilidad, estabilidad, biodisponibilidad y tiempo de circulación en el cuerpo, permitiendo una mayor precisión de los compuestos atrapados (Duncan, 2011). Dentro de los ingredientes de mayor importancia utilizados en alimentos se encuentran los antioxidantes, ingredientes orgánicos, ácidos grasos, fibras, minerales, probióticos, entre otros (Day, 2009).

1.4.1. Métodos de encapsulación

La encapsulación ha sido definida como la tecnología mediante la cual se logra confinar compuestos activos; como sabores, vitaminas, o aceites esenciales, dentro de una matriz polimérica o sistema pared con el objetivo de impedir su pérdida, evitar que reaccionen con otros compuestos presentes en el alimento o impedir que se oxiden por efecto del oxígeno, por mencionar algunos ejemplos. Esta técnica crea un microambiente en la cápsula capaz de controlar las interacciones entre el interior y el exterior (Borgogna, 2010).

Algunos de los propósitos de aplicar una técnica de encapsulación en la industria de alimentos son (Champagne, 2007; Onwulata, 2011):

- Proteger al compuesto activo de la degradación producida por el ambiente (calor, aire, luz, humedad, etc.).

- Liberación controlada del compuesto activo desde la matriz encapsulante bajo condiciones específicas (pH, temperatura, etc.).
- Modificar las características físicas del material original y hacer más fácil su manipulación. Por ejemplo, reducir la higroscopicidad, modificar su densidad, distribuir el material uniformemente en una muestra, convertir materiales líquidos en polvo, entre otros.
- Enmascarar sabores desagradables.
- Separar componentes con el fin de que éstos no reaccionen.

Las técnicas de encapsulación han sido utilizadas para la protección de una gran variedad de ingredientes en la industria de alimentos (Onwulata, 2011). Existen distintos métodos para la preparación de nanocápsulas a partir de polímeros preformados, los más importantes son el emulsificación- evaporación (desplazamiento del solvente), emulsión-difusión, doble emulsificación, emulsificación coacervación, recubrimiento de polímero y capa por capa; los más utilizados se presentan a continuación:

a) Emulsificación- evaporación

El polímero preformado y el compuesto activo son disueltos en un solvente orgánico insoluble en agua, que es emulsificado en una solución acuosa. Esta emulsión cruda es expuesta a una fuente de alta energía como son dispositivos ultrasónicos o a través de homogeneizadores, molinos colídales o microfluidizadores, con el fin de disminuir el tamaño del glóbulo. La eliminación del solvente orgánico se da por calentamiento, vacío o ambos, resultando la formación de una dispersión fina acuosa de nanoesferas (Quintanar-Guerrero, 1998a).

b) Emulsión-difusión

La preparación de nanopartículas por este método requiere de tres fases: la orgánica, la acuosa y la dilución. De acuerdo a Quintanar-Guerrero (1998b), la técnica consiste en emulsificar una solución orgánica conteniendo un aceite, un polímero y el compuesto activo en una solución acuosa con un agente estabilizante. La subsecuente adición de agua al sistema induce la difusión del solvente dentro de la fase externa, resultando en la formación de partículas coloidales. Para la preparación de las nanocápsulas, la fase orgánica es emulsificada bajo una fuerte agitación en la fase acuosa. El exceso de solvente después de la formación de las nanocápsulas puede ser eliminado por destilación o por filtración dependiendo del punto de ebullición del solvente. El tamaño de las nanocápsulas varía entre 150-200 nm.

La selección del proceso de encapsulación adecuado dependerá de múltiples factores, tales como: el tamaño de partícula, las propiedades fisicoquímicas del material encapsulante y el compuesto activo, la finalidad del producto encapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo (Munin, 2011; Onwulata, 2011).

Uno de los nuevos métodos empleados en la formación de nanocápsulas es la gelificación iónica el cual consiste en suspender el compuesto que se va a encapsular en una solución acuosa de alginato sódico. Adicionando la mezcla, mediante goteo, sobre una solución iónica (generalmente Cloruro de Calcio) que se encuentra sometida a una velocidad de agitación. Al entrar la gota de alginato de sodio en contacto con el calcio se produce la gelificación instantánea, obteniendo una membrana de alginato-cloruro de calcio.

El alginato es uno de los polímeros de origen natural, extraído primariamente de tres especies de algas marrones, cuya aplicación está ampliamente distribuida en la industria alimentaria, es uno de los más empleados como matriz encapsulante de diferentes compuestos (George, 2012), ya que permite obtener un gel estable y biocompatible. Químicamente es un polisacárido lineal no ramificado (Figura 7), compuesto por bloques alternados de residuos de ácido β -D-manurónico (M) y de ácido α -L-gulurónico (G) unidos mediante enlaces 1-4 (Calero, et al., 2008).

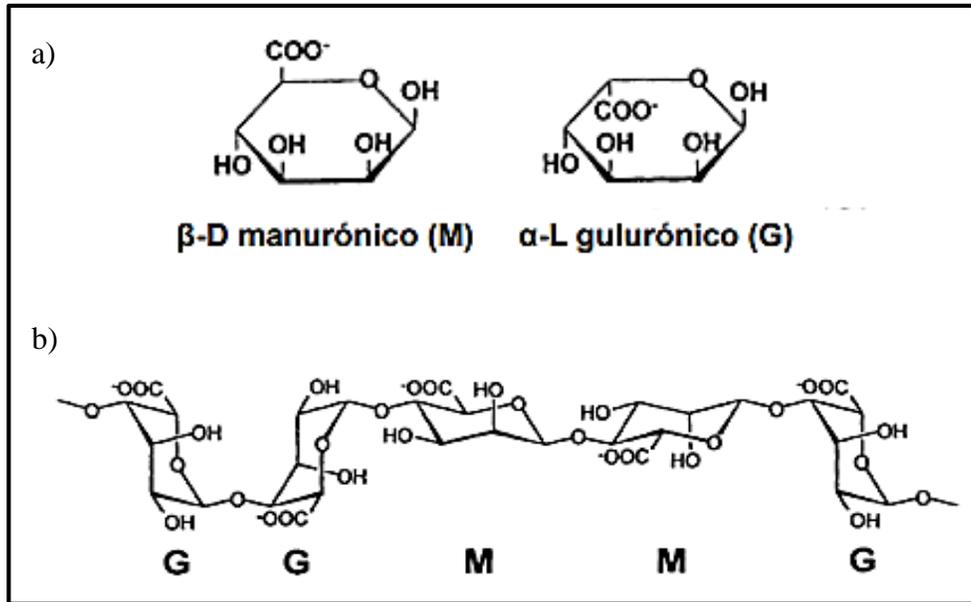


Figura 7. Estructura del polímero de alginato a) Monómeros de alginato, b) Conformación de la cadena de alginato (López-Córdoba, 2012).

La gelificación iónica se divide en gelificación iónica interna y gelificación iónica externa:

- a) La gelificación externa, donde una sal de calcio soluble es agregada en el seno de una emulsión A/O, es la más estudiada. Sin embargo, el tamaño de partícula no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagular en grandes masas antes de adquirir la consistencia apropiada. Además, el tamaño de partícula que se obtiene es grande entre $400\ \mu\text{m}$ y $1\ \text{mm}$ (Adolfo, et al., 2011).

- b) La gelificación interna se basa en la liberación de iones calcio desde un complejo insoluble en una solución de alginato de sodio. Esto se lleva a cabo por acidificación de un sistema aceite-ácido soluble, con participación en la fase acuosa del alginato. Esta técnica permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$. De acuerdo con esta técnica, a la fase acuosa, generalmente formada por alginato y carbonato cálcico, se le adiciona la fase oleosa (aceite vegetal, Span 80 y ácido acético) (Villena, 2009).

La gelificación y el entrecruzamiento del polímero se logra gradualmente a través de la reacción entre el calcio y los residuos de los ácidos glucurónicos de la cadena, formándose una red tridimensional, la estructura se conoce como “caja de huevo” (Figura 8) en la que, “los huevos” serían los iones de calcio (Rousseau, 2004):

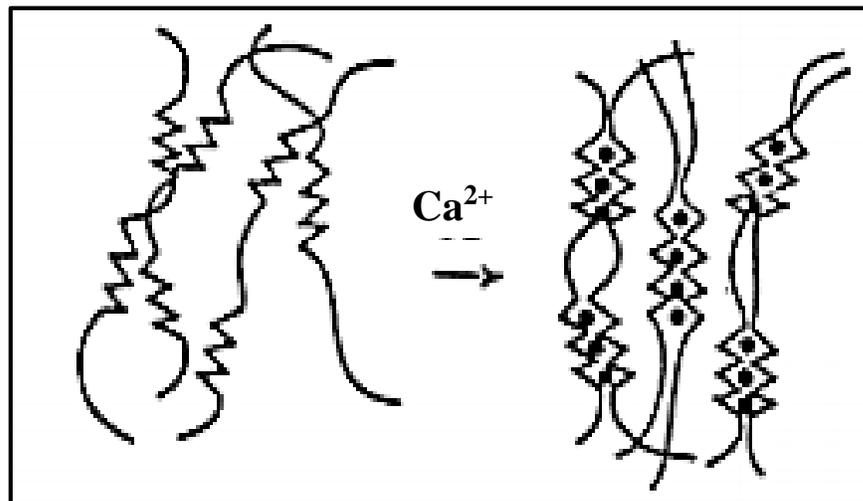
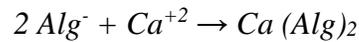


Figura 8. Formación del gel de alginato de calcio (Villena, 2009).

Los factores más importantes que influyen sobre la gelificación son la concentración, la composición química, la secuencia de segmentos manurónicos y gulurónicos, la relación entre iones gelificantes y no gelificantes y la presencia de agentes complejantes como fosfatos o citratos (Yang, 2011).

Muchos compuestos pueden ser encapsulados en este tipo de cápsulas, ya sean hidrofóbicos o hidrofílicos, sensibles a la temperatura, líquidos o sólidos, etc. (Champagne, 2007). Algunos de los compuestos activos encapsulados con alginato son antioxidantes naturales, aceites esenciales, células microbianas, fármacos, entre otros.

1.4.2. Aceites esenciales utilizados en la nanoencapsulación.

Las frutas frescas al ser cortadas pierden su frescura y consecuentemente sus características organolépticas como color, sabor u olor, incluso cuando se almacenan a bajas temperaturas. En los últimos años se han utilizado aceites esenciales en la conservación de frutos, los cuales ayudan a mejorar o potencializar el sabor, brindan un aroma más agradable, o incluso fungen como antimicrobianos naturales.

Los aceites esenciales se obtienen a partir de diferentes partes de las plantas como flores, yemas, semillas, hojas, ramas, hierbas, madera, frutos y raíces. Son mezclas complejas de ésteres, aldehídos, cetonas y terpenos: además son compuestos solubles en alcoholes y poco solubles en agua. Es por ello que para su extracción se utilizan disolventes como acetato, etanol y cloruro de etileno).

Los aceites esenciales derivados de plantas son conocidos por su actividad antimicrobiana contra un amplio rango de bacterias y hongos (Rodríguez, 2011). Ejemplo de estos aceites son el aceite esencial de lima y α -tocoferol:

a) Aceite esencial de lima

El aceite esencial de lima proviene de *Citrus aurantifolia* de la familia de plantas Rutaceae, el árbol es de hoja de perenne, corto y tupido, crece entre 2 y 4 metros de altura, siendo más pequeño que el árbol de naranja o el pomelo. Tiene hojas de color verde oscuro, flores blancas y frutas ovales verdes (Sotelo et al., 2017).

Este aceite tiene una fuerte fragancia cítrica y es de color oliva pálido o amarillo claro dependiendo de como se produjo, por las características que confiere es extensivamente utilizado en la industria de alimentos y bebidas, así como en la fabricación de fragancias, productos de limpieza, detergentes, jabones y otros productos de belleza (Martínez-Viveros, 2014).

Este fruto es buena fuente de pectina, con una alta actividad antioxidante y microbiana, está cargado de hidrocarburos terpénicos, como el α -pineno, β -pineno, d-pineno, canfeno, sabineno y terponolene. También contiene compuestos oxigenados como el α -terpineol, linalool y fenchol; contiene compuestos volátiles como ésteres, lactonas, alcoholes y compuestos carbonilos, al ser encapsulado evita que la sustancia activa se evapore, además de controlar la liberación y mejorar la absorción en el cuerpo (Falguera, et al., 2011).

Además de sus propiedades antioxidantes y bactericidas, funge como analgésico, antidepresivo, desinfectante, deodorante e insecticida, además de que gracias a su rico contenido en vitamina C, lo hacen un refuerzo ideal del sistema inmunitario. Es considerado un aceite seguro, ya que no es tóxico ni irritante.

Este ingrediente fungirá como agente antioxidante y antimicrobiano el cual ayudará a retardar el oscurecimiento enzimático y la aparición de hongos, además de potencializar el sabor en el fruto (Martínez-Viveros, 2014).

b) α -tocoferol

Tocoferol es un nombre genérico para una familia formada por 8 compuestos con actividad de vitamina E. La forma más común es el α -tocoferol, que se suele añadir a los suplementos vitamínicos y que se utiliza también como antioxidante. Es el más importante antioxidante secundario y liposoluble de las células, también es el más biológicamente activo y biodisponible. La reacción predominante responsable de la actividad antioxidante del tocoferol es la donación de átomos de hidrógeno, donde se forma el radical tocoperoxil, como se muestra en la Figura 9 (Podsdek, 2007).

Es un aceite de color amarillento, termolábil, insoluble en agua pero soluble en alcoholes, tiene un peso molecular de 430.7 mol/g, además de ser estable en soluciones ácidas.

El α -tocoferol funciona como un antioxidante que rompe la cadena y evita, junto con otras sustancias, la propagación de reacciones de radicales libres a partir de la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, evitando las reacciones en cadena, por lo que tiene una acción

estabilizante de los lípidos de la membrana. Su papel antioxidante se basa en la formación de un radical α -tocoferoxilo altamente estable por la pérdida de un hidrógeno fenólico, secuestra los radicales libres reduciéndolos a metabolitos menos activos. Forma parte de un conjunto de factores del sistema de defensa antioxidante celular, sistema que incluye enzimas como la superóxido dismutasa, la glutatión peroxidasa, la catalasa, etc. y otros factores no enzimáticos como el ácido úrico o el glutatión (Tovar, 2013).

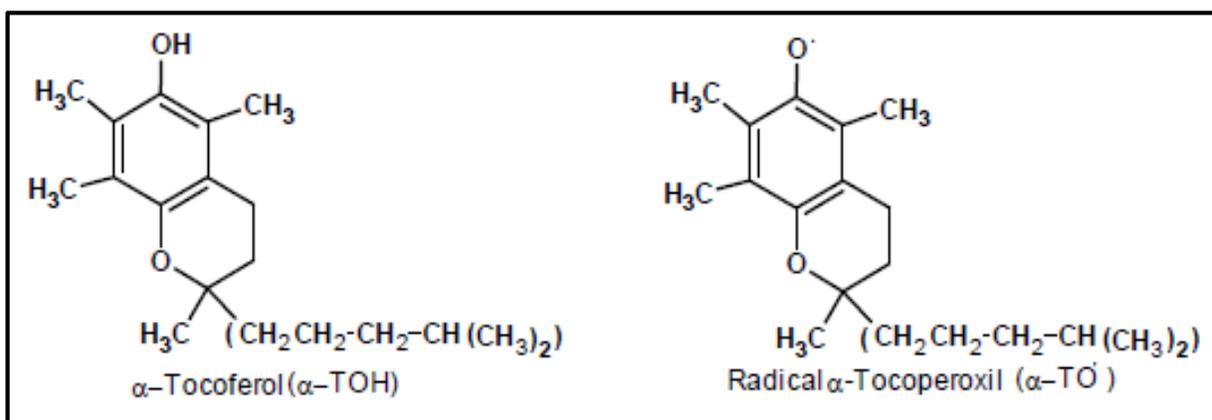


Figura 9. Reacción del tocoferol para formar el radical peroxil (Tovar, 2013).

Los tocoferoles proporcionan varios beneficios, previniendo las enfermedades crónicas asociadas con el poder oxidativo. Cuando el α -tocoferol se incorpora a una matriz polimérica, su eficacia depende del tipo de envasado y almacenamiento (Martelli et al., 2017).

Las fuentes de α -tocoferol son muy numerosas. Los alimentos más ricos en α -tocoferol son las nueces, las semillas y los aceites vegetales. También se encuentran cantidades importantes en las hojas de las verduras y en algunas frutas.

CAPITULO II

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia del tratamiento de luz ultravioleta y nanocápsulas con antioxidantes en mango fresco cortado-refrigerado, mediante los cambios en sus propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y actividad antioxidante para incrementar su vida útil.

2.2. Objetivos Particulares

Objetivo Particular 1

Valorar los cambios fisicoquímicos del mango cortado, por efecto del tratamiento con radiación UV-C inmerso en un líquido de cobertura con y sin nanocápsulas de aceite esencial de lima y α - tocoferol, determinando pH, acidez, sólidos solubles y turbidez relacionándolos con el efecto de los tratamientos en la conservación refrigerada de mango.

Objetivo Particular 2

Analizar los cambios texturales del mango cortado, sometido a un tratamiento con radiación UV-C y un líquido de cobertura con nanocápsulas de aceite esencial de lima y α - tocoferol, mediante la determinación de firmeza por la prueba de punción y su relación con la pérdida de calidad del fruto almacenado a 7 °C.

Objetivo Particular 3

Comparar el efecto del tratamiento con radiación UV-C en mango fresco cortado inmerso en un líquido de cobertura con y sin nanocápsulas, mediante la evaluación de cambios de color, fenoles totales y ácido ascórbico que determinen su efectividad en el incremento de vida útil del fruto refrigerado.

Objetivo Particular 4

Evaluar la capacidad antioxidante del mango fresco cortado-refrigerado aplicando radiación UV-C y un líquido de cobertura con nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol, mediante radical DPPH⁺, correlacionando los resultados con la actividad oxidativa del fruto.

2.3. Justificación de variables

Los frutos frescos cortados muestran una alta preferencia por parte del consumidor, lo que ha dado lugar a la búsqueda de nuevas alternativas de comercialización y presentación de los mismos, tomando en consideración que los frutos al ser cortados aceleran su actividad metabólica propiciando cambios que conllevan a su descomposición y la pérdida de calidad en general.

El empleo de un líquido de cobertura en la conservación de frutos cortados es una alternativa viable, ya que brinda excelentes propiedades de barrera y mediante la correcta selección de sus componentes, permite extender el tiempo de vida útil del fruto.

Hoy en día existe la tendencia de preparar alimentos sin azúcar añadida y considerar elementos que puedan lograr incrementar las propiedades funcionales de los alimentos, como componente del líquido de cobertura es posible considerar polisacáridos como la inulina de agave la cual logra estabilizar el sabor del producto, en conjunto con la goma arábica que incrementa el contenido de sólidos y disminuye la aw y la carboximetilcelulosa de sodio

(CMC-Na) que contribuye a estabilizar las partículas en el líquido de cobertura, así como las nanocápsulas.

2.4. Actividades Preliminares

2.4.1. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

El acondicionamiento de la cámara de refrigeración, se llevó a cabo empleando un termohigrómetro digital marca *Lascar Electronics Modelo USB-2 Data Logger* utilizado para registrar la distribución de las temperaturas en la cámara de refrigeración, de tal manera que durante el almacenamiento se tuvieran temperaturas de 7 ± 1 °C y humedades relativas de ≈ 85 %. La Figura 10, muestra la forma en que se llevó a cabo el monitoreo de temperaturas, así como los puntos en las rejillas en las que se registró el cambio de temperatura.

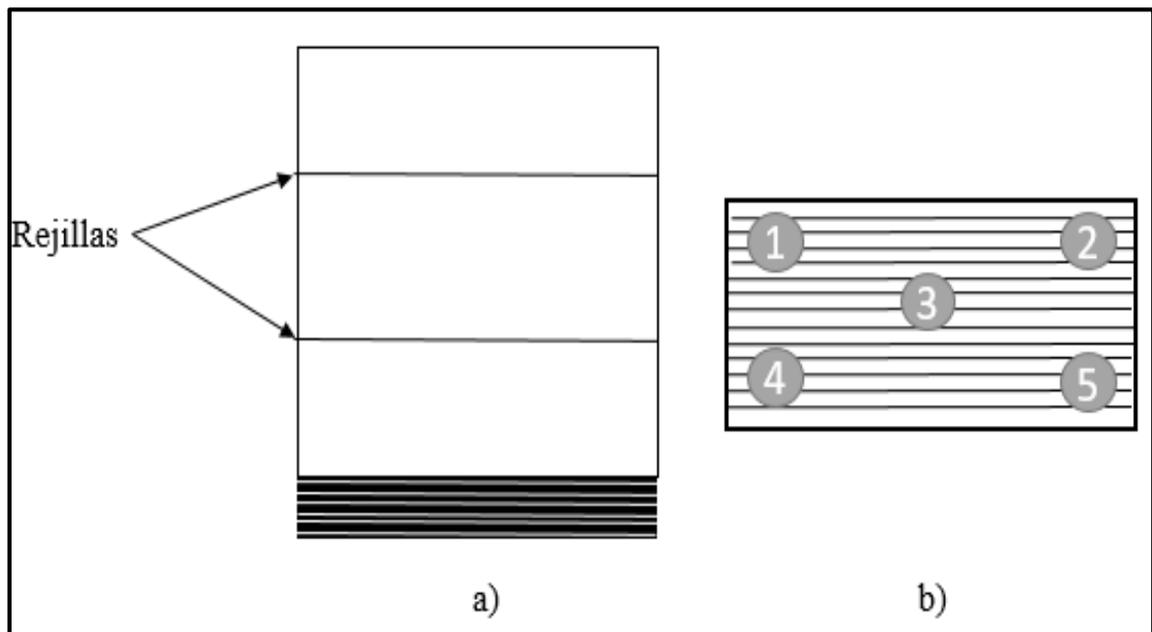


Figura 10. Punto de lectura para el acondicionamiento del frigorífico.

2.4.2. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta

Se acondicionó la cámara de luz ultravioleta con el fin de medir la incidencia de luz ultravioleta, se empleó una lámpara de 15 W y 254 nm de UV-C, el monitoreo se llevó a cabo en 9 diferentes puntos de la rejilla dentro del equipo con un medidor (UV Light meter, marca Lutrón, Digital Instruments). La Figura 11 muestra las posiciones consideradas para llevar a cabo la medición, tomando en cuenta que el área de exposición del envase fue de 24 cm de distancia de la lámpara.

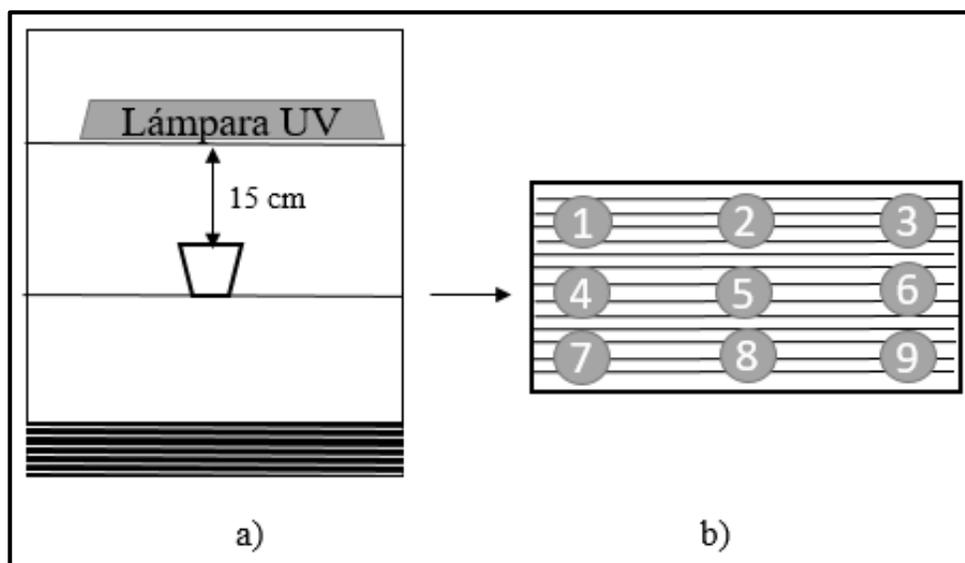


Figura 11. Punto de lectura para el acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta.

2.4.3. Selección del mango (*Mangifera indica L.*) variedad ataulfo.

Se adquirió un lote de 25 kg de mango en la central de abastos de la Ciudad de México, Los mangos fueron seleccionados de acuerdo al estado de maduración 4, limpios, sin algún tipo de materia extraña visible, sin olores extraños, con textura firme, visualmente frescos, de tamaños similares y exentos de podredumbre o deterioro, daños causados por plagas, manchas necróticas negras o estrías, pliegues o magulladuras, tal y como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Selección del mango (*Manguifera indica L.*) variedad ataulfo.

2.4.4. Preparación de nanocápsulas por gelificación interna.

Las nanocápsulas de α -tocoferol y aceite esencial de lima, fueron preparadas por el método de gelificación interna. Primeramente, se preparó una nanoemulsión de aceite de lima o α -tocoferol mediante emulsificación convencional empleando Span[®]80 como estabilizante oleoso y alcohol polivinílico en la fase continua, para emulsificar se emplearon 2 ciclos de 13,500 rpm durante 5 min con un agitador de alta velocidad (Ultra-Turrax[®] T25 Digital, IKA, Alemania). Para llevar a cabo la gelificación interna se preparó una dispersión de alginato de sodio al 0.25 % y pectina cítrica al 0.5 %, se llevaron al agitador de alta velocidad (Ultra-Turrax[®] T25 Digital, IKA, Alemania) en dos ciclos a 10,000 rpm durante 5 min.

Finalmente, la gelificación y formación de las nanopartículas se llevó a cabo empleando una solución de Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) al 0.0156 M y polivinil alcohol (PVAL) al 0.5 %, esta mezcla fue adicionada por goteo, a la dispersión que contenía los polisacáridos, empleando una bomba Syng Pump.

2.4.5. Caracterización de los sistemas submicrónicos: Evaluación del tamaño de partícula (TP) e índice de polidispersión (IPD)

La distribución del TP y del IPD de los sistemas coloidales fueron determinados mediante la técnica de dispersión de luz láser con un ángulo fijo de 90° usando un equipo Zetasizer® 4 (Malvern Instruments® ZEN NS 3600, UK) a 25 °C. Las dispersiones fueron diluidas con agua destilada Mili-Q®. Las mediciones se realizaron por triplicado, obteniendo la distribución de tamaños de partícula con su correspondiente IPD.

2.4.6. Preparación del líquido de cobertura

El líquido de cobertura con nanocápsulas se preparó de acuerdo con lo descrito en la Tabla 4 en donde todos los tratamientos fueron comparados con un control compuesto únicamente por polisacáridos.

Tabla 4. Formulación del líquido de cobertura para la conservación de mango variedad Ataulfo, para muestras control y con nanocápsulas.

Componente	Control	Con nanocápsulas
<i>Goma arábica</i>	10 %	10 %
<i>Inulina de agave</i>	2 %	2 %
<i>Carboximetil celulosa (CMC)</i>	0.1 %	0.1 %
<i>Agua</i>	A completar 100 %	A completar 100 %
<i>Nanocápsulas aceite de lima</i>	0	200 µg/mL
<i>Nanocápsulas α-tocoferol</i>	0	100 µg/mL

2.5. Diseño Experimental

En la Tabla 5, se muestran los factores y niveles de variación, así como las variables dependientes con su respectiva técnica o instrumentos de medición, de donde se obtienen las variables de respuesta que permiten determinar los cambios físicos, fisicoquímicos, texturales y de actividad antioxidante de mango fresco cortado en un líquido de cobertura a 7 ± 1 °C, almacenado por 24 días.

Tabla 5. Factores y niveles de variación.

Variable independiente	Niveles de variación	Número de replicas	Variable dependiente	Técnica o instrumento de medición
Incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de limón (NC's)	- Con nanocápsulas - Sin nanocápsulas	3	Color	Colorimetría (Colorímetro Minolta® CR-300)
			pH	Potenciómetro (Hanna Instruments HI 213)
			Porcentaje de transmitancia (Turbidez)	Turbidímetro (WG2-200 Ratio Turbidimeter)
	Sólidos solubles		Refractómetro (Hanna Instruments HI 96801)	
	Ácidoz		Método de ácidoz total por volumetría (AOAC, 2014)	
	Prueba de punción (firmeza)		Texturómetro (Brookfield - CT3)	
	Ácido ascórbico		Volumetría	
	Concentración de fenoles totales		Folin – Ciocalteu (Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS)	
	DPPH			

2.5.1. Preparación de las muestras

Previo al proceso de envasado y adición del líquido de cobertura, el mango fue seleccionado, lavado con agua y jabón, desinfectado con una solución bactericida de plata coloidal 5 mL/L durante 10 min, dividido en 3 partes para retirar la semilla de las dos caras externas, se retiró la pulpa con una cuchara de acero inoxidable, se cortó en cubos de tamaño homogéneo, que posteriormente fueron sumergidos en una solución de CaCl_2 al 1% durante 5 min, como se muestra en la Figura 13.

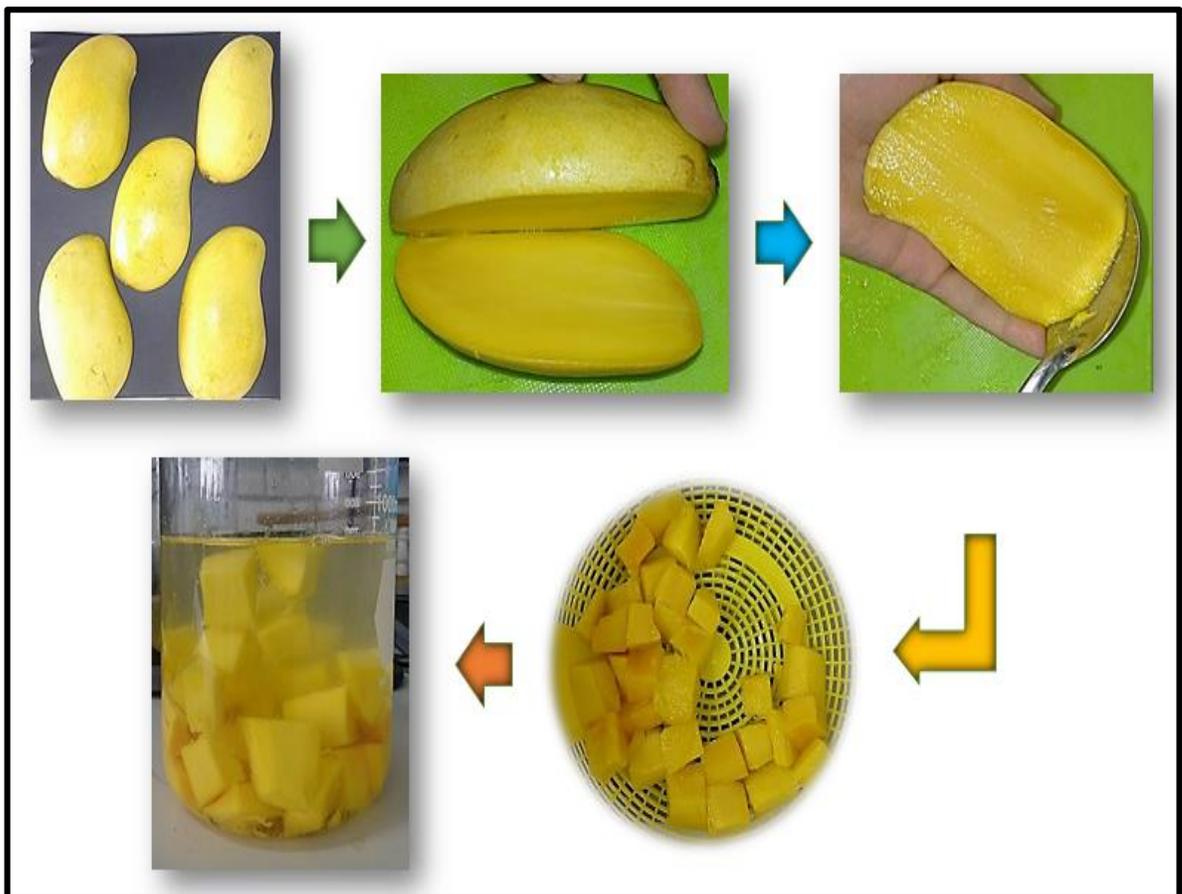


Figura 13. Preparación de la muestra.

2.5.2. Proceso de envasado de las muestras

Los mangos variedad 'Ataulfo' fueron envasados en vasos de poliestireno cristal con tapa, en cada vaso se colocaron 70 ± 1 g de mango con 100 mL de líquido de cobertura, en la Figura 14 (a) se muestra como quedaron los frutos cortados ya envasados. Una vez envasadas fueron colocadas dentro de la cámara de luz ultravioleta UV-C a una distancia de 24 cm de la lámpara al envase durante 5 min y posteriormente a la cámara de refrigeración a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su almacenamiento durante 24 días (b).

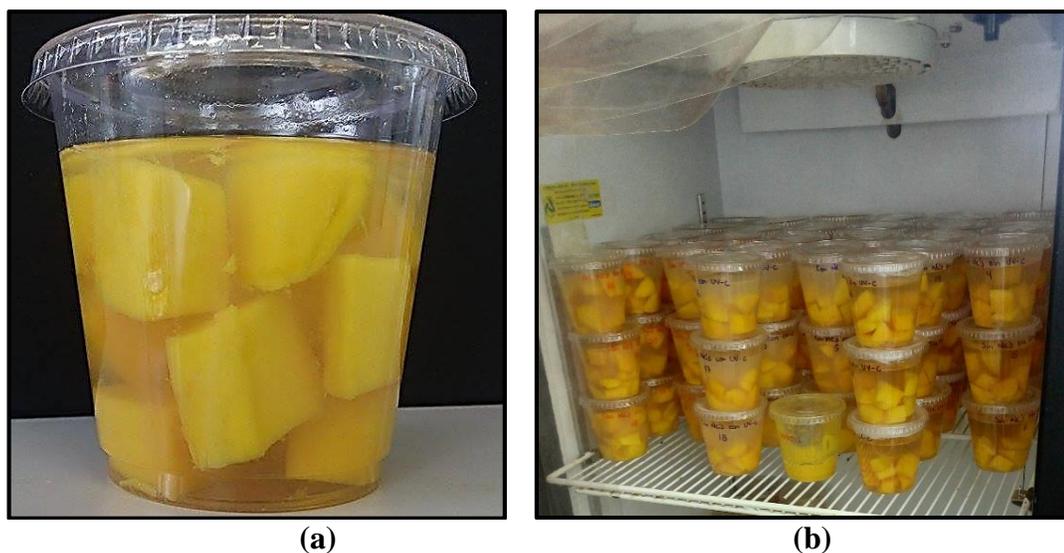


Figura 14. Envasado (a) y almacenamiento de las muestras de mango (b).

2.6. Evaluación de Color

Se empleó un sistema RGB de medición de color Agrocólor® de Polinare (USA), el equipo fue calibrado empleando una placa blanca como referencia. Se determinó el color obteniendo las lecturas correspondientes a través del software del equipo. Estas fueron transformadas

coordenadas L*, a*, b* empleando un convertidor de uso libre (*Convert RGB to Lab, ColorMine.org*).

Con las coordenadas L*, a* y b*; el ángulo de tonalidad (°Hue) y la cromaticidad (croma) fueron calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$^{\circ}Hue = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad Ec. 1$$

$$Croma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad Ec. 2$$

2.7. pH

La determinación de pH se realizó por medio de un potenciómetro digital marca *Hanna Instruments*[®] modelo HI213, el cual fue calibrado antes de las mediciones con soluciones buffer de 4 y 7. La muestra fue triturada y diluida con agua destilada previo a cada medición, de acuerdo a lo señalado en la técnica 33.006 del AOAC (1975).

2.8. Sólidos solubles

La determinación de sólidos solubles se realizó con un refractómetro digital marca *Hanna Instruments*[®] modelo HI 96801, de acuerdo a la metodología 22.024 del AOAC (1975), en donde se fundamenta la relación entre el índice de refracción y la concentración de las soluciones sacarinas, expresando el valor en °Brix.

2.9. Ácidoz total

De acuerdo al método 33.009 propuesto por la AOAC (1975), la ácidoz total por volumetría se determinó por medio de una titulación ácido-base con una solución de NaOH 0.1N y

fenolftaleína como indicador, obteniendo el volumen gastado para neutralizar el ácido, posteriormente se utilizó la relación para obtener el porcentaje de acidez (Ec. 3).

$$\% \text{ acidez} = \frac{V * N * m_{eq} * V_{dilución}}{W} \quad Ec. 3$$

En donde V es el volumen gastado de NaOH, N es la normalidad de la solución de NaOH, m_{eq} son los miliequivalentes para el ácido a cuantificar (ácido cítrico), W es el peso o volumen de la muestra y $V_{dilución}$ es el volumen de agua utilizado en la dilución de la muestra.

2.10. Contenido de ácido ascórbico

Para la determinación de ácido ascórbico 5 mL de solución estándar (solución de ácido ascórbico y ácido fosfórico 3%) y 5 mL de ácido fosfórico se mezclaron para estandarizar el indicador (2,6-Dichlorophenolindophenol), con el gasto obtenido en mL se calculó el factor de tinción con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de tinción} = \frac{0.5}{mL \text{ gastados}} \quad Ec. 4$$

En donde el valor de 0.5 representa la fracción de los 5 mL de solución estándar y mL gastados, es el volumen de indicador gastado hasta cambiar la tonalidad de la muestra.

Por otra parte, 10 g de muestra fueron homogenizados con 100 mL de ácido fosfórico durante 30 min, lo cual se centrifugó por 20 min y se filtró para obtener 5 mL de alícuota, la cual fue

titulada con el indicador. El contenido de ácido ascórbico fue reportado como mg de ácido gálico por 100 g de muestra, obtenido de la siguiente ecuación:

$$\text{Ácido ascórbico} = \frac{\text{mL gastados} * \text{Factor de tinción} * V}{\text{alícuota} * W \text{ muestra}} \quad \text{Ec. 5}$$

En donde mL gastados son los mililitros gastados en la titulación de la alícuota, V es el volumen de ácido fosfórico para homogenizar la muestra (100 mL), alícuota corresponde a los 5 mL de extracto y W muestra son los 10 g de muestra inicial.

2.11. Prueba de firmeza

La firmeza corresponde a la fuerza requerida para penetrar la superficie de la muestra, se determinó en un texturómetro (*Texture Analyzer CT3, Brookfield®*), con una celda de carga de 25 kg y precisión de 0.001, para llevar a cabo el ensayo se empleó un punzón plano de acero inoxidable de 3 mm de diámetro, la prueba se llevó a cabo a una velocidad de 1 mm/s, con una carga de activación de 0.7 N, las muestras en forma de prisma de 1 x 1 cm de largo y ancho y 1.5 cm de espesor fueron evaluadas, registrando la fuerza máxima requerida para penetrar 0.5 cm de espesor de la muestra. En la Figura 15, se representa el equipo y el punzón empleado en la determinación. La prueba se llevó a cabo por triplicado.

2.12. Turbidez

La turbidez causada por las partículas suspendidas en el líquido de cobertura fue medida en un Turbidímetro (*WG2-200 Ratio Turbidimeter*), el cual hace pasar un rayo de luz a través de la muestra midiendo la luz reflejada por las partículas en un ángulo de 90° con respecto al

rayo incidente. Las muestras fueron previamente diluidas en una relación de 6.5 mL del líquido de cobertura completando a 50 mL con agua destilada para evitar mediciones erróneas en el equipo, resultado de los valores de turbidez tan elevados de las muestras. Las lecturas del equipo se dan en unidades Nefelométricas de turbidez (NTU).



Figura 15. Prueba de firmeza a las muestras de mango fresco cortado.

2.13. Concentración de fenoles totales

El método colorimétrico de Folin Ciocalteu fue utilizado para determinar la concentración de fenoles totales, en donde 100 μL de extracto fenólico se mezclaron con 3 mL de agua destilada y 250 μL de reactivo comercial Folin-Ciocalteu (diluido 1:100), después de 8 min se adicionaron 750 μL de Na_2CO_3 (200 g/L), la mezcla fue colocada en la obscuridad durante

30 min para posteriormente medir la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro *Genesys 10S UV-VIS*, marca *Thermo Scientific®*, USA. Los resultados fueron interpolados respecto a la curva patrón de ácido gálico previamente obtenida ($1.34564 E - 03$), para expresar los resultados como mg equivalentes de ácido gálico (mgEAG) por 100 gramos de peso de muestra (Galindo, 2014).

$$Fenoles\ totales = \frac{Absorbancia\ obtenida}{1.34564\ E-03} \quad Ec.4$$

2.14. Capacidad Antioxidante por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil)

Los métodos para determinar la capacidad antioxidante se basan en la inhibición de ciertas reacciones por la presencia de antioxidantes, son utilizados para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos que contienen los frutos para captar los radicales libres generados, operando así en contra los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación.

En los últimos años se han adoptado un amplio rango de ensayos espectrofotométricos para medir la capacidad antioxidante de los alimentos, muestras biológicas y extractos vegetales. Usualmente los ensayos antioxidantes in vitro utilizan un captador de radicales libres y son relativamente sencillos de realizar. Entre los ensayos de captación de radicales libres, uno de ellos es el método DPPH (Tovar, 2013).

El radical DPPH se evaluó de acuerdo a la metodología descrita por Bondet, et al. (1997), Para la determinación se preparó una solución madre de 0.024 mg de DPPH en 100 mL metanol. Se tomó una alícuota de 100 μ L de extracto y 2.9 mL de solución DPPH, se agitaron y se dejaron reposar durante 30 min en la oscuridad. Posteriormente esta muestra fue medida a 517 nm en el espectrofotómetro *Genesys 10S UV-VIS* (marca *Thermo Scientific®*, USA) para obtener la absorbancia, utilizando metanol como blanco. La Figura 16 muestra los

cambios esperados en la prueba colorimétrica. Los resultados fueron expresados en mg de Trolox por 100 g de muestra en base seca.



Figura 16. Capacidad antioxidante por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil).

2.15. Análisis estadístico

Para comparar los diferentes tratamientos se llevó a cabo un análisis ANOVA de una y dos vías, empleando el software estadístico MINITAB® 17, los resultados corresponden al menos a tres muestras. Las diferencias entre los tratamientos fueron evaluadas mediante una prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para comparar la media de los tratamientos.

CAPITULO III

TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Actividades Preliminares

3.1.1. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

De las mediciones de temperatura dentro de la cámara de refrigeración se obtuvo un promedio de 4 ± 1 °C, con una humedad relativa del 60%, este resultado se logró luego de regular el termostato del refrigerador y de colocar a diferentes distancias las rejillas del equipo, con la finalidad de regular el flujo de aire, garantizando así una correcta distribución de aire y temperatura para llevar a cabo el almacenamiento del producto en óptimas condiciones.

3.1.2. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta

La cámara de luz ultravioleta fue acondicionada para la exposición de las muestras. La rejilla se colocó a diferentes distancias, tomando en cuenta que el producto tiene una altura aproximada de 10 cm, se midió la incidencia de luz en 9 puntos diferentes con un medidor (UV Light meter, marca Lutrón, Digital Instruments), en donde se encontró que en los puntos 4, 5 y 6 (Figura 17), la incidencia de luz ultravioleta fue óptima para la radiación de mango Ataulfo, como método de desinfección. Estos niveles de incidencia de UV-C fueron elegidos basándose en estudios previos, donde se encontró que a incidencias de entre 2 a 5 kJ/m² se mantuvo la calidad de mango Ataulfo, sin embargo, con dosis mayores se provocaron daños y deterioro en el fruto (González-Aguilar, et al., 2007).

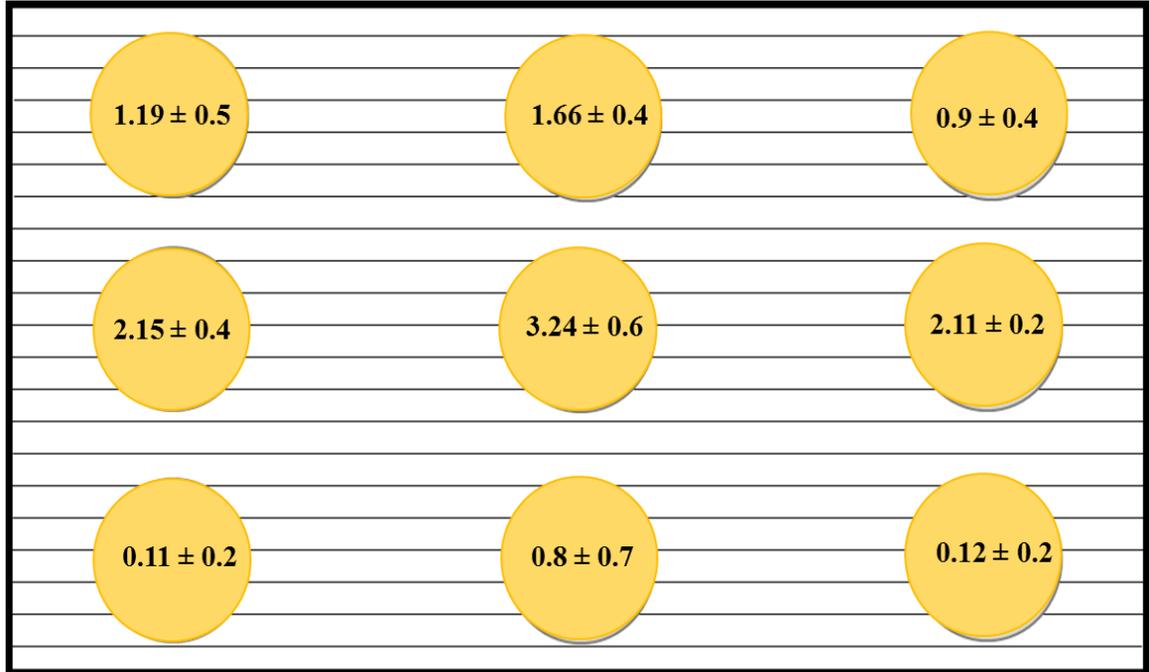


Figura 17. Lectura de la incidencia de luz ultravioleta en los diferentes puntos dentro de la cámara, reportado en kJ/m^2 .

3.1.3. Caracterización de nanocápsulas de α -tocoferol y aceite esencial de lima.

Los resultados obtenidos para el tamaño de partícula e índice de polidispersidad de las nanocápsulas preparadas por el método de gelificación iónica, fueron 239 ± 4.36 nm y 0.315 ± 0.03 mV, respectivamente, reflejando una talla submicrónica < 500 nm. Además, como un indicativo de la amplitud de tamaños de partícula, se obtuvo un índice de polidispersidad ≈ 0.3 reflejo de una estrecha distribución de tallas de partícula de acuerdo con lo reportado por Zambrano-Zaragoza et al. (2011).

Una de las desventajas del método por gelificación iónica, es que el tamaño de partícula no puede ser controlado en comparación con otras técnicas de nanoencapsulación, y en algunos casos las partículas tienden a aglomerarse antes de adquirir la consistencia apropiada, obteniendo un tamaño de partícula mayor y por ende un índice de polidispersión elevado (Villena, 2009).

De acuerdo con Mora-Huertas, et al. (2010), el tamaño de partícula depende en gran medida del método de preparación, de la naturaleza y concentración de los materiales utilizados (la composición de la fase orgánica, los materiales encapsulantes, los polímeros, los estabilizantes, etc.), así como el tiempo y velocidad de agitación y preparación.

3.1.4. Evaluación de absorción de líquido de cobertura.

Cuando se ponen en contacto la fruta y el líquido de cobertura, se presentan fenómenos de transferencia de masa u ósmosis, en donde la fruta expulsa agua y el fluido la absorbe. Ésta transferencia se debe al equilibrio que espontáneamente se busca establecer según la composición y concentración del líquido de cobertura, así como de la presión osmótica. Entonces, si el líquido de cobertura posee una mayor concentración de sustancias que la fruta, estas sustancias tienden a salir de la fruta hacia el líquido de cobertura, si las paredes celulares lo permiten. La primera que sale y en mayor cantidad es el agua. También otros componentes de la fruta tratan de salir; estos son algunos ácidos, minerales, azúcares, pigmentos y sustancias de sabor (Osorio, 2003; Salazar-Noriega, 2002).

En la Figura 18 se muestra el comportamiento de la absorción de líquido de cobertura de las muestras de mango fresco cortado en función a cada uno de los tratamientos durante su almacenamiento bajo refrigeración. Observándose que para el primer día de almacenamiento, en general, las muestras no absorbieron una cantidad significativa de líquido de cobertura, con valores de 6 a 8 mL/100 g de fruta aproximadamente, siendo hasta el día 3 donde aumenta la cantidad de líquido absorbido. Los mangos cortados con tratamiento con luz UV-C fueron los que absorbieron mayor cantidad de líquido de cobertura respecto a los otros tratamientos, absorbiendo 32.6 mL de líquido de cobertura/100 g muestra en el día 9, para posteriormente disminuir paulatinamente hasta el final del almacenamiento. Comportamiento similar fue el presentado por el tratamiento control, el cual mostró una absorción de líquido de cobertura de 32.61 mL/100 g fruta durante los 6 primeros días de almacenamiento, al día 9 este valor disminuyó 13.97 unidades, para posteriormente reabsorber líquido de cobertura a los 12 días

de almacenamiento y permanecer prácticamente constante durante el resto del almacenamiento. En las muestras en las que el líquido de cobertura incluye nanocápsulas en la formulación, se presentaron variaciones mínimas en su comportamiento durante los primeros 9 días de almacenamiento sin diferencia estadísticamente significativa en comparación con los tratamientos con UV-C y control, para posteriormente disminuir hasta los 18 días, tiempo en el que las muestras con solo nanocápsulas tuvieron variaciones para terminar expulsando una mayor cantidad del líquido absorbido al final del almacenamiento.

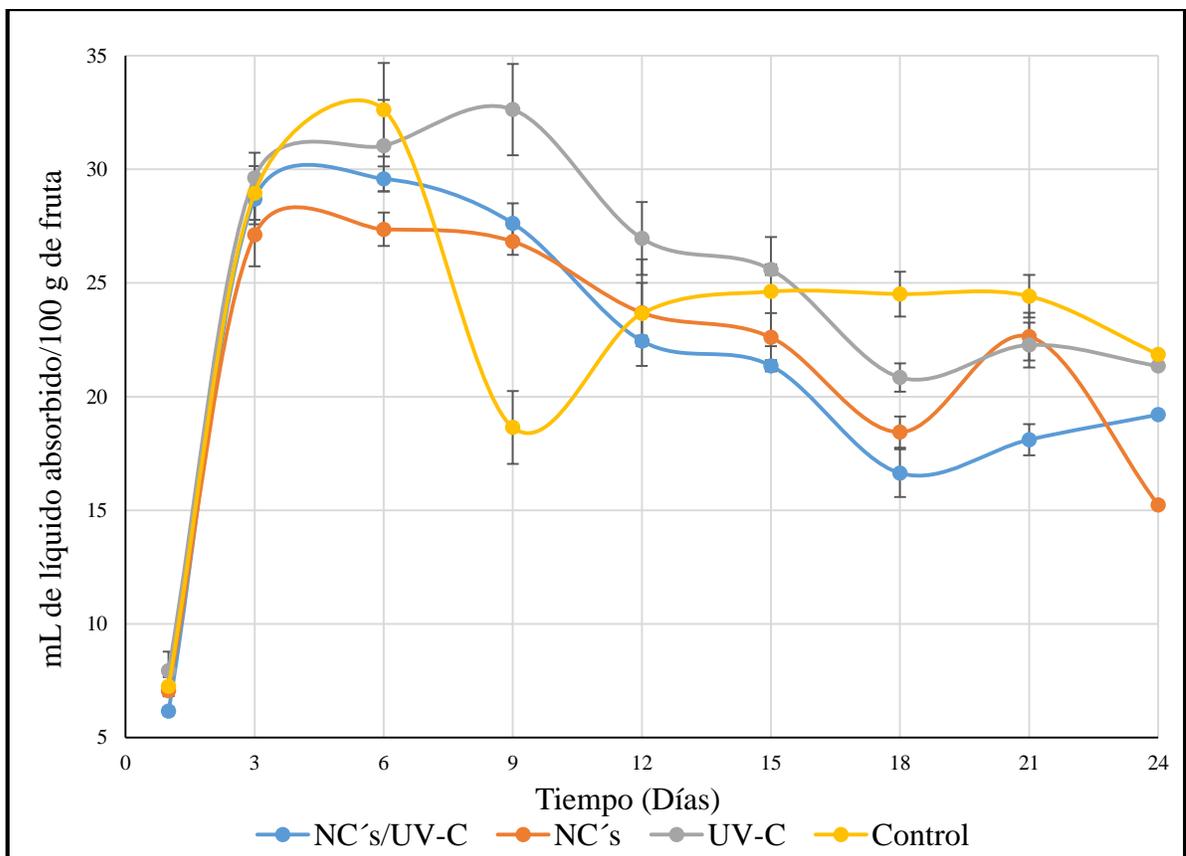


Figura 18. Líquido de cobertura absorbido en mango cortado durante su almacenamiento a 7°C durante 24 días.

Este comportamiento de las muestras de mango cortado, se atribuye a que los sólidos presentes en el líquido de cobertura tienden a fluir hacia el interior del tejido del fruto, hasta

conseguir el equilibrio entre el líquido y el producto, por lo que si las paredes celulares lo permiten esta migración no es muy elevada y se produce generalmente en los primeros días de contacto, tratando de permanecer constante a lo largo de su permanencia en almacenamiento (Quispe, 2016).

La posibilidad de que el soluto del líquido de cobertura entre en la fruta, así como la velocidad de difusión dependen del estado de madurez de la fruta, el tamaño de la misma, concentración de solutos en el líquido de cobertura, así como la temperatura de éste y del proceso (Quispe, 2016). Por lo general los tejidos de las frutas no permiten el ingreso de solutos por el tamaño de las moléculas, aunque si pueden dejar salir moléculas más sencillas como ciertos ácidos o aromas (Zapata, 1999).

3.1.5. Evaluación de Color

El color de los alimentos se debe a diferentes compuestos, principalmente orgánicos, o a pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos. La mayoría de las frutas y vegetales deben su color a sus correspondientes pigmentos, que son sustancias con una función biológica muy importante en el tejido. Existe una gran cantidad de pigmentos relacionados con las frutas y vegetales, entre ellos las clorofilas, los carotenoides, las antocianinas, los flavonoides, los taninos, las betalaínas, entre otros. Sin embargo, en ocasiones los pigmentos que contienen se alteran y cambian de color (Jiménez, 2004).

El color es un parámetro objetivo y una de las características externas más importantes para evaluar la calidad de alimentos frescos y procesados, por esto, determinar los cambios que se generan como resultado del procesamiento, almacenamiento y vida postcosecha de los frutos, está siendo el principal factor en la decisión de compra por el consumidor (Duque, 2007).

Los cambios en luminosidad (L^*), ángulo de tono ($^{\circ}H$) y saturación de color de mango fresco cortado se ven influenciados por diferentes factores como son la temperatura de almacenamiento y tratamientos a los que se somete el producto como sucede con la

aplicación de líquido de cobertura, radiación UV-C y sistemas de nanoencapsulación, en este caso.

a) Luminosidad

La luminosidad es definida como la capacidad para reflejar luz emitida a través de un objeto; o bien, la claridad u oscuridad que existe en un color de acuerdo a la capacidad de refracción de la luz a través de un cuerpo, cuya escala va de 0 a 100; donde 0 representa el color negro, mientras que el blanco una luminosidad de 100 (Mena, 2010).

La Figura 19, muestra que existió diferencia entre los tratamientos respecto a este parámetro a lo largo del almacenamiento bajo refrigeración de mango fresco cortado, en general todos tienen un comportamiento decreciente, lo cual se debe al incremento de la actividad enzimática, la cual provoca un oscurecimiento en el producto.

Este cambio fue más evidente en las muestras control, en donde la luminosidad o color característico del mango, se logró mantener hasta el día 12 un promedio de $86.42 \% \pm 2.54$, a partir de ahí disminuyó hasta $72.37 \% \pm 1.76$ para el día 18. Aunque a simple vista las muestras mantuvieron al final del almacenamiento un color característico de mango fresco, el lote control fue el que menos logró perdurar este atributo, lo cual se atribuye al alto contenido en carotenos que posee el mango favoreciendo el oscurecimiento enzimático más rápidamente (Jiménez, 2004). En cambio, en los tratamientos con aplicación de NC's, se observa que las muestras tuvieron la menor variación, en particular aquellas sin tratamiento UV-C, en las cuales hubo mayor estabilidad hasta el día 24.

En un estudio realizado por Moreno et al., (2017), irradiaron rebanadas de carambola a una dosis de 12.5 kJ/m^2 y posteriormente las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4°C durante 21 días, reportaron que inmediatamente después de la irradiación la fruta tratada con UV-C mostró valores de luminosidad más bajos, debido a la degradación superficial de las clorofilas y el aumento en la biosíntesis de carotenoides, principalmente β -caroteno, a

pesar de esto, se logró perdurar por mayor tiempo la luminosidad en comparación a las muestras control.

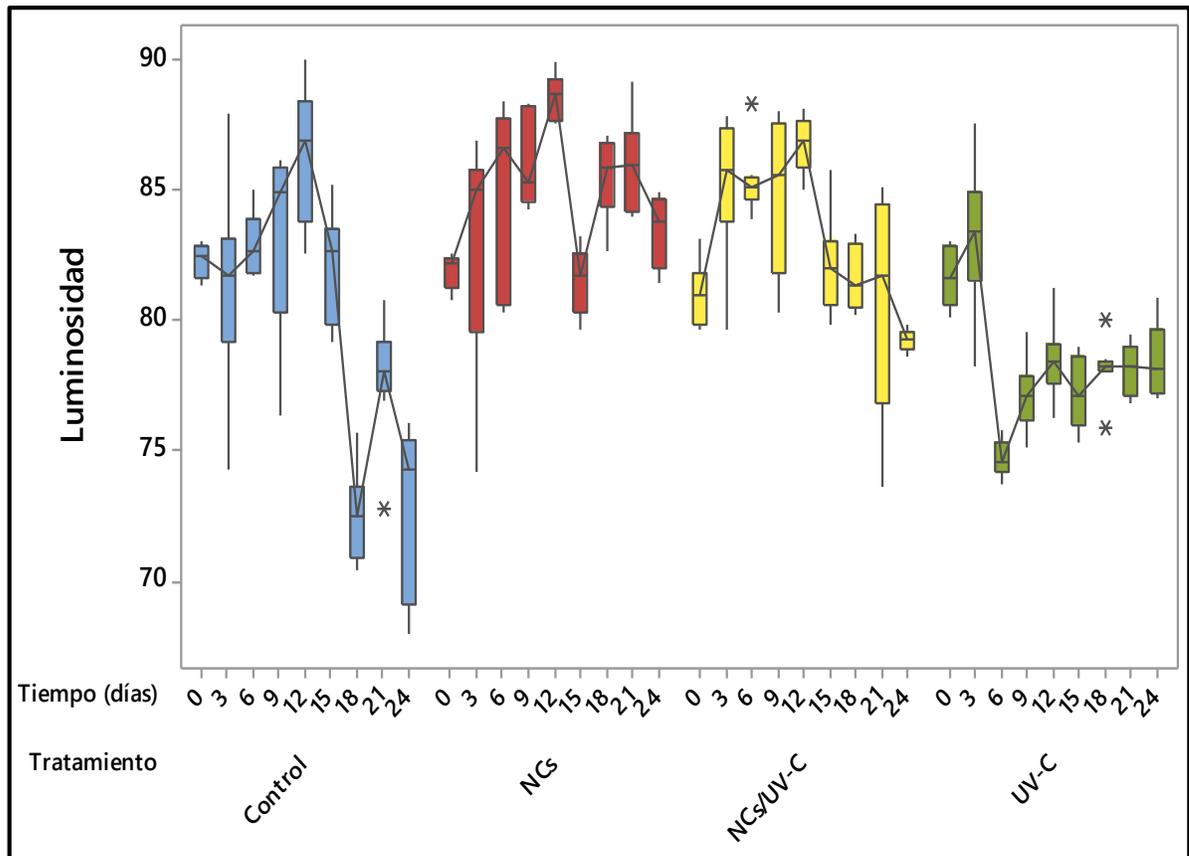


Figura 19. Cambios de luminosidad en mango fresco cortado en función a las características del líquido de cobertura.

Efecto similar se logró con el tratamiento UV-C, donde a pesar de que a partir del tercer día de almacenamiento las muestras disminuyeron el porcentaje de luminosidad 8.51 unidades, a partir del día 12 se observa un comportamiento estable hasta el término del almacenamiento, con un promedio de $78.07 \% \pm 0.5$.

a) Cromaticidad (croma)

La cromaticidad, también llamada croma, representa la pureza o intensidad del color, es el grado de diferencia existente entre un color y un gris de su misma luminosidad y claridad, que corresponde con la saturación del color percibido. Este parámetro es útil como indicador de madurez de alimentos frescos y procesados (Maldonado-Astudillo et al., 2016). En la Figura 20 se muestran los cambios en saturación de color en función al tiempo y composición del líquido de cobertura en mango almacenado en refrigeración a 7 °C. Se observa que las muestras con menor variación en la saturación del color fueron aquellas tratadas con nanocápsulas (α -tocoferol y aceite de lima), no mostrando diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$), logrando mantener la intensidad de color de las muestras a lo largo del periodo de almacenamiento, respecto a aquellas que previamente fueron sometidas a tratamiento con UV-C, hasta el día 21 donde existió una mayor variabilidad en el comportamiento de la cromaticidad. Sin embargo, la muestras control y aquellas que solo fueron tratadas con rayos UV-C mostraron mayor variabilidad desde los primeros días de almacenamiento. Lo que demuestra que el uso de nanocápsulas en la composición de líquido de cobertura tuvo efectividad para mantener por más tiempo la cromaticidad del mango fresco cortado, conservando esta propiedad similar al producto fresco inicial.

Sin embargo, Dussan, et al., en 2014, reportan que la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón de yuca y cera de carnauba en mango fresco cortado almacenado a 5 °C y humedad relativa de 90%, durante 24 días, no presentaron diferencias significativas en los resultados de cromaticidad en color, indicando que los recubrimientos comestibles ayudan a retardar el pardeamiento en los productos recién cortados, conservando por mayor tiempo las características de color en muestras de mango cortado. Por lo que, a pesar de que el tratamiento control tuvo más variaciones en comparación con los demás tratamientos NC's y UV-C, la aplicación del líquido de gobierno también fue efectivo para la conservación de la cromaticidad en mango fresco cortado.

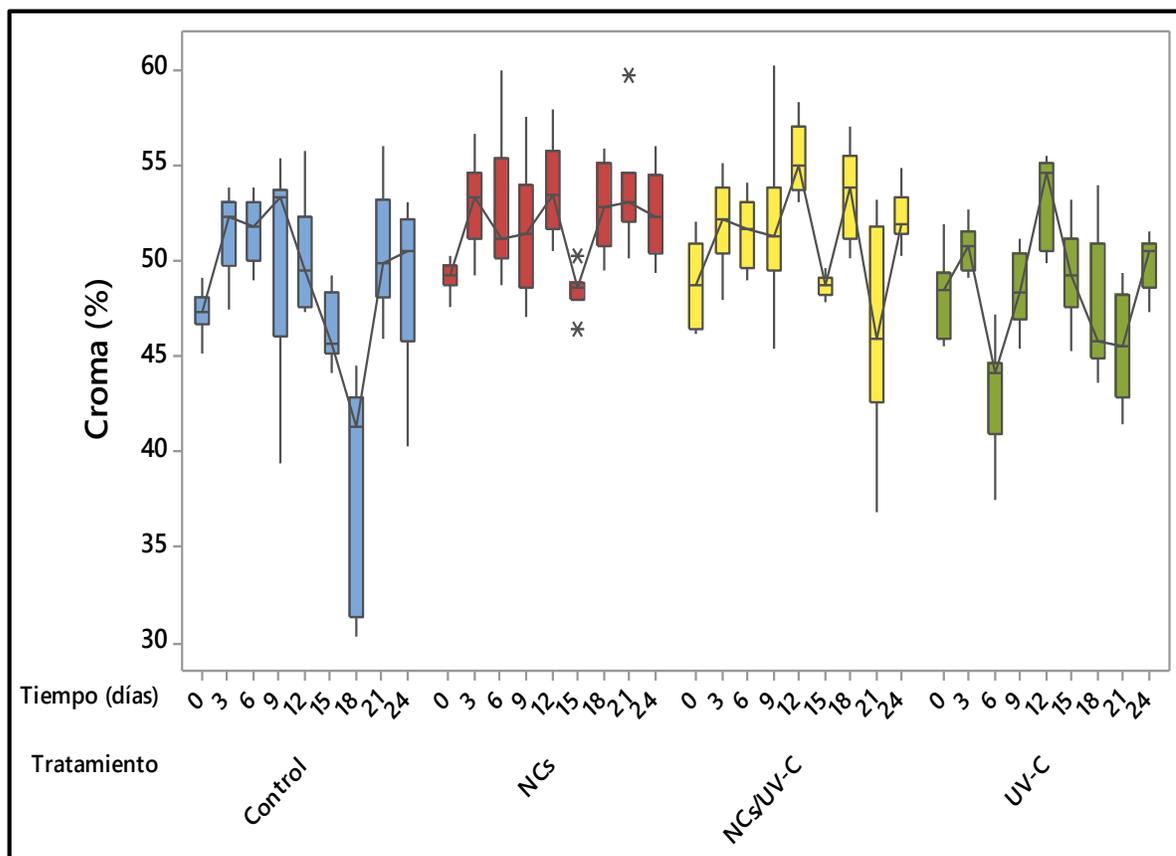


Figura 20. Cambios en saturación de color (croma) en mango cortado inmerso en líquido de cobertura, refrigerado a 7 °C.

b) Ángulo de tonalidad ($^{\circ}$ Hue)

De acuerdo a Rocha, et al. (2003), el $^{\circ}$ Hue representa una escala de la tonalidad de color, en la cual el círculo de color se representa 360°, donde el 0° es el color rojo, 90° es el color amarillo, 180° es el color verde y 270° es el color azul.

El mango ataulfo, presenta tonalidades de color que van del verde al amarillo naranja por la presencia de los trans- β -caroteno, trans-violaxantina y 9-cis-violaxantina que son los principales carotenoides responsables del cambio de color durante la maduración.

La Figura 21 muestra el comportamiento del ángulo de tonalidad de las muestras de mango fresco cortado de los diferentes tratamientos en función al tiempo, donde se aprecia que todas las muestras tienen una disminución a partir del tercer día, sin embargo, los tratamientos que menos lograron mantener este atributo fueron los que no contenían nanocápsulas en el líquido de cobertura, en especial, las muestras control; las cuales en los últimos días de almacenamiento mostraron una tonalidad más oscura en comparación al producto fresco, perdiendo alrededor de 9 unidades. Mismo comportamiento se presentó en el tratamiento UV-C, sin embargo, las muestras permanecen en un promedio de $85.79 \pm 0.72^\circ$ a partir del día 12 hasta los 18 días de refrigeración, es decir que con el tratamiento UV-C se logró una mayor estabilidad en comparación a las muestras control.

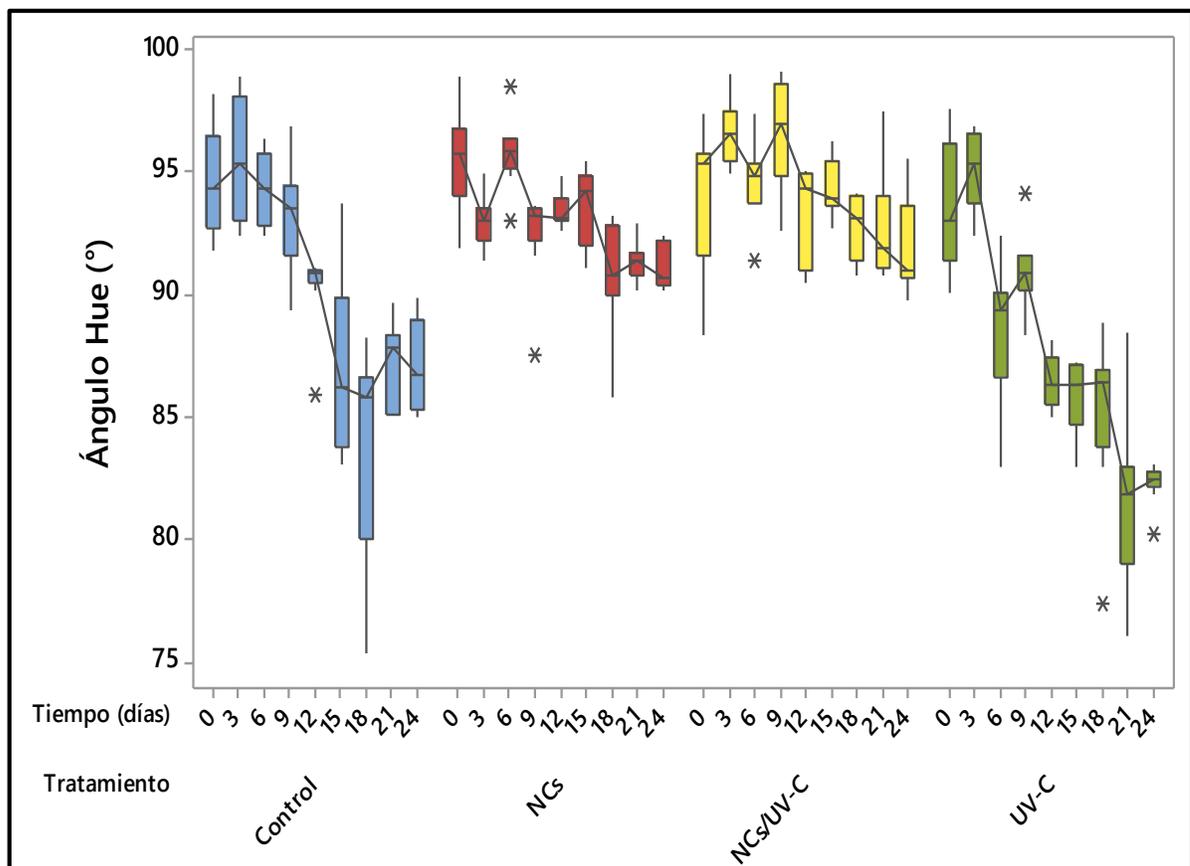


Figura 21. Cambios de ángulo de tono (Hue) en mango fresco cortado en líquido de cobertura a 7°C .

Un estudio realizado por Moreno, et al., en 2017, en carambola fresca cortada e irradiada con luz ultravioleta a 12.5 kJ/m^2 , reportan que el tratamiento UV-C fue efectivo, ya que ayudó a mantener la tonalidad y reducir el oscurecimiento enzimático debido al corte de los tejidos del fruto en comparación a las muestras control, sin perder otros atributos como el sabor, sólidos solubles o acidez después del corte.

Por su parte, los tratamientos a los que se adicionaron nanocápsulas con y sin radiación ultravioleta fueron las que presentaron un comportamiento más constante del ángulo de tonalidad por mayor tiempo y una disminución final de 5 unidades aproximadamente, lo que indica que la incorporación de nanocápsulas en este parámetro resultó ser eficiente pero en combinación con la exposición a luz ultravioleta se obtienen mejores resultados, prolongando la tonalidad del fruto durante todo el tiempo de almacenamiento sin diferencia estadísticamente significativa (≤ 0.05) entre los tratamientos submicrónicos.

3.1.6. pH

El pH se utiliza como una medida del grado de acidez o basicidad de una solución. En alimentos, es considerado un parámetro de calidad ya que es determinante para el control microbiano, la principal problemática que presentan los frutos frescos cortados es el crecimiento de microorganismos, debido a sus características de pH los que más se desarrollan son hongos y levaduras, siendo los que producen bióxido de carbono que al disolverse en el líquido de cobertura provocan una disminución de pH (Ramírez, 2010).

En la Tabla 6, se muestran los resultados en relación al comportamiento del pH durante el periodo de almacenamiento, observándose que las muestras que fueron únicamente irradiadas con UV-C mostraron un incremento de pH a partir de los 3 días de almacenamiento, manteniendo este comportamiento casi constante hasta el final del almacenamiento, atribuyendo este incremento de pH a la producción de CO_2 asociado al crecimiento microbiano, lo que significa que el empleo de irradiación UV-C contribuyó a

mantener la estabilidad del producto. Por otro lado, las muestras control presentaron cambios de pH asociados al tiempo de almacenamiento a partir de los 12 días, lo que implica que el tiempo en que los mangos permanecen estables fue de 9 días periodo en el que el pH permaneció sin variaciones estadísticamente significativas. Es importante resaltar que en relación al pH tanto las muestras con nanocápsulas como aquellas tratadas con radiación UV-C y nanocápsulas no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$) con variaciones menores a 0.05, lo que implica que ambos tratamientos y la aplicación de nanocápsulas (α -tocoferol y aceite de lima) contribuyeron a mantener la calidad del producto, logrando un comportamiento constante a lo largo de los 24 días de almacenamiento.

Tabla 6. Cambios de pH en mango fresco cortado almacenado a 7°C.

Tiempo (días)	NC's/UV-C	NC's	UV-C	Control
0	3.29 ± 0.01	3.36 ± 0.02	3.32 ± 0.04	3.30 ± 0.01
3	3.33 ± 0.01	3.36 ± 0.01	3.45 ± 0.05	3.44 ± 0.04
6	3.37 ± 0.02	3.34 ± 0.03	3.41 ± 0.02	3.45 ± 0.01
9	3.40 ± 0.03	3.34 ± 0.03	3.42 ± 0.09	3.42 ± 0.05
12	3.43 ± 0.03	3.35 ± 0.03	3.41 ± 0.06	3.18 ± 0.05
15	3.47 ± 0.01	3.37 ± 0.02	3.42 ± 0.01	3.24 ± 0.04
18	3.32 ± 0.02	3.43 ± 0.04	3.44 ± 0.02	3.29 ± 0.06
21	3.33 ± 0.03	3.44 ± 0.03	3.45 ± 0.02	3.47 ± 0.01
24	3.42 ± 0.03	3.44 ± 0.05	3.45 ± 0.04	3.39 ± 0.06

Los ácidos orgánicos predominantes en el mango son ácido cítrico, málico, tartárico y oxálico, los cuales disminuyen a medida que el fruto madura. De acuerdo a Kaleem et al., (2011), a medida que avanza la maduración, los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos respiratorios por el fruto, y convertidos en azúcares; bien por la degradación casi total de reservas amiláceas en los frutos, de esta manera al inicio del almacenamiento la cantidad de ácidos orgánicos es mayor y la concentración inicial de azúcares menor, y

conforme va transcurriendo el tiempo de almacenamiento el fruto al madurar incrementa su contenido de azúcares, reflejándose en el aumento de pH.

3.1.7. Sólidos solubles

Los azúcares presentes en las frutas son los sólidos solubles en mayor proporción, además de ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, minerales, pectinas, etc. (Jie, et al., 2003).

Los grados Brix (°Brix) sirven para determinar el cociente total de sacarosa o sales disueltas en un líquido, es decir, mide la concentración de sólidos solubles. En la industria alimentaria se utiliza para medir la cantidad aproximada de azúcares en el alimento. Un °Brix corresponde a un gramo de sacarosa diluido en 100 g de solución y por lo tanto, representa la concentración de la solución como porcentaje en peso (% w/w) (Morales, 2014). El porcentaje de sólidos solubles es uno de los factores más importantes para la clasificación de la calidad en los frutos, ya que una parte de la porción soluble en agua de la materia seca de los frutos está conformada de azúcares reductores como fructosa (25%) y glucosa (22%) (George et al., 2015a).

En la Figura 22 se presentan los resultados obtenidos de la medición de sólidos solubles expresados en función de °Brix de mango fresco durante el periodo de almacenamiento bajo refrigeración.

El contenido de sólidos solubles en los diferentes tratamientos, presentó en general un incremento a lo largo del periodo de almacenamiento, con diferencias estadísticamente significativas a partir del día 18. Se observa que las muestras control se mantienen en un rango constante de los 3 los 9 días de almacenamiento, 9.0 ± 0.1 , posteriormente los valores se incrementan de manera casi constante hasta el último día de almacenamiento, comportamiento similar se observa en el tratamiento UV-C, en donde a partir del día 6 el contenido de sólidos solubles aumenta, para mantener valores constantes del día 9 al 21, 9.2 ± 0.2 , para en los últimos 3 días de almacenamiento incrementar su valor a 9.6 ± 0.01 .

De acuerdo a Almanza, et al., (2015), existen varios factores que pueden afectar el contenido de sólidos solubles en el fruto, en la maduración los cambios a nivel de carbohidratos se derivan de la conversión del almidón en azúcares solubles, producto de la hidrólisis del almidón por la acción de las amilasas (Figuroa & Salcedo, 2013), incrementando el sabor dulce en los frutos, aunado a esto, también hay degradación de carbohidratos poliméricos, como el almidón y la celulosa a glucosa y fructosa, que se utilizan como sustratos durante la respiración de frutas (Ibarra-Garza, et al., 2015). Sin embargo, George et al., (2015b) consideran que los frutos con mayor contenido de sólidos solubles son generalmente los preferidos por los consumidores.

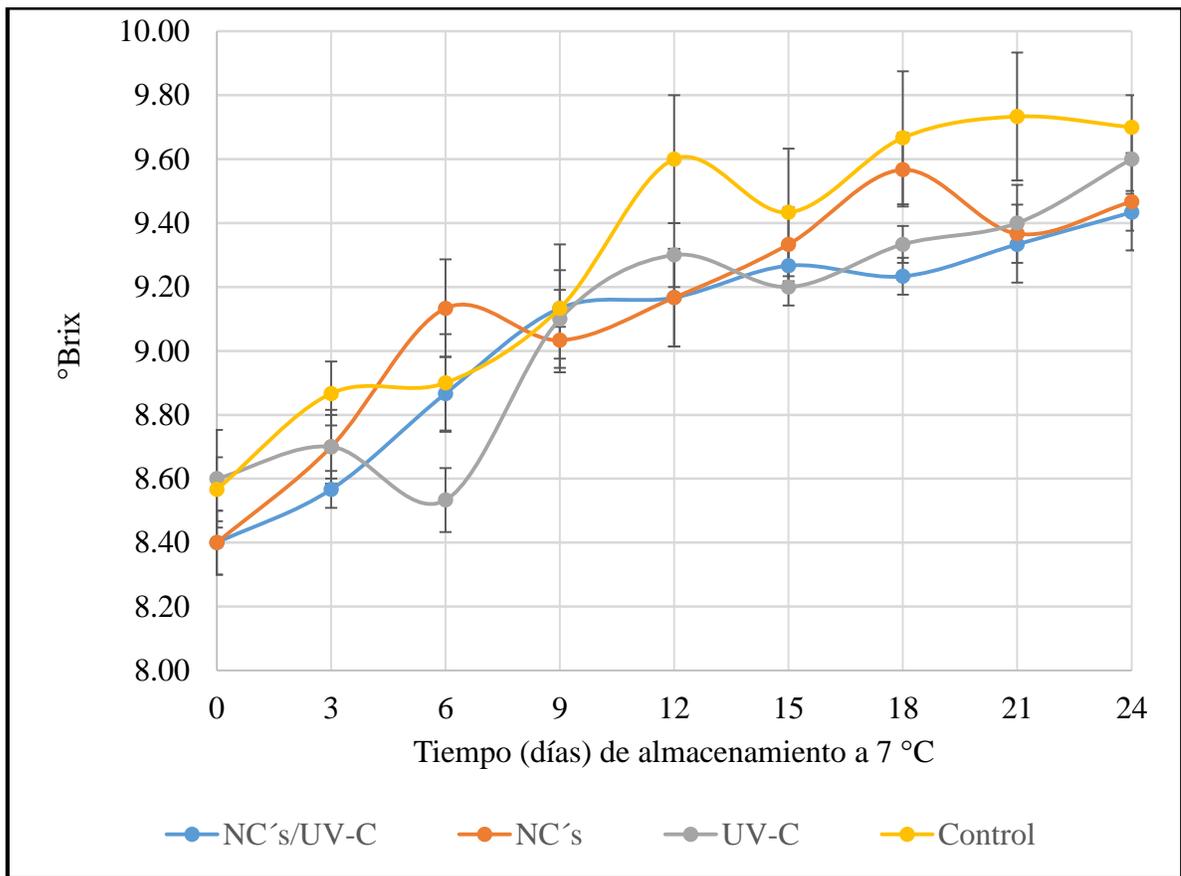


Figura 22. Comportamiento de los sólidos solubles en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7°C.

En cuanto a los tratamientos con aplicación de nanocápsulas y UV-C, se observa que a lo largo de los 24 días de almacenamiento el contenido de sólidos solubles se mantiene por mayor tiempo, en comparación de los tratamientos anteriores. Es a partir del día 9, en donde los valores comienzan a ser constantes, lo que implica que desde ese día las muestras permanecieron estables hasta los 24 días de almacenamiento, con un incremento en sólidos solubles estadísticamente no significativo. En contraste, las muestras con el tratamiento con NC's presentaron una estabilidad ligeramente menor, se observa que estas tienen un incremento hasta el sexto día, a partir de ahí se mantienen estables, pero en el día 18 hay un pequeño incremento, para después volver a disminuir el valor. Con lo que en cuanto a este parámetro, la aplicación de nanocápsulas ayudó a conservar mejor el fruto, retardando el incremento de sólidos solubles.

3.1.8. Ácido total

El grado de acidez de un producto alimenticio indica el contenido de ácidos orgánicos libres, usado como un parámetro de calidad. En general se prefieren valores más altos de acidez titulable total durante el almacenamiento, debido a que se correlacionan con valores de pH bajos, evitando de ese modo la aparición de microorganismos en las frutas recién cortadas (Rueda, 2015).

En la Figura 23 se presentan los resultados de la determinación de acidez total de las muestras de mango fresco cortado durante 24 días de almacenamiento.

A primera instancia, se observa que todos los tratamientos y el control, tuvieron la misma tendencia a aumentar el porcentaje de acidez durante el almacenamiento, debido al proceso de maduración que implica la disminución de los ácidos orgánicos que el fruto contiene.

En el tratamiento de NC's/UV-C, se puede apreciar que las muestras tienen un comportamiento estable desde el día 0 hasta el día 15 de almacenamiento, ya que lograron mantener un promedio de acidez de 2.1 ± 0.1 , posteriormente el valor disminuye 0.3

unidades, para tener un pequeño incremento los últimos días de almacenamiento. Resultados similares se obtuvieron con el tratamiento de NC's, en donde las muestras se mantuvieron en un rango de áidez similar, teniendo una disminución en el día 18, para posteriormente volver a incrementar a 2.2 ± 0.1 . Este comportamiento de disminución en el valor de áidez de las muestras puede atribuirse a una variación en el estado de madurez de las muestras al momento de envasar, sin embargo, con la aplicación de nanocápsulas se logró mantener un retraso ligero en la actividad metabólica relacionada con velocidad de maduración de las muestras de mango cortado durante los 24 días de almacenamiento.

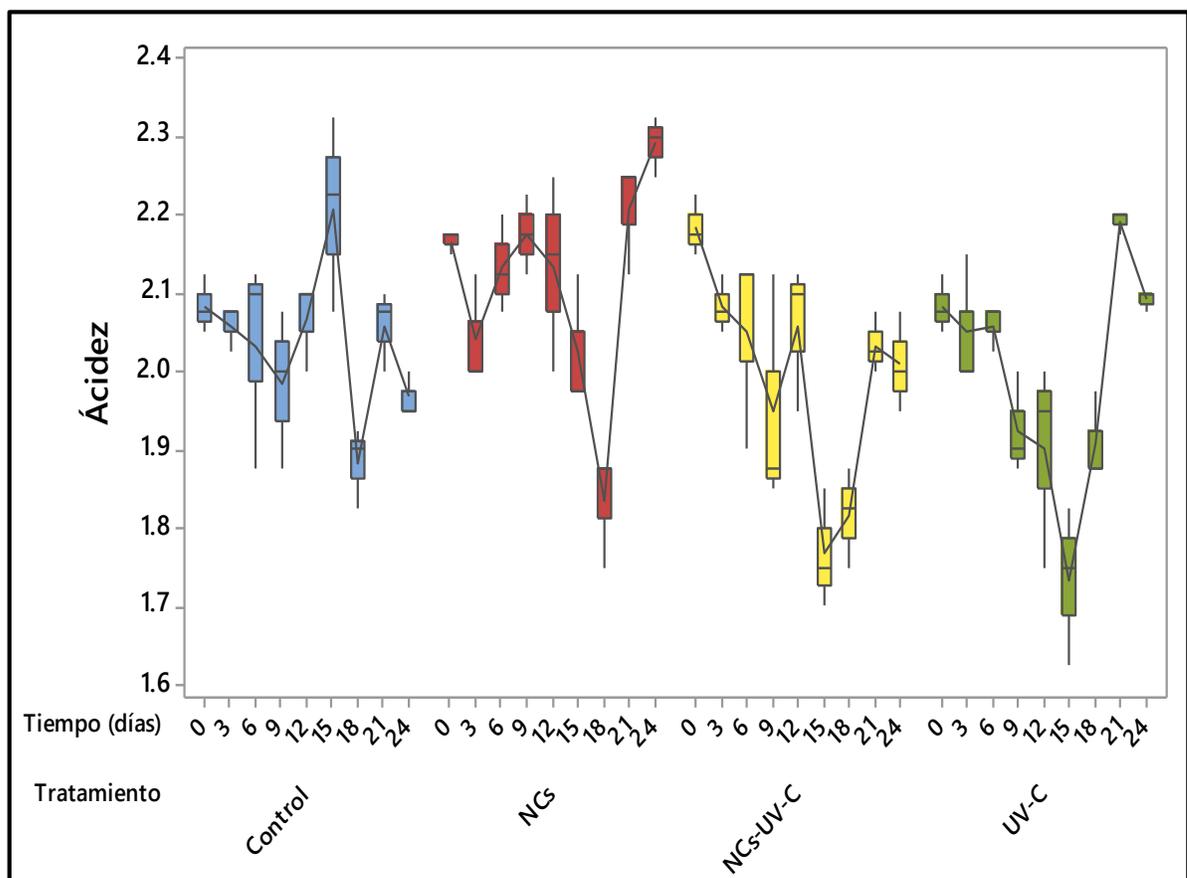


Figura 23. Determinación de áidez total en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7°C.

Por el contrario, con tratamiento UV-C se observa que la disminución de los ácidos orgánicos fue más evidente a partir del día 6, para posteriormente volver a incrementar el valor a partir del día 18 hasta el último día de almacenamiento. En contraste con las muestras control que mantuvieron un comportamiento estable hasta el día 15, con un rango de acidez de 2.1 ± 0 , para después disminuir su valor a 1.9 ± 0.1 a partir del día 18 hasta el día 24.

En 2009, Muy-Rangel et al., realizaron un estudio en mango variedad Ataulfo, utilizando recubrimientos comestibles a base de metilciclopropeno (1 – MCP) almacenados durante 7 días a 12 °C. Encontraron una mayor retención de acidez en los mangos tratados con 1-MCP, que asociaron con una maduración más lenta de los frutos. Obtuvieron valores iniciales de acidez 2.5, característico de mangos ‘Ataulfo’; sin embargo, durante avanza el proceso de maduración la acidez se pierde hasta alcanzar valores similares a los mangos ‘Haden’ y ‘Kent’ maduros, de 0.9 unidades.

3.1.9. Contenido de ácido ascórbico

Los ácidos orgánicos (cítricos, ascórbico y málico) son importantes durante la maduración de la fruta, debido a que pueden ser una fuente de energía durante la respiración y por ello su contenido tiende a decrecer con el desarrollo. La vitamina C o ácido ascórbico es un importante antioxidante (donador de electrones), ya que tiene tendencia a unirse con el oxígeno. Es un micronutriente hidrosoluble relacionado con la biosíntesis de los aminoácidos, el mantenimiento del colágeno.

Su disponibilidad es reducida significativamente durante el procesamiento de las frutas y hortalizas, por acción de la temperatura, el oxígeno, la luz, la presión, los iones metálicos, los azúcares reductores y el pH. Estudios cinéticos de la degradación térmica de este compuesto bioactivo en diferentes productos alimentarios revelan que responde a una cinética de primer orden (Ordóñez, 2012). La pérdida de vitamina C puede ser interpretada como una pérdida de calidad en los frutos (George et al., 2015b).

En la Figura 24 se observa el comportamiento del ácido ascórbico de los diferentes tratamientos aplicados en mango cortado almacenado en refrigeración, expresados en mg ácido gálico por cada 100 g de muestra (mg AG/100 g). A primera instancia, todas las muestras tuvieron una marcada variación en su comportamiento, ya que aparentemente no siguen una tendencia constante. En primer lugar, las muestras control fueron las que presentaron una mayor disminución en el contenido de ácido ascórbico a partir de los primeros 6 días de almacenamiento, los valores muestran una inestabilidad estadísticamente significativa de 228.57 ± 16.5 mg AG/100 g, sin embargo a partir del día 12 se estabiliza hasta volver a disminuir su contenido en el día 18 a 150 ± 19.09 mg AG/100 g, y mantener ese rango de contenido de vitamina C por los últimos días de almacenamiento.

En el tratamiento UV-C se observa, que las muestras tuvieron una degradación de vitamina C conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, logrando una aparente estabilidad los primeros 6 días de almacenamiento, para después ir disminuyendo paulatinamente e incrementar hasta el día 18 a 243.06 ± 8.67 mg AG/100 g, y finalmente disminuir hasta 174.19 ± 3.42 mg AG/100 g al día 24. Este comportamiento se atribuye en gran medida a que el ácido ascórbico es la vitamina menos estable, ya que se destruye fácilmente a través del procesamiento y almacenamiento (Davey, 2000), de igual manera se sabe que el ácido ascórbico se degrada por procesos oxidativos mediante enzimas como ascorbato oxidasa y peroxidasa, por presencia de oxígeno y de la luz (Alothman, et al., 2009).

Por su parte, los tratamientos a los que se les incorporaron nanocápsulas al líquido de cobertura, presentan una mayor estabilidad. Se observa que en el lote NC's/UV-C, las muestras de mango cortado, lograron prolongar en mayor constancia el contenido de ácido ascórbico hasta el día 12, posteriormente en el día 15 se incrementa, para finalmente volver al rango que se tenía en los días anteriores 207.26 ± 25.78 mg AG/100 g.

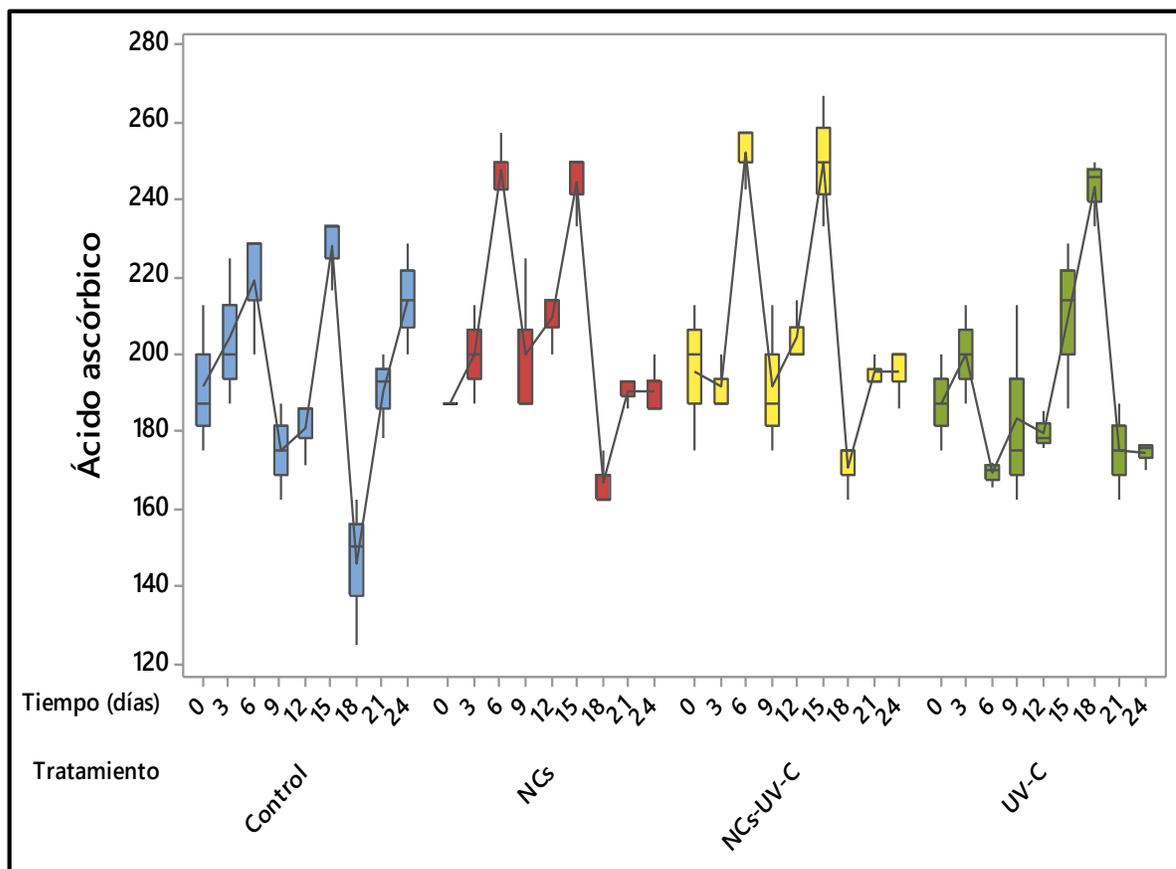


Figura 24. Determinación de ácido ascórbico en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7°C durante 24 días.

De igual manera para el lote con únicamente NC's, la disminución del contenido de vitamina C se ve reflejado hasta el día 18, infiriendo que con la aplicación de nanocápsulas al líquido de cobertura se ayudó considerablemente a conservar por mayor tiempo el contenido de ácido ascórbico en el mango fresco cortado, en comparación de los tratamientos que no contenían nanocápsulas; sin embargo, como se observa, la aplicación de luz ultravioleta en ambos tratamientos no tuvo cambios significativos, así como tampoco los hubo entre los tratamientos control y UV-C.

En 2015, George et al. (b), evaluaron los efectos de la luz ultravioleta sobre la calidad de mango fresco cortado y piña, previamente expuestos a un tratamiento de radiación UV-C a

240 V almacenados a 4 °C durante 15 días y otras muestras tratadas térmicamente a 70 °C. En las muestras almacenadas a 4 °C no se encontraron cambios significativos con la aplicación de UV-C en el contenido de ácido ascórbico. Sin embargo, en el tratamiento térmico a 70 °C, se observaron cambios significativos debido a que es un compuesto bioactivo sensible al calor.

3.1.10. Firmeza

La firmeza en frutos es una propiedad cuantitativa y su determinación tiene gran interés para la caracterización de la fruta en cuanto a calidad, su estado de madurez y su resistencia a daños mecánicos durante la recolección, manipulación y transporte hasta el consumidor (Barreiro, 1996).

La Figura 25 muestra los cambios de textura asociados a la composición del líquido de cobertura y el tiempo de almacenamiento de mango fresco cortado. Esta representa la firmeza del fruto en relación a la fuerza máxima aplicada en el pico máximo de fractura, mostrándose que las muestras control y el resto de los tratamientos, presentaron una disminución paulatina de la firmeza durante el periodo de almacenamiento a partir del primer día de almacenamiento, sin embargo, en las muestras sin nanocápsulas la senescencia fue mayor, traduciéndose en una mayor pérdida de firmeza, en comparación con las que sí tienen este tratamiento. Es por ello que el tratamiento con el que se logró mantener por mayor tiempo la firmeza de las muestras de mango fue NC's/UV-C, ya que a partir del sexto día las muestras mantienen un rango de firmeza de 0.58 ± 0.03 N hasta el final del almacenamiento (0.54 ± 0.02 N).

Por su parte, las muestras control presentaron la mayor disminución en este parámetro, ya que en un inicio tenían 1.18 ± 0.06 N, y conforme pasan los días este valor va disminuyendo hasta llegar a 0.25 ± 0.03 N, dando una pérdida de firmeza aproximadamente del 78.81 %, este mismo comportamiento lo presentaron las muestras con tratamiento UV-C, las cuales

perdieron un promedio de 74.46%. La pérdida de firmeza, esto se atribuye teóricamente, a la degradación de carbohidratos poliméricos como pectinas, hemicelulosas, y almidón (Baldwin, et al., 1999).

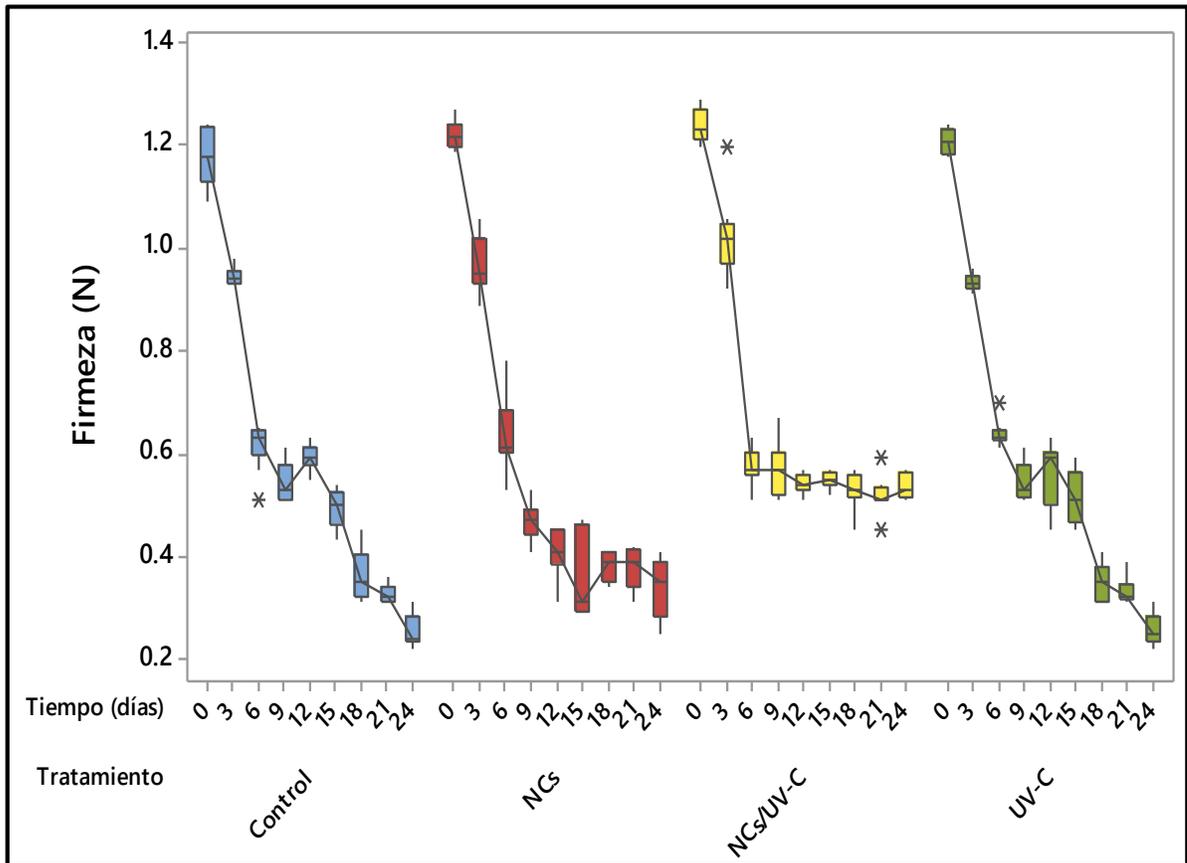


Figura 25. Cambios de firmeza en mango fresco-cortado en función al tratamiento y tiempo de almacenamiento a 7°C durante 24 días.

Finalmente, el tratamiento que contenía sólo nanocápsulas presentó una disminución de firmeza hasta el día 12, a partir de este día se mantuvieron estables sin una variación significativa hasta el día 24 de almacenamiento, lo que significa que las nanocápsulas fungieron como barrera para mantener la firmeza del fruto durante más tiempo, por los componentes con los que fueron elaboradas, por ejemplo, el α -tocoferol, el cual tiene un efecto protector capaz de ligar moléculas oxidantes y reducir las reacciones de deterioro

dentro de la membrana celular, ayudando a mantener la rigidez y estructura de la membrana celular, lo que se manifiesta en una mayor retención de la firmeza en el mango cortado (Galindo, 2014).

Otro de los factores que influye en el cambio de textura, es la absorción de líquido de gobierno, lo que se modifica la presión osmótica extracelular, traduciéndose en la pérdida de firmeza del fruto. Esto concuerda con los resultados presentados en la absorción de líquido de cobertura, donde los tratamientos que menor ganancia o absorción de líquido de cobertura tuvieron fueron los adicionados con nanocápsulas, reflejándose en una pérdida de textura menor al resto de los tratamientos.

3.1.11. Turbidez

La turbidez es el grado de transparencia del líquido de cobertura que mide el grado de claridad u opacidad de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión, también conocida como la propiedad óptica de una suspensión que provoca que la luz sea dispersada antes que transmitida a través de la sustancia (Sawyer, 1994).

La Figura 26 muestra el comportamiento de los diferentes tratamientos de mango cortado, se observa que la variable que más influyó en la turbidez del líquido de cobertura fue la adición de nanocápsulas en su formulación, esto se atribuye a que las nanocápsulas son un aceite que forma una emulsión y al ser liberado en el líquido de cobertura, se incrementa la opacidad y turbidez, comportamiento que se presenta en las muestras con tratamiento NC's/UV-C y NC's.

Por el contrario, las muestras control y UV-C a simple vista no presentaron partículas en suspensión ni opacidad, siendo más translúcidas y transparentes a pesar de la concentración de goma arábiga que el líquido de cobertura contenía.

Aunado a esto, se puede apreciar que en un mismo tratamiento el comportamiento no sigue una tendencia, a disminuir o a incrementar, atribuyéndose a que el líquido de cobertura a primera instancia no tenía residuos sólidos de mango, sin embargo al ser medidos en el turbidímetro había presencia de estos, lo que ocasionó una inestabilidad de la muestra durante la medición.

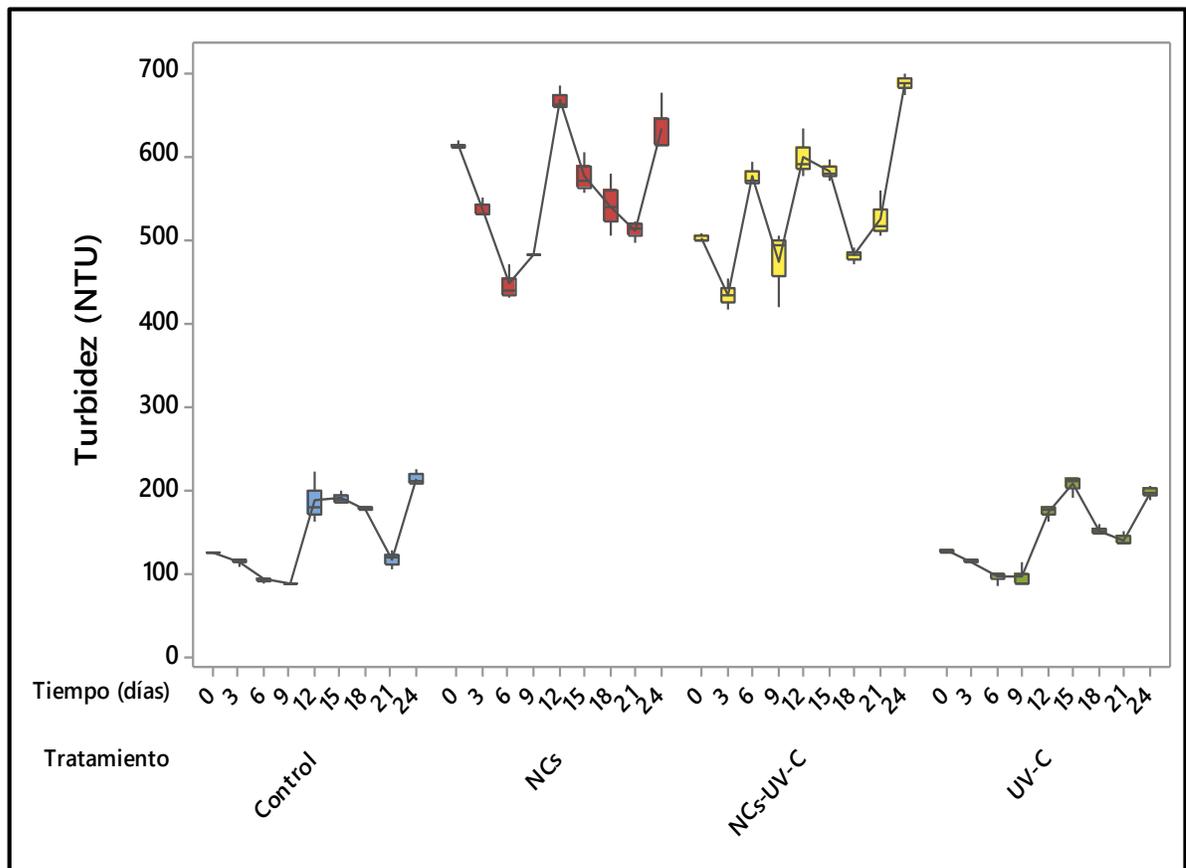


Figura 26. Cambios en la turbidez del líquido de cobertura.

3.1.12. Concentración de fenoles totales

Los componentes fenólicos constituyen uno de los grupos de micronutrientes ampliamente distribuidos en frutos y hortalizas. Químicamente los fenoles son sustancias que poseen un anillo aromático, un anillo benceno, con uno o más grupos hidroxilo, incluyendo derivados

funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc.) (Porras, 2009). Los compuestos a los que se encuentran unidos con más frecuencia son: glucosa, galactosa, arabinosa, ácido glucurónico, galácturónico, etc.

Los compuestos fenólicos intervienen como antioxidantes naturales debido a su capacidad para secuestrar metales, ya sea manteniendo o incrementando su actividad catalítica o reduciéndolos. También están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal siendo responsables de la coloración por acción de las antocianinas, carotenoides, flavonoides, etc. Además, las reacciones de oxidación de los compuestos fenólicos hacia la formación de quinonas, catalizada por las enzimas polifenol oxidasas, produce un pardeamiento enzimático fenómeno de importancia para asegurar la calidad en los alimentos (Martínez, 2000).

El ensayo Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en frutos y hortalizas, basándose en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico. El mecanismo de reacción es una reacción redox, por lo que además puede considerarse como un método de medida de la actividad antioxidante total. La oxidación de los polifenoles presentes en la muestra, causa la aparición de una coloración azulada que presenta un máximo de absorción a 765 nm, y que se cuantifica por espectrofotometría en base a una recta patrón de ácido gálico (Moreno et al., 2017; Palafox, et al., 2012).

Como se puede observar, la concentración de fenoles totales reportada en la Figura 27 en mg de ácido gálico por cada 100 g de muestra (mgAG/100g), va decreciendo conforme transcurre el tiempo de 24 días de almacenamiento en todos los tratamientos, lo que se atribuye a que el contenido fenólico disminuye en los frutos y hortalizas mínimamente procesadas, debido a la oxidación de los compuestos oxidativos (Rossi-Marquez et al., 2017), siendo más evidente en las muestras control, las cuales tienen una disminución desde el primer día, posteriormente permanecen aparentemente estables, a partir del día 15. Posteriormente tienen un pequeño incremento en el contenido de polifenoles, lo que puede

deberse a una variación en el estado de madurez de las muestras o al efecto del líquido de cobertura a las muestras de mango, teniendo un efecto positivo para su conservación.

Por su parte, en las muestras del tratamiento NC's/UV-C se observa una estabilidad durante los primeros 3 días, posteriormente disminuye en el sexto día en promedio 26.9 mgAG/100g, sin embargo, a partir de ahí logra mantener un comportamiento estable, con un contenido de compuestos fenólicos de 62.58 ± 4.86 mgAG/100g hasta el último día de almacenamiento.

En el tratamiento NC's de la misma manera que el tratamiento anterior, se observa un comportamiento estable los primeros 3 días, posteriormente el contenido de fenoles totales disminuye al noveno día, pero comienza a incrementar a partir del 15 hasta el final del almacenamiento. Un efecto parecido ocurrió en las muestras NC's/UV-C, sin embargo, el incremento no fue tan evidente como en estas muestras. Este aumento puede atribuirse al efecto antioxidante que tienen las nanocápsulas por su contenido de α -tocoferol y aceite esencial de lima; y el efecto que pudo haber causado la irradiación en el contenido de polifenoles, que a pesar de esto, el tratamiento NC's/UV-C logró estabilizar su contenido durante más tiempo.

Por su parte, con tratamiento UV-C se observa que a partir del día 12 las muestras permanecen estables hasta el día 24, con un promedio de contenido de polifenoles totales de 69.52 ± 1.90 mgAG/100g. De igual manera, se observan pequeños incrementos en compuestos fenólicos durante los últimos 12 días, este comportamiento se atribuye a que la respuesta de las frutas y hortalizas a la irradiación UV-C es la acumulación de compuestos fenólicos y flavonoides, lo cual se ha demostrado en uvas y limones (Cantos, 2000). En 2012, Summervir, et al., demostraron que existe una correlación entre los incrementos en el contenido fenólico en respuesta a los tratamientos UV, ya que estos se acumulan en respuesta a la exposición UV como mecanismo de defensa, también se sabe que este tratamiento ayuda a inhibir la actividad microbiana. Por lo tanto, los tratamientos UV-C al aumentar la resistencia patogénica inducen la biosíntesis de grandes cantidades de compuestos fenólicos.

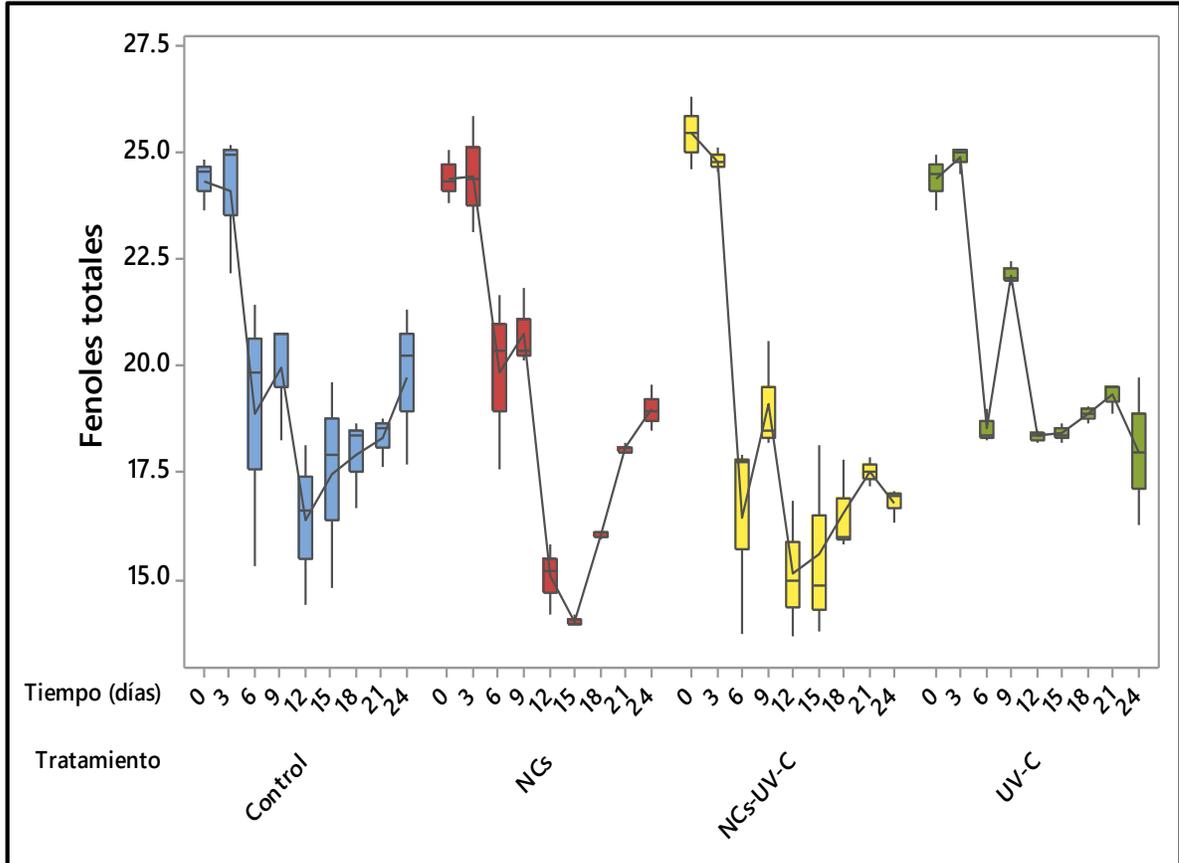


Figura 27. Determinación de fenoles totales en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7°C durante 24 días.

3.1.13. Capacidad antioxidante por DPPH

La autooxidación de lípidos es un proceso radical involucrado en una reacción en cadena que incluye etapas de inducción, propagación y terminación. Durante el periodo de inducción se forman radicales alquilo y peróxido, las cuales producen hidroperóxidos (ROOH) durante la fase de propagación. La terminación es la asociación de dos radicales para formar productos más estables. La secuencia entera es responsable de alteraciones organolépticas y nutricionales debidas a la formación de compuestos volátiles de sabor desagradables por la degradación de ROOH y la desaparición de ácidos grasos esenciales. Además, los radicales libres están asociados en los procesos de envejecimiento de los tejidos, de ahí la importancia

de proteger los tejidos contra los radicales libres mediante antioxidantes, los cuales actúan donando átomos de hidrógeno a radicales lipídicos. Los radicales obtenidos a partir de antioxidantes con estructuras moleculares tales como fenoles son especies en cadena que impiden las reacciones en cadena (Bondet, 1997).

Para evaluar actividad antioxidante se recurre a diferentes métodos, uno de ellos es el método DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil), el cual determina actividades de captura de material radicalario, en presencia de una sustancia antioxidante midiendo el potencial de inactivación de dicho radical en medio acuoso, en donde se consideran los gramos de muestra necesarios para captar un gramo de radical libre (Saura-Calixto, 2007).

Cuando la solución de DPPH reacciona con el sustrato antioxidante que puede donar un átomo de hidrógeno, el color violeta se desvanece. El cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente para determinar los parámetros de las propiedades antioxidantes.

En la Figura 28 se observa que para todos los tratamientos la capacidad antioxidante va incrementando conforme transcurren los días de almacenamiento, para las muestras con nanocápsulas esta capacidad disminuye hasta los últimos dos días de almacenamiento. En el día cero de almacenamiento las muestras de mango fresco, en todos los tratamientos, tienen un promedio de 56.69 ± 1.36 mg Trolox/100 g muestra. Resultados similares fueron encontrados por Arrazola, et al. (2013), donde estudiaron la capacidad antioxidante de cinco cultivares de mango variedad Ataulfo por el método de DPPH, reportando valores que van de 46.19 hasta 60.00 mg Trolox/100 g muestra para un fruto fresco.

Se observa que todos los tratamientos, menos NC's/UV-C, tienen la misma tendencia hasta el sexto día, sin diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$), la disminución en los primeros tres días en el tratamiento NC's/UV-C se debe a la formación de radicales libres por la aplicación de la luz ultravioleta.

A partir del día 6, la actividad antioxidante comienza a incrementar en todos los tratamientos, principalmente en las muestras a las que se les incorporaron nanocápsulas al líquido de

cobertura, manteniendo este comportamiento hasta el día 18, con un promedio de 134.51 ± 3.99 mgTrolox/100 g muestra, disminuyendo hasta el día 24 en el tratamiento NC's/UV-C 25.07 % y 20.15 % para las muestras de NC's.

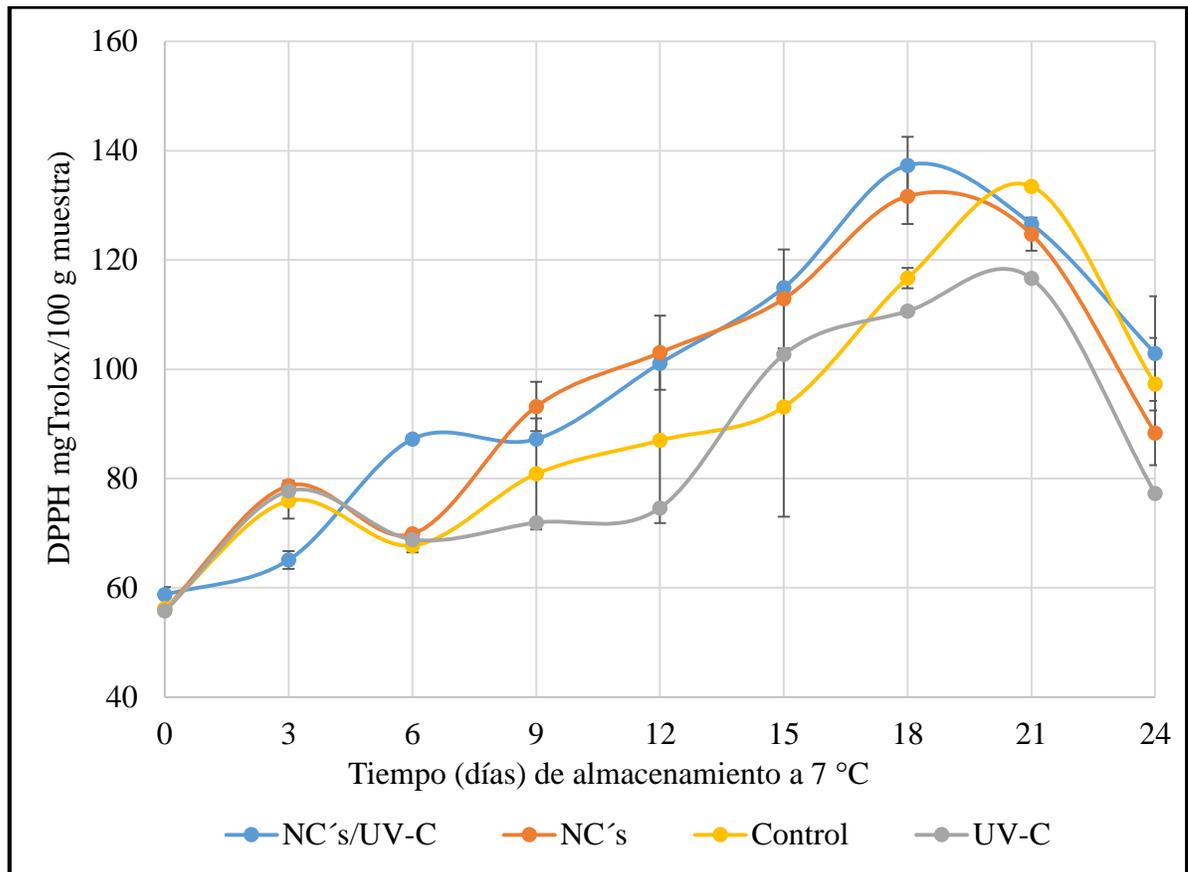


Figura 28. Determinación de actividad antioxidante por la prueba de DPPH en mango fresco cortado durante su almacenamiento a 7°C durante 24 días.

En base a lo reportado por Saura-Calixto, en 2007, cuanto más antioxidante sea una muestra, los valores de DPPH deben incrementar considerando el tiempo transcurrido para captar el radical. Lo que concuerda con los resultados obtenidos, siendo el tratamiento NC's/UV-C el que presentó mayor estabilidad, atribuyéndose a las propiedades que brinda la combinación de aceites con los que fueron elaboradas las nanocápsulas; aceite esencial de lima y α -tocoferol, que al fungir como antioxidantes; inactivan las especies reactivas al oxígeno,

eliminan los radicales libres y reducen los hidroperóxidos. Aunado a esto, la pulpa de mango gracias a su alto contenido de vitamina C, vitamina A, carotenoides y polifenoles, posee alta capacidad antioxidante capaz de atrapar radicales libres (Chil & Vol, 2014).

Caso contrario puede ser observado en las muestras control y con tratamiento UV-C, en donde la capacidad antioxidante es menor, sobre todo en este último tratamiento, debido al efecto de la luz ultravioleta sobre los compuestos fenólicos, que de acuerdo a Summervir, et al., (2015), la aplicación de luz ultravioleta tiende a inducir la biosíntesis de estos compuestos.

Con estos resultados se comprueba la eficacia de la aplicación de nanocápsulas en los tratamientos, ya que en ambos, la capacidad antioxidante se mantuvo hasta por 18 días, sin diferencia estadísticamente significativa (≤ 0.05) entre los tratamientos submicrónicos, presentando mejor capacidad antioxidante que las muestras que no contienen nanocápsulas.

CONCLUSIONES

Fue posible establecer la metodología para la elaboración de nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol por gelificación iónica interna, las cuales fueron incorporadas en el líquido de cobertura que posteriormente fue aplicado en mango variedad Ataulfo.

El empleo de líquido de cobertura contribuyó a mantener las características atractivas propias de este fruto, como lo fue el color y la textura, lo que se favoreció aún más con la incorporación de nanocápsulas al sistema, aunado a que ayudó a retardar los procesos de maduración y los cambios que esto conlleva, como la disminución de pH, acidez y el aumento de sólidos solubles.

En cuanto a las pruebas de actividad antioxidante se demostró que la incorporación de nanocápsulas al líquido de cobertura ayudó a mantener e incluso incrementar la capacidad antioxidante, así como su capacidad de captar radicales libres.

Los dos tratamientos en los que se incorporaron nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol presentaron los mejores comportamientos, en particular, el tratamiento de nanocápsulas en sinergia con luz ultravioleta como método de desinfección. Por lo que la conservación de mango variedad Ataulfo en un líquido de cobertura que contiene con nanocápsulas de aceite esencial de lima y α -tocoferol en combinación con el tratamiento de luz ultravioleta, bajo refrigeración, es una excelente alternativa para prolongar su vida útil.

RECOMENDACIONES

- Determinar la capacidad antioxidante mediante otros métodos como ABTS, ORAC y FRAP, para realizar una comparación en el mismo fruto de acuerdo al fundamento de cada uno.
- Mejorar la apariencia del líquido de cobertura, ya que visualmente es poco translúcido y las muestras tienen un aspecto menos fresco, siendo poco llamativo para los consumidores.
- Variar la composición del líquido de cobertura con diferentes polisacáridos y concentraciones para comparar la efectividad en la conservación de mango fresco cortado.
- Utilizar otro tipo de fruto u hortaliza para comprobar la efectividad de los tratamientos submicrónicos y UV-C.
- Variar la distancia y tiempo de exposición a la luz ultravioleta, con la finalidad de buscar las mejores condiciones que ayuden a reducir la carga microbiana, así como comprobar la efectividad del tratamiento, mediante un análisis microbiano antes y al final del almacenamiento
- Prolongar el tiempo de almacenamiento de mango fresco cortado, ya que hasta los 24 días las muestras presentaron buenas características similares a las del fruto fresco.
- Variar el método de encapsulación, para comparar la eficiencia en un mismo tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolfo, R., & Huertas, P. (2011). Food Microencapsulation: A review. *Revista Nacional Agrícola de Medellín*. 63(2): 5669–5684.
- Agroalimentarias. (2014). Disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/hortofruticola/consumo-fomento-y-competitividad-del-mango-mexicano/>. Consultado el 10 de junio de 2017.
- Almanza, M. A. (2015). Physiology and biochemistry of peach (*Prunus persica* L. Batsch) fruit maturation. A review. *Revista de Ciencias Hortícolas*. 9 (1): 161-172.
- Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10 (4): 512–516.
- Alzamora, S. M. (2004). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 118-124.
- Antonio-Gutiérrez, O. T., Palou, E., & López-Malo, A. (2012). Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UV-C. 149–159.
- AOAC. (1975). Official Methods of Analysis. 12th edition. Washington D. C. Association of Official Analytical Chemist International.
- Baldwin, E. A., Burns, J. K., Kazokas, W., & Brecht, J. K. (1999). Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 17: 215–226.
- Barreiro, P. & A. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos: Definiciones y medidas instrumentales. *Fruticultura Profesional*. 77: 48-51.
- Berdalis-Díaz, M. (2016). Evaluación del efecto de la adición de inulina y carboximetilcelulosa en el grado de aceptabilidad de un néctar de durazno. *Ingeniería Agroindustrial*. 18: 5-30.
- Biglia, A. C. (2016). Case studies in food freezing at very low temperature. *Energy Procedia*. 101: 305-312.
- Bondet, V. B.-W. (1997). Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *Academic Press Limited*. 30: 609-615.

- Borgogna, M. B. (2010). Food microencapsulation of bioactive compounds: Rheological and thermal characterization of non-conventional gelling system. *Food Chemistry*. 122 (2): 416-423.
- Calero, J., Sánchez, Y. F., Tórriz, R., Hernann, E., & López, K. (2008). Elaboración y caracterización de microcápsulas gastrorresistentes de Diclofenac obtenidas por gelificación iónica. *Revista Científica de la UNAN León*. 23: 27–30.
- Chil, R., & Vol, N. (2014). Sugar mango (*Mangifera indica* L.), variety from Colombia: antioxidant, nutritional and sensorial characteristics. *Revista Nutricional Chilena*. 41 (21): 14-21.
- Cantos, E. G. (2000). Effect of postharvest ultraviolet irradiation on resveratrol and other phenolics of cv Napoleon table grapes. *J. Agric Food Chemistry*. 48: 4606-4612.
- Champagne, C. F. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*. 18 (2): 184-190.
- Das-Purkayastha, M., & Manhar, A. K. (2016). Nanotechnological applications in food packaging, sensors and bioactive delivery systems. *Springer International Publishing*. 21: 59–128.
- Davey, M. M. (2000). Plant L-ascorbic: chemistry, function, metabolism, bioavailable and effects of processing. *J Sci Food Agric*. 80: 825-860.
- Day, L. S. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science and Technology*. 20 (9): 388-395.
- Dhall, R. K. (2013). Critical reviews in food science and nutrition advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53: 435–450.
- Domínguez L., Parzanese, M. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 70-76.
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*. 5: 23-35.
- Duque, A. G. (2007). Variación del color en mango, uva y uchuva en diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. *Revista de Investigaciones*. 17: 19-26.
- Dussan, S., Torres, L., Hleap, J. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y de diferentes empaques durante el almacenamiento refrigerado de mango 'Tommy Atkins' mínimamente procesado. *Información Tecnológica*. 25 (4): 123-130.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science &*

Technology. 22 (6): 292–303.

- Figuerola, J. A., & Salcedo, J. G. (2013). Effect of edible coatings based on native and oxidized cassava starch on quality of mango. *Temas Agrarios*. 18 (2): 128-135.
- Galindo, P. (2014). Evaluación del efecto de nanorrecubrimientos conteniendo α -tocoferol, sobre los cambios bioquímicos y fisiológicos de manzana fresca cortada. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, B. (2011). Cambios en la concentración de polifenoles presentes en la guayaba (*Psidium Guajava*) variedad media china, recubierta con nanopartículas lipídicas sólidas y almacenada en refrigeración. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- George, D. S., Razali, Z., Santhirasegaram, V., & Somasundram, C. (2015a). Effect of postharvest ultraviolet-C treatment on the proteome changes in fresh cut mango (*Mangifera indica* L. cv. Chokanan). *Journal of Food Science*. 24: 365-371.
- George, D. S., Razali, Z., Santhirasegaram, V., & Somasundram, C. (2015b). Effects of Ultraviolet Light (UV-C) and Heat Treatment on the Quality of Fresh-Cut Chokanan Mango and Josephine Pineapple. *Journal of Food Science*. 80 (2): 426–434.
- George, M. A. (2012). Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan: A review. *Carbohydrate Polymers*. 88 (1): 1-12.
- González-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R., Tiznado-Hernández, M. E. (2007). Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*. 45: 108-116
- Guzmán, O., Lemus, C., Bugarin, J., Bonilla, J., & Ly, J. (2013). Composición y características químicas de mangos (*Mangifera indica* L.) destinados a la alimentación animal en Nayarit, México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 47 (3): 45-53.
- Gracia, O. (2012). La goma arábiga; *Una maravilla que nos beneficia a todos*. *Gomas Naturales*, S. A. de C. V. 4-12.
- Guerrero-Beltrán, J. A. C. (2004). Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science Technology International*. 18: 25-36.
- Haro-Maza, J. F., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. 29: 68–77.
- Higuera, A. R. (2010). Evaluación de efecto prebiótico del aguamiel de Maguey (*Agave salmiana*) en *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bolgaricus*. Tesis de Maestría en Ciencias en Bioprocesos. Instituto Politécnico Nacional.
- Ibarra-Garza, I. P., Ramos-Parra, P. A., Hernández-Brenes, C., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2015). Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties

- of mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and Technology*. 103: 45–54.
- INIAP. (2004). Textura de alimentos. IMPREFEPP.
- Jie, W., Lite, L., & Yang, D. (2003). The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. *Journal of Food Engineering*. 60 (4): 481–484.
- Kaleem, M., Bibi, F., & Saleem, M. (2011). Quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: As affected by cooling at harvest time. *Scientia Horticulturae*. 130 (3): 642–646.
- Jiménez, M. Z. (2004). Estabilidad de pigmentos en frutas sometidas a tratamiento con energía de microondas. *Información Tecnológica*. 15 (3): 61-66.
- López, C. A. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- López-Córdoba, A. (2012). Desarrollo de sistemas de encapsulación compuestos para la protección de extractos antioxidantes de yerba mate. Tesis de Maestría en Tecnología e Higiene de los Alimentos. Universidad Nacional de la Plata.
- Madrigal, L. & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57: 387-396.
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Navarrete-García, H. A., Ortiz-Morales, Ó. D., Jiménez-Hernández, J., Salazar-López, R., & Álvarez-Fitz, I. A. P. (2016). Chemical and antioxidant properties of mango varieties grown at the Guerrero coast. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 39 (3): 207–214.
- Martelli, S. M., Motta, C., Caon, T., Alberton, J., Bellettini, I. C., do Prado, A. C. P., Soldi, V. (2017). Edible carboxymethyl cellulose films containing natural antioxidant and surfactants: α -tocopherol stability, in vitro release and film properties. *Food Science and Technology*. 77: 21–29.
- Martínez, V. P. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Bromatología e Inspección de Alimentos*. 50 (1): 5-18.
- Martínez-Viveros, M. (2014). Evaluación de la actividad antimicrobiana de aceite esencial de lima: Agente antimicrobiano natural. Estación Experimental Agropecuaria.
- Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., & Opara, U. L. (2017). Postharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruits: A review. *Scientia Horticulturae*. 218: 95–104.
- Mena, C. (2010). Determinación de índices de madurez para la cosecha y conservación al ambiente del arazá (*Eugenia stipitata*) y borjón (*Borjoia patinoi*) y borjón. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial.
- Mora-Huertas, C. E., Fessi, H. y Elaissari, A. (2010). Polymer based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*. 385 (1): 113-142.

- Morales, V. (2014). Caracterización de algunas especies de nopales endémicos en México, productores de xoconostles y/o xocotunas, con base a su pH y grados Brix. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno, C., Andrade-Cuvi, M. J., Zaro, M. J., Darre, M., Vicente, A. R., Concellón, A. (2017). Short UV-C treatment prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut carambola. *Journal of Food Quality*. 2017: 1–9.
- Munin, A. E.-L. (2011). Encapsulation of natural polyphenolic compounds: A Review. *Pharmaceutics*. 3 (4): 793-829.
- Muñoz, C. F. (2014). Efecto de la cocción y de la concentración de ají amarillo en el líquido de gobierno sobre las características sensoriales en conservas de recortes de filetes de trucha. *Ingeniería en Industrias Alimentarias*. 5: 15-20.
- Muy-Rangel, D., Valenzuela, B. E., Siller Cepeda, J., Sañudo Barajas, J. A., Torres, B. V., Enciso, T. O. (2009). Effect of 1-methylcyclopropene (1-mcp) and an edible coating on enzyme activity and postharvest quality of mango Ataulfo. *Rev. Fitotec. Mex.* 32 (1): 53–60.
- Nussinovitch, A. (2009). Biopolymer films and composite coatings in modern biopolymer science. *Journal of Pharmaceutical Science*. 295–326.
- NMX-FF-058-SCFI. (2006). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca Mango (*Mangifera indica* L.). México.
- OMS, F. &. (2008). Directrices del CODEX sobre los líquidos de cobertura para las frutas en conserva.
- Onwulata, C. (2011). Encapsulation of new active ingredients. *Food Science and Technology*. 3(1): 183-202.
- Ordóñez, S. Y. (2012). Thermal degradation kinetics of vitamin C in mango pulp (*Mangifera indica* L.). *Vitae*. 19. (1): 81-83.
- Osorio. (2003). Procesos Industriales en frutas y hortalizas. Grupo Latino LTDA.
- Osuna, G., Alberto, J., Guzmán-Robles, M. L., Gómez, B. T., Mata, M., De Oca, M., & Vidal Martínez, V. A. (2002). Quality of ataulfo mango grown in Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (4): 367–374
- Paciulli, M., Ganino, T., Pellegrini, N., Rinaldi, M., Zaupa, M., Fabbri, A., & Chiavaro, E. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables - Part I. Structure, texture and antioxidant capacity. *Food Research International*. 74: 329–337.
- Palafox, 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.

- Pérez, M. J. (2011). Influencia del tamaño de partículas coloidales de a-tocoferol sobre la actividad polifenoloxidasa, aplicadas en manzana 'red delicious' cortada-refrigerada. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Podsdek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *Food Science and Technology*. 40: 1-11.
- Porras, A. L. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería en Alimentos*. 3 (1): 121-134.
- Quintanar-Guerrero, D. A. (1998a). Preparation techniques and mechanisms of formation of biodegradable nanoparticles from performed polymers. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 24: 1113-1128.
- Quintanar-Guerrero, D. A. (1998b). Preparation and characterization of nanocapsules from performed polymers by a new process based on emulsification-diffusion technique. *Pharmaceutical Research*. 15: 1056-1062.
- Quispe, R. (2016). Elaboración de fruta confitada de papaya. Facultad de Ingeniería Agroindustrial.
- Ramírez, H. (2010). Evaluación del efecto prebiótico del aguamiel de maguey (Agave salmiana) en *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Instituto Politécnico Nacional.
- Ramírez-Méndez, R., Quijada, O., Castellano, G., Esther Burgos, M., Camacho, R., & Marin, C. R. (2010). Physical and chemical characteristics of fruits of thirteen mango (*Manguifera indica* L.). *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas*. 63: 15-24.
- Rocha A. & Morais, A. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by color changes. *Food Control*. 14: 13-20.
- Rocha-Formiga, E. Ansorena, A. E. H. de M. (2009). Nanosistemas a base de poliésteres. *Nanotecnología Farmacéutica: Realidades Y Posibilidades Farmacoterapéuticas*. 41–101.
- Rodríguez, S. E. (2011). Natural antimicrobial agent use in the preservation of fruits and vegetables. *Ra Ximhai*. 7(1): 153-170.
- Rodríguez-López. (2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*. 29: 161-186.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 20(10): 438–447.
- Rossi-Marquez, G., Di Pierro, P., Mariniello, L., Esposito, M., Giosafatto, C. V. L., & Porta, R. (2017). Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey

- protein/pectin edible films. *Food Science and Technology*. 75: 124–130.
- Rousseau, I. L. (2004). Entrapment and release of sodium polystyrene sulfonate (SPS) from calcium alginate gel beads. *European Polymer Journal*. 40(12): 2709-2715.
- Rueda, M. (2015). Efecto del líquido de gobierno con base en α -tocoferol en la conservación de mango (*Mangifera indica* L.) rebanado variedad Ataulfo. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2015). Márgenes de comercialización. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/67434/MC_mangoataulfo_julio_2015.pdf. Consultado el 18 de junio de 2017.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0001-1.aspx#. Consultado el 18 de junio de 2017.
- Salazar-Noriega, L. (2002). Obtención de carambola (*Averrhoa Carambola* I.) deshidratada por ósmosis. *Ingeniería UC*. 9 :85-97.
- Saura-Calixto, F. (2007). Methodology for the evaluation of antioxidant, 20: 2649-2455.
- Sawyer, C. N. (1994). Chemistry for Environmental Engineering. McGraw-Hill.
- Scherz, F. S. (1999). El pequeño Souci-Fachmann-Kraut: Tablas de composición de alimentos. Acribia.
- Schlimme, D. V. (1997). Envasado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Acribia.
- Secretaría de Economía (2016). Disponible en: <https://www.gob.mx/se/articulos/sabias-que-el-mango-ataulfo-tiene-denominacion-de-origen>. Consultado el 20 de junio de 2017.
- 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. *Food Science and Technology*. 53(1): 156–162.
- Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P. J. A., Gómez-Guillén, M. C., & Bifani, V. (2013). Natural additives in bioactive edible films and coatings: Functionality and applications in foods. *Food Engineering Reviews*. 5(4): 200–216.
- Singh, H. (2016). Review article nanotechnology applications in functional foods: Opportunities and challenges. 21(2): 1–8.
- Sotelo, M., Correa Z., Bautista, S., Corona M. (2017). Physicochemical characterization of

- chitosan nanoparticles and nanocapsules incorporated with lime essential oil and their antibacterial activity against food-borne pathogens. *LWT - Food Science and Technology*. 77: 15-20.
- Summervir, C., & Sommerhalter, M. (2015). Characterization of polyphenol oxidase activity in Ataulfo mango. *Food Chemistry*. 171:382–387.
- Tovar, J. (2013). Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera. Tesis de Licenciatura en Química Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Tsaniklidis, G., Delis, C., Nikoloudakis, N., Katinakis, P., & Aivalakis, G. (2014). Low temperature storage affects the ascorbic acid metabolism of cherry tomato fruits. *Plant Physiology and Biochemistry*. 84: 149–157.
- Turmanidze, T. J. (2017). Effect of ascorbic acid treatment on some quality parameters of frozen. *Analysis of Agrarian Science*. 41: 1-5.
- Vasqués, V. (2009). Manejo integral de huertos de mango "Ataulfo" con altas densidades de plantación. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*. 15 (2): 155-160.
- Villena, M. (2009). Técnicas de microencapsulación: Una propuesta para microencapsular probióticos. *ARS Pharmaceutica*. 50: 43-50.
- Williams, P. A. (2011). Structural Characteristics and Funtional Properties of Gum Arabic. *Royal Society of Chemistry*. 347-358.
- Xie, Z., Charles, M. T., Charlebois, D., Rolland, D., Roussel, D., Deschênes, M., Fan, J. (2015). Preharvest exposure to UV-C radiation: Impact on strawberry fruit quality. *Acta Horticulturae*. 1079: 589–592.
- Xin, Y., Zhang, M., Xu, B., Adhikari, B., & Sun, J. (2015). Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review. *International Journal of Refrigeration*. 57: 53-68.
- Yang, J. S. (2011). Research progress on chemical modification of alginate; A review. *Carbohydrate Polymers*. 84 (1): 33-39.
- Zapata, J. C. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *Facultad de Agricultura*. 52 (1): 451-466.