



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Conservación de papaya maradol mínimamente
procesada con nanopartículas de aceite esencial
de limón por rayos UV-C a 4°C**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

KARLA KATYA GUTIÉRREZ MARTÍNEZ

A S E S O R E S

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

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019



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
SECRETARIA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
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

Conservación de papaya de maradol mínimamente procesada con nanopartículas de aceite esencial de limón por rayos UV-C a 4°C.

Que presenta la pasante: Karla Katya Gutiérrez Martínez

Con número de cuenta: 311159918 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 09 de Noviembre de 2018.

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	Dra. María Guadalupe López Palacios	
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

- Al proyecto PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos nanoparticulados 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), por el financiamiento para la realización de este trabajo
- Al proyecto PIAPI1801 “Evaluación y diseño de sistemas nanoparticulados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal. Proyecto interno de FES-Cuautitlán-UNAM, por el apoyo en la adquisición de reactivos para el desarrollo de este trabajo.
- Karla Katya Gutiérrez Martínez, agradece el apoyo técnico para la realización de pruebas colorimétricas y texturales de la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas, en el Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la UIM.

LUGAR DE REALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos L-16, Campo IV FES-Cuautitlán-UNAM.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, quisiera dedicar esta tesis a mi padre *Isidro Gutiérrez*, partiste muy pronto de nuestras vidas, pero en donde estés, di lo mejor de mi parte para llegar a donde estoy, con errores o con aciertos, sé que estarías orgulloso de mí y que todo esto, lo logré con la ayuda de muchas personas.

A mi madre, *Carmen Martínez*, que desde el comienzo, ha estado al pendiente de mí en cada momento, sacrificando muchas cosas de su parte para darme lo mejor sin faltarme nada, por motivarme a no darme por vencida, que si me propongo algo, que haga lo posible por llevarlo a cabo; a tener confianza en mí misma y creer en mí, ser una gran madre y amiga, eres una persona de que admirar y te amo mucho.

A mi hermano, *Julio Gutiérrez*, que desde pequeño siempre estuviste conmigo, a corregirme cuando estoy mal, ayudarme desde la primaria hasta esta etapa de todas las formas posibles, a cuidarme, y literal aguantarme, eres el claro ejemplo de resistencia ante cualquier circunstancia, estoy orgullosa de ti. Te quiero hermano.

A *Brenny*, que aunque comenzamos juntos esta etapa, siempre estuvimos apoyándonos cuando se requería, gracias por motivarme, soportarme cuando no debías, a no dejarme sola en los momentos difíciles escolarmente, a cuidarme, por hacerme una mejor persona, mi confidente, te amo.

A mis asesores, la *Dra. Luz Zambrano*, por darme la oportunidad de desarrollarme y crecer académicamente y profesionalmente en su laboratorio, por apoyarme en cada paso de este trabajo, por estar al pendiente y creer en mí, a motivarme, además de ser una excelente profesora y persona, estoy agradecida infinitamente con sus consejos y con todo lo que ha hecho por mí, la admiro bastante; al *I.A. Alfredo Álvarez*, por ayudarme en el desarrollo de este trabajo, ser un buen profesor y aprender bastante de usted.

A mis sinodales, *M. en C Tais Nopal, I. A. Miriam Álvarez, Dra. María Guadalupe López y M. en C. Araceli Ulloa*, por su dedicación y apoyo para la realización de este trabajo y me quedó con una buena experiencia de cada una de ustedes, son unas excelentes personas y profesoras.

A los profesores que me han marcaron durante esta carrera, al *I. A. Francisco Javier López Martínez, M. en C. Ana María Sabina de la Cruz, M. en C. Ricardo Moisés González Reza* y la *Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas*, que de alguna forma también estuvieron involucrados en este trabajo, por su dedicación y tomarse el tiempo en ayudarme, y hacerme crecer como persona y profesionalmente; sin mencionar también al *I. A. Arturo Munguía Sánchez*, por permitirme trabajar con usted en la última etapa de esta carrera y hacer realidad uno de mis sueños desde que entre a esta facultad, siempre estaré agradecida con usted, no hay palabras para describir esa experiencia.

A mi mejor amiga, *Ana*, por apoyarme desde el momento en elegir esta carrera, y acompañarme en cada momento importante en esta etapa, por sus consejos y por no juzgarme por mis actos, además de *Oliver*, por escucharme, y ayudarme cuando más lo necesitaba, los quiero a ambos.

A mis amigos que conocí en esta Universidad: *Any, Natalia, Armando, Arturo, Edgar (Cali), Dani, Jaisel, Javier, Cuellar, Martin, Martita, Natalie, Payan, Ruth y Jesus (Shara)*, por su amistad, las buenas experiencias que hemos tenido, y que estamos en las buenas y en las malas y apoyarnos mutuamente cuando lo necesitamos, son una pieza elemental no solo en la carrera, si no en mi vida, los quiero rayos.

Y a la *Universidad Nacional Autónoma de México*, por darme muchas oportunidades durante estos 8 años, estoy orgullosa de pertenecer a esta máxima casa de estudios.

"Habrá personas que no estén de acuerdo con tu sueño, y harán lo posible por degradarte, solo que se les olvidó que tú tienes el control para llevarlo a cabo" ... Esto apenas va comenzando...

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1	Papaya	1
	1.1.1. Generalidades	1
	1.1.2. Propiedades fisicoquímicas	6
	1.1.3. Propiedades nutricionales	6
	1.1.4. Efectos bióticos	6
	1.1.5. Efectos abióticos	8
	1.1.6. Deterioro de la papaya	10
	1.1.7. Consumo y aplicaciones	11
1.2	Productos mínimamente procesados	12
	1.2.1. Efectos de cortado	13
	1.2.2. Respiración	14
	1.2.3. Actividad metabólica	14
	1.2.4. Factores de deterioro	15
	1.2.5. Factores de deterioro en papaya mínimamente procesada	16
1.3	Recubrimientos comestibles	16
1.4	Nanotecnología	18
	1.4.1. Definición	18
	1.4.2. Aplicaciones	21
1.5	Aceite esencial de limón	22

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1	Problema	24
2.2	Objetivo general	24
2.3	Objetivos particulares	25
2.4	Actividades preliminares	25
	2.4.1. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta	25
	2.4.2. Selección de materia prima	27
	2.4.3. Selección del polisacárido para elaboración de recubrimiento	28
	2.4.4. Selección del reforzador de textura	29
	2.4.5. Preparación de dispersiones para recubrimiento	29
2.5	Variables y diseño experimental	30

2.6	Preparación de muestras	31
2.7	Evaluación de parámetros	32
	2.7.1. Medición de concentración de CO ₂ /O ₂	32
	2.7.2. Medición de líquido drenado	33
	2.7.3. Medición de peso perdido	33
	2.7.4. Medición de color	34
	2.7.5. Medición de firmeza	34
	2.7.6. Medición de sólidos solubles	34
	2.7.7. Medición de pH	34
	2.7.8. Determinación de ácido ascórbico	35
	2.7.9. Determinación de fenoles totales	35
	2.7.10. Determinación de actividad antioxidante	36
	2.7.10.1. Método por <i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i> (FRAP)	36
	2.7.10.2. Método por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil)	37
	2.7.11. Determinación de actividad peroxidasa (POD)	37
2.8	Análisis estadístico	38

CAPÍTULO III. TRATAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1	Resultados de actividades preliminares	
	3.1.1. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta	39
	3.1.2. Selección del polisacárido para elaboración de recubrimiento	40
	3.1.3. Selección del reforzador de textura	40
3.2	Resultados experimentales	
	3.2.1. Medición de concentración de CO ₂ /O ₂	41
	3.2.2. Determinación de líquido drenado	45
	3.2.3. Determinación de peso perdido	47
	3.2.4. Medición de color	50
	3.2.5. Medición de firmeza	58
	3.2.6. Medición de sólidos solubles	61
	3.2.7. Medición de pH	62
	3.2.8. Determinación de ácido ascórbico	64
	3.2.9. Determinación de fenoles totales	67
	3.2.10. Determinación de actividad antioxidante	69
	3.2.10.1. Método por <i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i> (FRAP)	69
	3.2.10.2. Método por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil)	71
	3.2.11. Determinación de actividad peroxidasa (POD)	73

CONCLUSIONES	76
--------------	----

BIBLIOGRAFÍA	78
--------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

No. Figura	Título	Página
1	Parte interna de una papaya variedad Maradol.	3
2	Etapas de maduración de la papaya de acuerdo con colorimetría.	5
3	Infección por el virus de la mancha anular de la papaya.	7
4	Papaya Maradol con antracnosis.	8
5	Efectos de corte sobre productos mínimamente procesados.	14
6	Principales componentes de recubrimientos y películas comestibles.	17
7	Lámpara de luz ultravioleta.	26
8	Puntos de lectura en el acondicionamiento de la cámara en la rejilla 2 (vista superior).	26
9	Cámara de refrigeración aislada (vista frontal).	27
10	Selección de la papaya Maradol (<i>Caricaceae</i> L.).	28
11	Selección de reforzadores de textura y polisacáridos en 3 grados de maduración de papaya.	29
12	Cámara de refrigeración y forma de acomodo de las muestras desde una vista frontal.	32
13	Medidor de gases QUANTEK [®] Instruments Model 902D Dual Trak.	33
14	Espectrofotómetro Genesys [®] 10S Uv-Vis marca Thermo Scientific.	36
15	Resultados obtenidos sobre la incidencia de luz ultravioleta en los diferentes puntos dentro de la cámara en kJ/m ² .	39
16	Muestra de papaya con presencia de contaminación microbiana.	43
17	Cambios en líquido drenado en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	46
18	Cambios en peso perdido de papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	48
19	Cambios en el ángulo de tono (°Hue) en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	51
20	Escala de luminosidad.	53
21	Cambios en luminosidad en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	54
22	Escala de colorimetría de acuerdo con la CIE.	55
23	Cambios en la saturación de color en papaya mínimamente	56

24	procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C. Cambios de firmeza (N) en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	59
25	Cambios en el contenido de ácido ascórbico en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	65
26	Proceso de oxidación del ácido ascórbico.	66
27	Cambios en el contenido de fenoles totales en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con UV-C.	68
28	Cambios en la actividad antioxidante mediante el método FRAP en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	70
29	Cambios en la actividad antioxidante mediante el método DPPH en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	72
30	Cambios en la actividad enzimática peroxidasa en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.	75

ÍNDICE DE TABLAS

No. Tabla	Título	Página
1	Composición química de la papaya en 100 g por porción.	6
2	Factores y variables experimentales.	30
3	Codificación de resultados.	31
4	Dureza de modificadores de textura en combinación con goma guar.	41
5	Dureza de modificadores en combinación de nanopartículas de aceite esencial de limón (10%) y goma guar (90%).	41
6	Cambios en la concentración de CO ₂ en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.	42
7	Cambios en la concentración de O ₂ en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.	44
8	Cambios en la cantidad de sólidos solubles en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.	61
9	Cambios en pH en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.	63

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación de rayos UV-C y el uso de un recubrimiento comestible en conjunto con nanotecnología sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales, antioxidantes y enzimáticas de papaya variedad Maradol mínimamente procesada, almacenado en refrigeración a 4°C durante 22 días, para mejorar la estabilidad de conservación. Para determinar el efecto se midió concentración de CO₂/O₂, peso perdido, líquido drenado, color, textura, pH, °Brix, ácido ascórbico, fenoles totales, actividad antioxidante por FRAP y DPPH, y actividad peroxidasa. La experimentación se llevó a cabo en dos partes; en la primera, se estudiaron 4 lotes (control, cloruro de calcio como reforzador de textura, goma guar individual y en conjunto con nanopartículas de aceite esencial de limón) sometidos a luz ultravioleta durante 5 minutos dentro de una cámara aislada; mientras que la segunda parte se estudiaron los mismos lotes, pero almacenados inmediatamente a refrigeración. Con los resultados obtenidos, se concluyó que el tratamiento que logró mantener por más tiempo las propiedades de la papaya fue la aplicación de goma guar con nanopartículas de aceite esencial de limón sometido a rayos UV-C, conservado bajo refrigeración; logrando mantener y conservar la mayoría de las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales, actividad antioxidante y enzimática de la papaya fresca, prolongando la vida útil del producto.

INTRODUCCIÓN

La fruta fresca se comercializa por lo general como productos mínimamente procesados debido a sus características y a la forma de envasado, considerados listos para su consumo (Fajar-Falah *et al.*, 2015). Estos productos requieren de una selección previa, lavado, pelado, cortado y envasado, de tal forma que algunas operaciones desencadenan reacciones de deterioro microbiano y enzimático (Ayhan, 2017).

La papaya es una fruta tropical climatérica rica en carotenoides, con alto contenido en vitaminas A y C y azúcares (Tirkey *et al.*, 2014; Wani *et al.*, 2017), consumida a nivel mundial, teniendo orígenes en la parte baja de Centroamérica y entre sus mayores productores se encuentran Brasil, México, Australia, Sudáfrica y gran parte de los países del sur de Asia (Mishra *et al.*, 2007). Tiene una alta tasa de respiración, y de producción de calor, con estructura blanda; susceptible al daño mecánico, al crecimiento de hongos, a daño por frío, plagas entre otras lesiones, por lo que incrementa considerablemente las pérdidas postcosecha (Andrade da Silva *et al.*, 2014; Rivera-Pastrana *et al.*, 2014). Para incrementar la vida útil, se consideran diversos métodos de conservación, como la refrigeración y las tecnologías emergentes.

La papaya mínimamente procesada posee una calidad única y nutritiva que puede crear oportunidades de comercialización (Albertini *et al.*, 2016), ganando una importancia progresivamente por su conveniencia; sin embargo es necesario considerar que las etapas primordiales como pelado y cortado aumentan las tasas de respiración y cambios bioquímicos (Narsaiah *et al.*, 2015). Algunas

características del producto, es que se tienen considerables pérdidas en peso, firmeza y disminución del valor nutrimental.

La aplicación de un recubrimiento comestible puede contribuir a mantener la calidad del producto; se forma a partir de una suspensión de un agente espesante, que después de la aplicación en el producto forma una película protectora, convirtiéndose en un transportador de aditivos naturales que actúan como agentes antimicrobianos y conservadores, además proveen una barrera de gas semipermeable contra el O₂, CO₂ y humedad entre el alimento y el ambiente, lo que reduce la respiración, pérdida de agua, migración de solutos y la velocidad de reacción de oxidación de las frutas recién cortadas (Andrade da Silva *et al.*, 2014; Ayhan, 2017; Wani *et al.*, 2017).

Los productos mínimamente procesados han atraído el interés de la industria alimentaria que incluyen esta área como los fabricantes de productos alimenticios, la venta al por menor, tiendas, restaurantes, establecimientos de comida para llevar, entre otros (Wiley & Yildiz, 2017). Además del estilo de vida práctico del consumidor y su consideración con alimentos saludables a partir de frutas frescas, aumenta el consumo y por ende las ventas en estos productos (Fajar-Falah *et al.*, 2015). La efectividad de los mínimamente procesados influye en el uso de uno o más tipos de conservadores, en este caso la aplicación de la nanotecnología es una innovación reciente, que en conjunto con un aceite esencial como recubrimiento, extienden la vida útil bajo condiciones de refrigeración, y contribuye como un agente antimicrobiano, manteniendo la población microbiana sin cambios significativos en apariencia y textura (Donsì & Ferrari, 2016; Echiegu, 2017).

El uso de rayos UV-C sobre productos mínimamente procesados contribuye en la reducción de contaminación microbiana y retarda el deterioro, maduración y senescencia con la ventaja de tener una esterilización superficial efectiva, con el fin de extender la vida útil; de igual forma, induce la síntesis de metabolitos

secundarios específicos con propiedades antioxidantes (Bansal *et al.*, 2015; Rivera-Pastrana *et al.*, 2014).

Lo anterior, da importancia a innovar y combinar métodos de conservación actuales para extender la vida útil de esta fruta, así como evitar efectos perjudiciales sobre la calidad y aceptación, determinando cambios fisicoquímicos, químicos y enzimáticos durante cierto tiempo de almacenamiento a bajas temperaturas, con el fin de beneficiar a los productores y los consumidores finales dando productos de alta calidad.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Papaya

1.1.1. Generalidades

La papaya, conocida científicamente como *Carica papaya* L. es un fruto ovoide con forma casi esférica a oblonga o periforme, con una cavidad pequeña o mayor que la mitad del diámetro del fruto, cuyo interior está compuesta de numerosas semillas, perteneciente a la familia *Caricaceae*. El género *Carica* se caracteriza por un ovario unilocular y representado por una sola especie que es *C. papaya*. Internacionalmente tienen otros nombres como pawpaw en Estados Unidos de América o lechosa en algunos países sudamericanos. Está compuesta por: semillas (8.5%), piel (12%) y pulpa (79.5%) (Arias & Toledo, 2007; De la Cruz *et al.*, 2003; Mishra *et al.*, 2007).

Planta: Hierba arborescente de crecimiento rápido de vida corta, con un vástago erecto que puede crecer hasta 9-10 m, con una corona de hojas. Existen tres tipos de formas sexuales: masculino, hermafrodita y femenino; donde se tiene la posibilidad de desarrollar más de un tipo de flor al mismo tiempo (De la Cruz *et al.*, 2003; Hewajulige & Dhekney, 2016). Puede desarrollarse en un periodo de 3 a 8 meses desde la germinación de la semilla a flores y de 9 a 15 meses para la cosecha; de igual forma viven hasta 20 años, pero debido a la excesiva altura, la vida comercial de un huerto es aproximadamente de 2 a 3 años (Jiménez *et al.*, 2014).

Tallo: De forma recta o ramificada que puede alcanzar de 2 a 10 m, cilíndrica, esponjoso-fibroso, suelto, hueco, de color gris o gris-marrón de 10 a 30 cm de diámetro en la base a 5 a 10 cm en la corona, endurecido por cicatrices grandes y protuberantes debido a las hojas caídas y flores. Proporciona soporte estructural, masa corporal, capacidad de almacenamiento, sustancias de defensa y altura, transportando agua, nutrientes, compuestos orgánicos, señales químicas y físicas que regulan relaciones de raíz y brote (Jiménez *et al.*, 2014; Saran *et al.*, 2016).

Hojas: Alternas, peciolos largos, de 25 a 75 cm de diámetro, lisa con venas gruesas medias irradiantes, de base de forma profunda con lóbulos superpuestos; de 7 a 11 lobulares grandes con una base ancha cada uno. El haz de las hojas es de color verde oscura a amarillo verdoso marcado por nervios blancos; los peciolos son redondos y de color verde amarillento, con manchas esporádicas color violeta o purpura (De la Cruz *et al.*, 2003).

Flor: Es una cima actinomorfa en inflorescencia en la unión hoja-tallo, produciéndose cerca del ápice del tronco y abren entre 7 y 9 am; existen cinco tipos de flor (De la Cruz *et al.*, 2003; Jiménez *et al.*, 2014; Tim, 2012a):

- 1) Femenina típica: Produce frutos de forma esférica u ovoide; esta flor es solitaria y axilar en tallos cortos
- 2) Intermedia hermafrodita: Produce frutos de forma irregular conocidos como carpelódicas, y con poco valor comercial.
- 3) Alargada hermafrodita: Produce frutos de forma cilíndrica a pera, siendo la más importante comercialmente.
- 4) Estéril hermafrodita: Es similar a la anterior pero no desarrolla un ovario.
- 5) Masculina típica: No produce frutos, o si forman, son alargados y de baja calidad; nace en racimos largo-pedunculados y colgantes.

Fruto: Forma ovalada a casi redonda, de aproximadamente de 15 a 50 cm de largo y de 10 a 20 cm de grueso, con un peso máximo de hasta 9 kg; algunas

plantas pueden generar frutas desde 2.5 a 15 cm de largo. La constituye una piel cerosa y delgada pero resistente, con un sabor jugoso y dulce; conforme madura la fruta, la piel se vuelve de color amarillo, mientras que la pared de la carne se torna aromática, de color amarilla-anaranjada o con varios tonos de salmón o rojo (De la Cruz *et al.*, 2003).

Semillas: Pueden llegar a tener alrededor de 600 unidades, son negras, ovoides y corrugadas de apropiadamente 5 mm de largo; están cubiertas por una masa mucilaginosa, derivada de la epidermis que está unida a la pared interna de la fruta (De la Cruz *et al.*, 2003; Hewajulige & Dhekney, 2016; Jiménez *et al.*, 2014). En la Figura 1, se muestra el interior del fruto y las semillas unidas en el interior de la fruta.



Figura 1. Parte interna de una papaya variedad Maradol (De la Cruz *et al.*, 2003).

Originaria de la parte baja de Centroamérica, entre el sureste de México y Nicaragua; siendo los mayores productores India, Brasil, México, Australia, Hawái, Tailandia, Sudáfrica, Filipinas, Indonesia y Taiwán, liderando India en el mayor productor de papaya (Mishra *et al.*, 2007); es la tercera fruta tropical más

consumida en el mundo, y en el caso de México, sobresale siendo productor, quedando en sexto lugar a nivel mundial, teniendo como destino una quinta parte de su producción hacia al mercado exterior. La variedad Maradol es la más cultivada en México, teniendo a Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Colima, Guerrero y Michoacán como los estados más importantes en la producción de esta variedad (Granados *et al.*, 2015).

Generalmente se cultivan en zonas tropicales y subtropicales libre de heladas alrededor del mundo, con una temperatura anual de entre 16 a 33 °C y una precipitación de 600 a 4000 mm; la planta puede crecer en suelo con un pH de 5 a 7, siendo más deseable de 6 a 6.5; no tolera heladas, fuertes vientos, suelos arcillosos ni inundaciones, esta última, causa que se pudra la raíz y no se reproduzca (Tim, 2012a). De acuerdo con la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Social (SAGARPA) en México, la plantación prospera desde el nivel del mar hasta 800 m con luz abundante, temperatura de 21 a 33°C, y opulenta lluvia entre 800 a 2000 mm (SAGARPA, 2013); no tolera temperaturas bajas o heladas, ni fuertes vientos, ni inundaciones. El suelo recomendado debe ser de profundidad moderada, francos, textura media con buen drenaje y alto contenido en materia orgánica (Granados *et al.*, 2015).

La papaya inmadura tiene una piel lisa, verde y delgada, y que cambia gradualmente hasta naranja/amarillo cuando está maduro, cuya carne tiene un grosor de 2.5 a 5.0 cm de color amarillo a naranja (Hewajulige & Dhekney, 2016). El grado de madurez comúnmente se desarrolla por colorimetría, aplicando etileno a 100 ppm a temperatura de 20-25 °C y entre 90 a 95% de humedad relativa, durante 24 a 48 horas, acelerando la maduración, provocando cambios en color y firmeza pero muy poco en sabor (Granados *et al.*, 2015). La obtención de una papaya a cierto grado de madurez depende del mercado a abastecer; puede cosecharse en el grado de madurez 1, donde la cáscara es dura y de color verde claro, adherido a la pulpa que cambia de color blanco a ligeramente amarilla o rojiza, de acuerdo con la variedad, mientras que las semillas se tornan negras. En

caso de que las papayas sean para envío de exportación, se cosechan en grado de madurez 2, donde la cáscara es de color verde, con un desarrollo de color amarillo del 20 a 25%, generalmente en la parte de inserción de la flor, mientras que la pulpa se vuelve más colorida, más suave y aromática. Para exportación vía aérea, la fruta debe encontrarse en un grado de madurez 3, donde la superficie ha desarrollado un 40% de color amarillo, con un valor de °Brix de entre 11 a 11.5. Las frutas cosechadas en los grados de madurez 3 y 4, tienen una vida postcosecha menor, por lo que se recomienda comercializarse en el mercado (Arias & Toledo, 2007). En la Figura 2 se muestra las 6 etapas de maduración de la papaya.

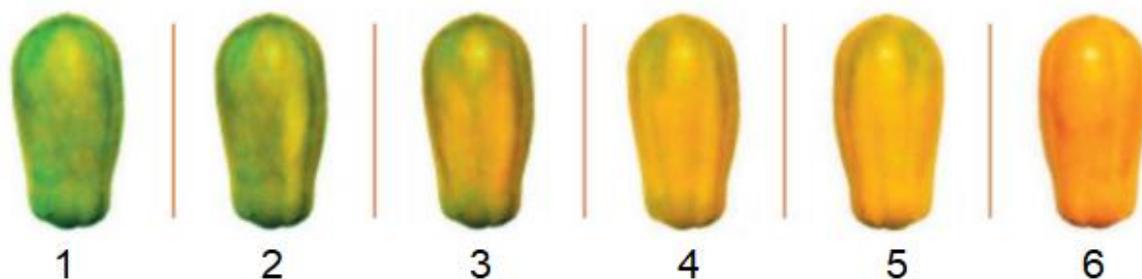


Figura 2. Etapas de maduración de la papaya de acuerdo con colorimetría (Granados *et al.*, 2015).

La fruta cosechada se debe transportar lo más rápido posible al centro de selección y empaque o bien a los centros de distribución y consumo, evitando su exposición a rayos del sol y protegiéndolos de las condiciones ambientales, antes y durante su transporte. El lavado se lleva a cabo por inmersión en agua en conjunto con detergente, para después ser enjuagado en agua con fungicida, y ser secado en charolas para su empaque (Granados *et al.*, 2015); mientras que su manipulación, debe ser con precaución para evitar daños físicos como golpes, magulladuras, abrasiones y cortes que incrementen la velocidad de maduración, deterioro fisiológico y microbiológico. En la empacadora se realiza la selección para eliminar fruta podrida, deforme, sobre madurada o con daños físicos de acuerdo a la norma NMX-FF-041-SCFI-2003 (Arias & Toledo, 2007), los frutos que no cumplen con la norma son retirados y/o desechados.

1.1.2. Propiedades fisicoquímicas

En las últimas etapas de maduración, algunas componentes como los compuestos fenólicos disminuyen, mientras que el contenido de ácido ascórbico, aumenta a 58.6 mg/100g de muestra; la acidez titulable es de 0.0048, el pH de 6.4 y la cantidad de sólidos solubles totales es de 9.66 °Brix (Annegowda & Bhat, 2016).

1.1.3. Propiedades nutricionales

La papaya es una rica fuente de vitaminas A y C, de antioxidantes como carotenos, flavonoides, y minerales como potasio y magnesio, ácido fólico, ácido pantoténico, fibra, reducido en sodio y carece de almidón, además es fuente de papaína, una enzima digestiva utilizada en la industria alimentaria y farmacéutica (Reyes-Chavarria *et al.*, 2015). Es ampliamente recomendada para la prevención de deficiencia de vitamina A, de igual forma es muy reconocida que el fruto es un laxante, digestiva y estomacal (Tim, 2012a). En la Tabla 1, se observa los gramos de cada componente de la papaya en una porción de 100g.

Tabla 1: Composición química de la papaya en 100g por porción (USDA, 2009).	
Humedad (g)	88.83
Calorías (kcal)	39.0
Proteínas (g)	0.61
Lípidos (g)	0.14
Carbohidratos (g)	9.81
Fibra (g)	1.8
Potasio (mg)	257
Calcio (mg)	24.0
Fósforo (mg)	5.0
Magnesio (mg)	10.0
Hierro (mg)	0.10
Vitamina C (mg)	61.8
Vitamina A (UI)	1094
Tiamina (mg)	0.027
Riboflavina (mg)	0.032

1.1.4. Efectos bióticos

El estrés en plantas es cualquier sustancia o condición desfavorable que afecte u obstaculice el metabolismo, crecimiento o desarrollo de la propia planta; en este

tipo de estrés, está relacionada la interacción de la planta con microorganismos o aspectos fisiológicos. Los ejemplos más sobresalientes en la planta de la papaya son la infección del virus de la mancha anular y antracnosis (Ochoa-Velasco *et al.*, 2017).

- 1) La infección del virus de la mancha anular de la papaya (PRSV por sus siglas en inglés) (Jiang & Pan, 2012) es una infección perteneciente a la familia *Potyviridae*, del genero *Potyvirus*, que provoca mosaico severo y distorsión de las hojas, anillos concéntricos en los frutos y manchas aceitosas en la parte superior de los tallos y en los peciolas, lo que impide al crecimiento de la planta y reduce el tamaño y calidad del fruto (Cabrera *et al.*, 2010). Si la infección ocurre en la etapa inicial del cultivo, antes de los dos meses de plantado, no se producen frutos; en el caso de que la infección se desarrolla en una etapa más avanzada, se reduce los rendimientos al igual que el contenido de azúcar y su calidad es inaceptable (Gonsalves, 1998). La transmisión del virus hacia las frutas es de manera no persistente por áfidos; se caracteriza por periodos de adquisición e inoculación cortos, de segundos a minutos, mientras la transmisión a semillas no es muy significativa (Saran *et al.*, 2016). En la Figura 3, se muestra la infección en un fruto en un grado de maduración 3, donde se observan los anillos de color amarillo.



Figura 3. Infección por el virus de la mancha anular de la papaya (APS, 2018).

2) El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* conocido por causar la enfermedad de antracnosis; se caracteriza por causar pequeñas manchas negras o marrón claro, blandas que crecen gradualmente y pueden fusionarse y/o hundirse en frutas maduras, como en la Figura 4 (De la Cruz *et al.*, 2003). La carne debajo de las manchas se vuelve blanda y acuosa, extendiéndose a toda la fruta (Hewajulige & Dhekney, 2016), y la forma en la que llega el hongo no es compleja; los inóculos conidiales del hongo se originan en peciolo infectados moribundos de las hojas. Los conidios liberados por las salpicaduras de lluvias son transportados por las corrientes de aire hacia el desarrollo de la fruta; si las condiciones de humedad persisten, los conidios desarrollan apresorios, donde las estacas de infección penetran la piel de la fruta, y dicha infección permanece hasta que la fruta madure y los síntomas son evidentes en el periodo de postcosecha (Miranda-Castro, 2016). La variedad Maradol es altamente susceptible a este hongo cuando se cultiva en los trópicos húmedos (Chan, 2009).



Figura 4. Papaya Maradol con antracnosis (De la Cruz *et al.*, 2003).

1.1.5. Efectos abióticos

Para el caso del estrés abiótico, está relacionado con factores externos que puede afectar el crecimiento, integridad de la membrana, contenido de pigmentos, la actividad fotosintética, entre otros (Jiang & Pan, 2012; Ochoa-Velasco *et al.*,

2017); en el caso de la papaya, algunos ejemplos son las altas (>35°C) y bajas (<-2°C) temperaturas, anegamiento, sequía y estrés salino

- 1) El anegamiento se refiere a una inundación de un terreno agrícola por un aumento del nivel freático o por irrigación excesiva debido a una lluvia excesiva, un mal o inexistente sistema de drenaje o suelos compactados, provocando un menor porcentaje de germinación, disminución del desarrollo vegetativo en número y tamaño de frutos y lo más importante un aumento en el nivel de plagas y enfermedades causando pérdidas en cosecha como pérdidas económicas. La calidad de los frutos es afectada por el desarrollo anormal de las raíces; se modifica el traslado del agua y nutrientes a la parte aérea (Moreno & Fischer, 2014). La inundación del suelo llena los poros, reduciendo la disponibilidad de oxígeno, y la difusión de O₂ disuelto en el agua estancada es lenta, donde sólo una capa delgada de tierra cerca de la superficie contiene oxígeno (Aldana *et al.*, 2014).
- 2) Las altas temperaturas (mayores a 35°C) producen daño por calentamiento; esta modifica el efecto de etileno y los niveles de O₂ y CO₂ del producto cosechado, de igual manera afecta el ritmo respiratorio del fruto, la germinación de esporas de los hongos y en el desarrollo de patógenos. Por encima de los 40°C se tienen daños severos y por arriba de los 60°C, se detiene toda actividad enzimática (Arias & Toledo, 2007).
- 3) Las temperaturas bajas (menores -2°C) producen daño por enfriamiento; entre menos madura sea la fruta, mayor es su sensibilidad al frío. Los daños que puede causar son: fallas en la maduración de consumo, aparición de pequeñas manchas color marrón de 1 a 2 mm de diámetro en la superficie de la fruta, decoloración de la cáscara y susceptibilidad a enfermedades fúngicas (Arias & Toledo, 2007).

- 4) Los efectos que tiene la salinidad se asocian con el déficit de agua, desbalance iónico, comportamiento de las estomas, eficiencia fotosintética y la distribución y asimilación del carbono; además, causa problemas en el crecimiento y desarrollo del vegetal. La salinidad afecta a las plantas cultivadas en fase vegetativa y reproductiva, causando reducción en la acumulación de bioma como en la producción (Casierra-Posada & García-Riaño, 2006).
- 5) El estrés por sequía ocurre cuando el agua disponible en el suelo se reduce y las condiciones atmosféricas causan la pérdida de agua por transpiración o evaporación; lo anterior es debido a los factores climáticos, edáficos y agronómicos. Se caracteriza por la reducción del contenido de agua, la disminución del potencial hídrico foliar y la pérdida de la turgencia, cierre de las estomas, disminución del crecimiento celular y limitación en el intercambio de gases (Jaleel *et al.*, 2009).
- 6) La elicitación es el uso de sustancias químicas que producen un cambio fisiológico en las plantas; activan las vías metabólicas como mecanismos de defensa similares a cuando existe alguna infección patogénica. Un ejemplo es el 1-metilciclopropeno (1-MCP) que actúa uniéndose a los receptores de etileno en los tejidos; es un inhibidor de la percepción del etileno que puede retrasar la maduración y la senescencia, también reduce la producción de etileno, la respiración, el cambio de color y el ablandamiento (Ochoa-Velasco *et al.*, 2017).

1.1.6. Deterioro de la papaya

Son susceptibles a la invasión de ciertos hongos y bacterias patógenas debido a su alta humedad y nutrientes (Hewajulige & Dhekney, 2016). Las herramientas de cosecha que se utiliza, la caída de fruta en cajas, el sobrellenado de cajas y el empuje de la fruta durante el transporte, contribuye al daño en la piel; mientras en la maduración, las áreas magulladas se convierten en regiones blandas y oscuras

siendo susceptibles a una infección microbiana. Otros factores pueden ser la manipulación en el lavado, clasificación y empaque por parte de los manipuladores (De la Cruz *et al.*, 2003).

Las abrasiones en la piel producen coloración con manchas llamadas “islas verdes” (áreas de la piel permanecen verde y hundidas cuando la fruta está madura) y aceleran la pérdida de agua, produciéndose en la etapa de madurez del fruto (De la Cruz *et al.*, 2003; Singh & Sudhakar, 2011). También la fruta blanda es otro problema de deterioro, debido a hematomas o aplastamientos durante el manejo o bien por bajos niveles de calcio, y esto ocasiona a que algunos frutos maduren rápido, lo que limita el transporte y comercialización a larga distancia (Singh & Sudhakar, 2011).

1.1.7. Consumo y aplicaciones

La papaya es un fruto que por lo general se consume completamente madura (carne suave), existen partes del mundo donde su consumo es cuando se encuentran en madurez fisiológica, por lo que es diverso en diferentes partes; en Asia es procesada en rebanadas para ensaladas de frutas o cocteles o bien como producto deshidratado o barras. También se puede procesar como puré para jugos, néctar, bebidas mezcladas, gelatinas, salsas, en forma de pepinillos, caramelos, conservas o mermeladas (Chan, 2009; De la Cruz *et al.*, 2003; Tim, 2012a).

El látex de las frutas y hojas verdes contienen una enzima llamada papaína, que se utiliza para ablandar carne de res, carne de cerdo y pescado, aclarar cerveza a prueba de frío, curtida de cuero y para producción de chicle. En la industria farmacéutica, la papaína se usa para la supresión de inflamación, en el tratamiento de heridas gangrenosas y diversas dolencias digestivas, además tiene propiedades exfoliantes que ayuda a eliminar las células de la superficie muerta de la piel, siendo aprovechado para comercializar jabones, cremas, champús y lociones en la industria cosmética (Chan, 2009; Tim, 2012a). Mientras que en el

caso de las semillas, es usada como sustituto de pimienta, condimento en ensaladas, o dar textura y sabor en ensaladas de fruta, en su presentación triturada o molida (Tim, 2012a).

1.2. Producto mínimamente procesado

Existen diversas definiciones de un producto mínimamente procesado, una general es: producto que contiene tejidos vivos o aquellos que han sido modificados a partir de la condición fresca y son frescos como en carácter y calidad, preparados por una o varias operaciones como pelado, triturado, entre otras, dando una preservación parcial (Wiley & Yildiz, 2017).

Se han desarrollado tecnologías para mantener la calidad de los productos mínimamente procesados con el propósito de satisfacer las necesidades de los consumidores; estos pueden incluir atmósferas modificadas de envasado (mantener concentración de gases correcta), atmósferas controladas (retardar el ablandamiento), tratamientos químicos (inmersión), bajas temperaturas durante el almacenamiento, radiación (reducción de crecimiento microbiano, desecación y descoloramiento) (Ayhan, 2017).

La preparación de productos mínimamente procesados se realiza de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1) Clasificación: Es el primer paso, siendo preliminar ya que se toman decisiones de aceptabilidad o no aceptabilidad; se eliminan o rechazan productos con defectos fisiológicos (Bansal *et al.*, 2015).
- 2) Limpieza y lavado: Eliminación de materiales extraños, al igual que la separación del fruto de partes indeseables como ramas, tallos, tierra, insectos, pesticidas, residuos de fertilizantes de la fruta a procesar; este paso debe llevarse a cabo por un limitado número de personas, con el fin de evitar una contaminación y magulladuras. La eliminación de la materia se puede realizar por lavado con agua o bien por métodos físicos en seco; un componente muy utilizado en el lavado es el cloro (Yildiz, 2017).

- 3) Pelado: Eliminación de la capa exterior de la fruta, bien puede conocerse como despellejado o descascarar; esta operación puede realizarse por diversos métodos ya sea manualmente, con vapor o agua caliente, por medios mecánicos, con ácidos, entre otros; se debe desarrollar con precaución, debido a que se puede causar cicatrices en la superficie y la porción comestible también puede ser dañada (Yildiz, 2017).
- 4) Cortado: Reducción de tamaño del fruto, las fuerzas que se ocupan en el corte son compresión, impacto, atrición y cizalla; los utensilios de corte deben ser estériles o en condiciones asépticas como el lavado a fondo con agua y estar en buenas condiciones. Algunos autores sugieren que el cortado se realice a temperaturas de 4 a 0°C con el fin de reducir contaminación (Yildiz, 2017).
- 5) Envasado: Su propósito es proteger el producto de daños físicos, químicos o microbiológicos, durante el almacenamiento, distribución y comercialización; el envase es comúnmente un polímero en forma de canastilla, vaso o bien en bolsa sellable (De la Cruz & Roncal, 2015).
- 6) Almacenamiento: Se sugiere que el almacenamiento sea en refrigeración con el fin de evitar el deterioro del producto, en temperaturas de entre 2 y 10 °C (Erkan & Yildirim, 2017).

En algunos casos se maneja el uso de recubrimientos comestibles como tecnología emergente después del cortado, ya que se ha estudiado que retrasa la maduración, los cambios de color, la pérdida y descomposición de agua, y además mejora la apariencia (Erkan & Yildirim, 2017).

1.2.2. Efectos de cortado

El cortado de cualquier producto, puede causar una aceleración en la respiración, daños mecánicos y debilitamiento del tejido; los tejidos tienen barreras más bajas para la difusión del gas, tolera mayores concentraciones de CO₂ y menores niveles de O₂ que los productos intactos (Yildiz, 2017). El cortar o herir un producto los hace vulnerables a una infección microbiana y al pardeamiento enzimático con actividades metabólicas más altas dependiendo de la composición

del producto. En la Figura 5, se muestra algunos de los efectos que tiene el cortado el productos mínimamente procesados (Bansal *et al.*, 2015).

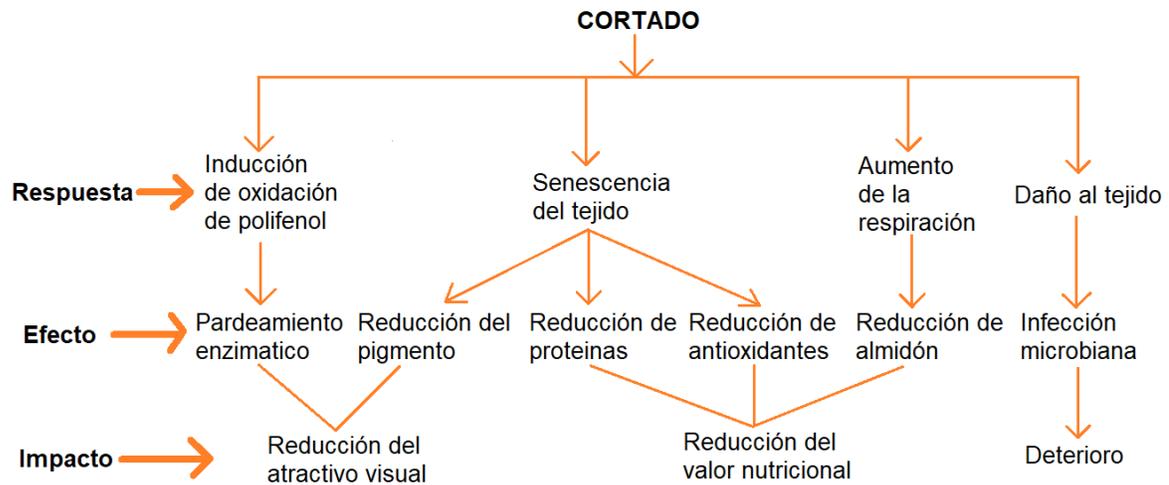


Figura 5. Efectos de corte sobre productos mínimamente procesados (Bansal *et al.*, 2015).

1.2.3. Respiración

Durante la manipulación de frutas se tiende a causar heridas, que provocan un aumento en la respiración lo cual involucra la producción de CO₂ y el consumo de O₂; todo esto depende de la temperatura de almacenamiento y el grado de heridas (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009). Se debe considerar que mayor grado de procesamiento se produce mayores tasas de respiración y que trozos más pequeños se produce aún más etileno y por ende mayor tasa de respiración (De la Cruz & Roncal, 2015).

1.2.4. Actividad metabólica

La pérdida de turgencia del tejido vegetal es debido a la eliminación de agua por evaporación; el agua de las frutas se encuentra en los espacios inter e intracelulares, por lo que no está expuesta a la atmósfera. Cuando se dañan los tejidos se aumenta la velocidad de evaporación y la deshidratación debido a la exposición con la atmósfera; también se produce la activación del metabolismo relacionado con la degradación, dando como resultado un aumento en la velocidad de respiración, por ende, un consumo más rápido de oxígeno en el

envase; además se pierden más rápido azúcares y otros compuestos. La papaya siendo un fruto climatérico, aumenta la producción de etileno, contribuyendo a la síntesis de enzimas involucradas en reacciones bioquímicas de maduración; el etileno acelera algunos mecanismos biológicos que generan el deterioro y senescencia de los tejidos (De la Cruz & Roncal, 2015).

1.2.5. Factores de deterioro

El deterioro de los productos mínimamente procesados se debe principalmente en el proceso que se realizó como el corte, picado y/o pelado ya que no sólo causa la exposición de las células si no a los tejidos aumentando el área de daño. Existen varios factores que pueden deteriorar a los productos mínimamente procesados como los siguientes (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009):

- a) *Producción de etileno*: Ocurre un aumento cuando el tejido está dañado produciendo cambios fisiológicos (maduración) a ciertos frutos: por ejemplo, aumento en compuestos fenólicos provocando cambios de sabor; otro factor a considerar es que el aumento de la producción de etileno, ya que dependerá del grado de maduración de los frutos al momento de cortar.
- b) *Pérdida de humedad*: Existe el incremento de la tasa de transpiración por la exposición del tejido afectando la calidad del producto; el estrés hídrico provoca alteraciones metabólicas, cambios en la activación de enzima, causando aceleración en la tasa de senescencia, reducción en sabor, aroma, valor nutricional y mayor susceptibilidad al daño por frío e invasión de patógenos.
- c) *Pardeamiento*: Ocurre una reacción catalizada por la enzima polifenol oxidasa, donde los compuestos fenólicos reaccionan con la atmósfera del oxígeno en presencia de cobre provocando la formación de compuestos de oscurecimiento dando una apariencia poco atractiva.
- d) *Contaminación microbiana*: Los productos mínimamente procesados son susceptibles a la invasión de microorganismos, dado que al momento de corte, la humedad de la superficie y los restos citoplásmicos de las células

rotas con altas concentraciones y proteínas estarán presentes, siendo condiciones ideales de crecimiento microbiano como pseudomonas, eterobacter, lactobacillus, mohos, levaduras, entre otros. La presencia de microorganismos da como consecuencia enfermedades transmitidas por alimentos y deterioro en el producto.

1.2.6. Factores de deterioro en papaya mínimamente procesada

Los principales problemas asociados con papaya recién cortada como pérdida de peso y firmeza, disminución del valor nutricional y la proliferación microbiana, limitan su vida de almacenamiento (Wani *et al.*, 2017). El desarrollo de estos productos se provoca al herir el tejido de fruto, lo que produce cambios fisiológicos y bioquímicos asociados con estrés abiótico; algunos síntomas son el oscurecimiento de las superficies cortadas, aumento en la tasa de respiración y la producción de etileno y la pérdida de sabor. La efectividad de la papaya mínimamente procesada está relacionada con la especie de la fruta, el grado de madurez y las condiciones de manipulación y almacenamiento (Singh & Sudhakar, 2011).

1.3. Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos y películas comestibles han sido estudiados en los últimos 20 años en la aplicación de frutas y verduras mínimamente procesados, pero su aplicación no es nueva; Hardenburg en 1967 realizó la preservación de naranjas y limones con recubrimiento de cera en China, mientras que Estados Unidos se realizó la primera patente de recubrimientos comestibles en 1916 (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009).

Las películas comestibles se forman de finas capas o láminas sólidas comestibles que se aplican como una envoltura sobre la superficie del alimento (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009; Yousuf *et al.*, 2018) mientras que los recubrimientos comestibles son soluciones líquidas que cubrirán al alimento al momento de sumergir, dichas soluciones son sustancias formadoras de matriz estructural como

carbohidratos, proteínas, lípidos y mezcla entre estas (Yousuf *et al.*, 2018). En la Figura 6, se muestra los principales componentes de las películas y recubrimientos comestibles.

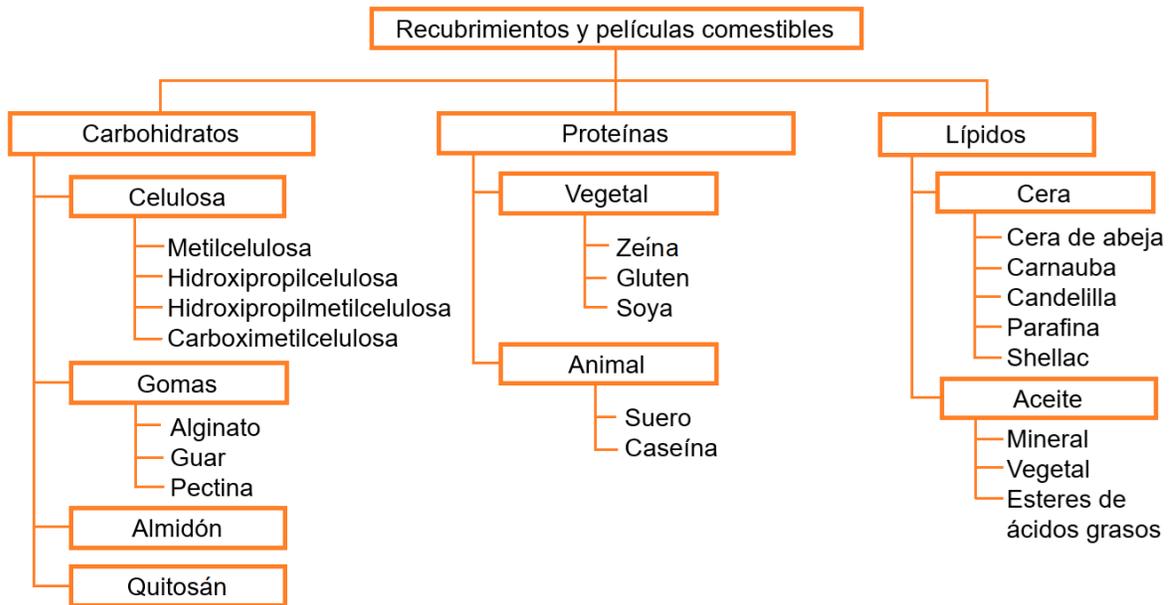


Figura 6: Principales componentes de recubrimientos y películas comestibles (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009).

Los recubrimientos y películas son una alternativa en la preservación de frutas y verduras recién cortadas ya que crean una barrera a los gases y al vapor de agua entre los alimentos y la atmósfera circundante, además actúan como portadores de aditivos (agentes antioxidativos, potenciadores de textura, antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes, colorantes, sabores y especies) contribuyendo a mejorar la calidad y aumento de vida útil de estos productos; de igual forma disminuye la respiración, la senescencia, reducción en la pérdida de aroma, conserva la humedad, la oxidación de nutrientes, migración de solutos, previene cambios químicos inducido por la luz y retarda los cambios de color en productos mínimamente procesados (Ayhan, 2017; Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009).

Para la aplicación se debe considerar factores como:

- a) Propiedades de la solución de recubrimiento

- b) Efecto del recubrimiento con el tiempo
- c) Interacción recubrimiento/producto
- d) Condiciones de almacenamiento
- e) Grosor, color y sabor
- f) Fisiología de la fruta
- g) Función que llevará a cabo el recubrimiento o película

La aplicación de los recubrimientos es por inmersión y otras técnicas como la pulverización, cepillado, en forma spray, entre otros; la aplicación en productos mínimamente procesados, el producto cortado pierde su protección natural, que en este caso es la piel, donde los tejidos están dañados, y los compuestos celulares se encuentra expuestos al ambiente facilitando reacciones degradativas como pardeamiento enzimático, ablandamiento y deterioro microbiano (Güneş & Turan, 2017).

La aplicación de calcio como recubrimiento se ha utilizado para prolongar la vida útil de estos productos, reduciendo la tasa de respiración, la producción de etileno y la pérdida de humedad (Güneş & Turan, 2017). El uso de aceites esenciales como recubrimiento son eficaces en controlar el deterioro microbiano, mejorar la seguridad y prolongar la vida útil de los productos; si un recubrimiento está compuesto por otro polímero adicional, prolonga la vida útil microbiana hasta 21 días en ciertos frutos, aunque afecta de forma considerable en olor y firmeza (Ayhan, 2017).

1.4. Nanotecnología

1.4.1. Definición

Se encarga de la ingeniería, manipulación, diseño, caracterización, producción y aplicación de materiales en una escala molecular de 10 a 1000 nm. Se han desarrollado actualmente nuevos dispositivos de administración (liposomas), y la creación de nuevos materiales de envasado, ampliar el almacenamiento de

alimentos y mejorar la seguridad alimentaria, sabor y textura (Chau, 2015; Echiegu, 2017). Algunas de las configuraciones que tienen las aplicaciones de la nanotecnología son las siguientes (Özer *et al.*, 2014, Echiegu, 2017):

- 1) Nanopartículas: Son de origen natural o antropogénicas donde imparte algunas propiedades deseables al incorporarse a los alimentos, se clasifican en duras y blandas; las primeras tienen moléculas huecas o tubulares e incluyen titanio, óxido, sílice y fullerenos, mientras que las segundas incluyen liposomas, vesículas, nanodropos. En la aplicación con alimentos, las nanopartículas poliméricas son un sistema eficiente como bactericida utilizado en el envasado y conservación, o bien como compuestos activos en alimentos funcionales.
- 2) Nanofibras: Su objetivo es controlar y focalizar la entrega de nutraceuticos y otros materiales bioactivos para una mejora en la biodisponibilidad, hechos generalmente de polímeros. Otro uso es en sensores que cambien de color a medida que absorben vapores químicos.
- 3) Nanotubos: Son estructuras en forma de tubo que pertenecen a los fullerenos, los cuales tienen estructuras huecas en sus paredes; los nanotubos de carbono son utilizados para el procesamiento, envasado, preservación, almacenamiento y distribución de alimentos.
- 4) Nanoarcillas: Son utilizadas en la producción de nanocompuestos de arcillas, un nanomaterial híbrido de polímero y arcilla que se usan como modificadores reológicos, absorbentes de gases y transportadores de materiales bioactivos.
- 5) Nanocompuestos: Son la combinación de uno o más materiales con estructuras y química diferentes, por ende, con propiedades diferentes; uno de los materiales forma una matriz masiva, mientras que la otra sirve de

refuerzo. Los materiales reforzados son dispersados fina y uniformemente dentro del material matriz; estos pueden ser metales, cerámica, entre otros. En la industria alimentaria, el material matriz son polímeros, mientras que el material de refuerzo son nanopartículas de minerales, pilas de arcilla exfoliada, disulfuro de molibdeno, disulfuro de tungsteno; en combinación con nanoarcilla tienen propiedades de barrera manteniendo los productos frescos, libres de microorganismos y otras infestaciones en un cierto tiempo.

- 6) Nanoemulsión: Son dispersiones líquidas agua-aceite con tamaños de gota de 100 nm; son estables y difíciles de separar por su tamaño de partícula. En la aplicación con alimentos es utilizado para aderezos para ensaladas, helados entre otros, teniendo actividad antimicrobiana en patógenos y no patógenos.
- 7) Nanocápsulas: Consisten en una capa polimérica no tóxica que encapsula una cavidad hueca que contienen sustancias activas en forma líquida, sólida o en dispersión molecular, además protegen ingredientes bioactivos encapsulados en condiciones ambientales. La liberación del ingrediente encapsulado se desarrolla por humedad, temperatura o pH.
- 8) Nanosensores: Están diseñadas para detectar cambios de color y/o presencia de patógenos y otros microorganismos, al igual la presencia de compuestos volátiles que se producen en el deterioro. Son usados de igual forma para el monitoreo, control y garantía de calidad.

Los efectos que tienen los productos con nanotecnología sobre la salud son diversos, por ejemplo, la incidencia de patologías graves como el cáncer, además mejora algunas de sus propiedades químicas como la solubilidad, y una mayor resistencia contra las enzimas gastrointestinales y la microflora. La administración

de probióticos, omega 3 y ácidos grasos omega, vitaminas y minerales son más efectivos en nanopartículas (Nazzaro *et al.*, 2012).

1.4.2. Aplicaciones

La nanotecnología comienza a cubrir diversos aspectos como la seguridad alimentaria, materiales de envasado, nanosensores, sistemas de administración de nutrientes, la biodisponibilidad y nuevos materiales para la detección de patógenos (Özer *et al.*, 2014). Existen varias aplicaciones en diversas áreas como la farmacéutica; en el caso de la industria alimentaria son las siguientes:

- a) Alimentos procesados: Su uso está destinado en la mejora de la textura y la innovación de nuevos sabores, también el uso de aditivos de tamaño nano ayudan a mejorar la capacidad de dispersión de los aditivos liposolubles, al igual que la absorción y biodisponibilidad de nutrientes y suplementos (Özer *et al.*, 2014).
- b) Envasado y almacenamiento: Tiene el potencial de cambiar la atmósfera que rodea el alimento dentro del empaque, retrasando la oxidación; además controla el crecimiento microbiano, las tasas de respiración y sabores o aromas volátiles, cambios en la densidad y transparencia. En aplicaciones más específicas tiene propósitos como mejora de propiedades mecánicas, propiedades de barrera de materiales de embalaje contra oxígeno, dióxido de carbono, radiación ultravioleta, humedad y sustancias volátiles, lo que ayuda a controlar la migración de la humedad (Chau, 2015). La aplicación es válida en carnes procesadas, quesos, cereales, panadería, en la aplicación de recubrimientos extruidos para jugos de fruta o productos lácteos, o en el proceso de coextrusión en la fabricación de cerveza y bebidas carbonatadas (Nazzaro *et al.*, 2012).
- c) Inocuidad: El desarrollo de nanosensores permite en la detección de toxinas peligrosos, contaminantes químicos, pesticidas o microorganismos

patógenos en el agua (Nazzaro *et al.*, 2012). La forma en la que se identifican los patógenos es por medio del ácido nucleico, proteínas o cualquier otro metabolito indicador de microorganismo (Özer *et al.*, 2014).

1.5. Aceite esencial de limón

Un aceite esencial básico es compuesto aromático de origen natural con actividades biológicas, siendo usados como aditivos, y últimamente como agentes antioxidantes, antibacterianas y antifúngicas (Donsì & Ferrari, 2016) y contiene entre 85 al 99% de componentes volátiles y 1 al 15% no volátil (Sánchez-González *et al.*, 2011). El aceite esencial de limón se extrae de la cáscara, sacos de jugo y semillas y se utiliza como agente aromatizante en bebidas, alimentos, productos farmacéuticos entre otras aplicaciones; su componente principal es el limoneno con un 73.73%, valencene, ocimene y de otros compuestos como δ -terpiene (9.19), sabiene (4.77), 1-isopropil-2-methoxy-4-metil-benceno (2.28), b-myrcene (2.17), α -piene (2.04), p-cieme (1.46), β -piene (1.16), α -terpinene (0.64), α -thujene (0.56) (Sánchez-González *et al.*, 2011; Tim, 2012b).

Tiene la característica de poseer un aroma intenso, sin embargo la toxicidad potencial y costos de extracción limitan su uso directo, una de las formas en las que puede ser aplicado es mediante el uso de recubrimiento comestible, ya que reduce la cantidad de aceite, contribuye como barrera de gases contra el deterioro de alimentos o como compuesto antimicrobiano en contra microorganismos patógenos in-vitro (Randazzo *et al.*, 2016). De igual forma sirve como puente de compuestos antimicrobianos y antifúngicos (*aspergillus* y *penicillium*) (Sánchez-González *et al.*, 2011); otras propiedades que tiene el aceite esencial son bioactivos, antioxidantes, anticancerígenas e insecticidas (Tim, 2012b).

Recientemente se han realizado pruebas con aceite esencial de limón junto con otros compuestos específicamente nanoparticulados, que extiende aún más la vida útil del producto a consumir. Por lo tanto no se desarrolló cambios

significantes en las propiedades internas del producto, por ejemplo en la actividad antioxidante se mantuvo constante (Sánchez-González *et al.*, 2011).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1. Problema

Los productos mínimamente procesados se han ido expandido en los últimos años, esto con el fin de reducir el tiempo en la preparación de alimentos, la constante innovación en la presentación y la necesidad de alimentos listos para comer para aquellas personas de tiempo ilimitado, quienes buscan productos que les proporcioné gran valor nutricional como lo son las frutas y verduras. En el caso de las frutas, un ejemplo de ellas es la papaya, la cual es fuente de carotenoides, vitaminas y carbohidratos, pero al ser sometido al corte contribuye a una pérdida de peso y firmeza por lo que disminuye su valor nutricional al igual a una proliferación microbiana limitando su vida de almacenamiento. Para reducir o eliminar estos daños, se someten a otras tecnologías u otras formas de conservación como el uso de luz ultravioleta que contribuye a reducir deterioro por microorganismos, pero no asegura la conservación a largo plazo, por lo que se requiere de otras técnicas que en conjunto puedan asegurar las propiedades nutricionales de producto, así como extender su vida útil.

2.2. Objetivo general

Evaluar el efecto de un recubrimiento con base en nanopartículas de aceite esencial de limón y tratamiento con rayos UV-C, sobre la conservación de papaya mínimamente procesada, determinando los cambios físicos, fisicoquímicos y enzimáticos que permitan incrementar su periodo de almacenamiento a 4 °C.

2.3. Objetivos Particulares

1. Determinar cambios físicos (pérdida de peso, líquido drenado, color, textura) de papaya mínimamente procesada con nanopartículas de aceite esencial de limón y desinfección con rayos UV-C, correlacionando su influencia sobre su conservación en refrigeración a 4 °C.
2. Valorar el efecto de la aplicación de un recubrimiento de nanocápsulas de aceite esencial de limón y tratamiento con UV-C sobre los cambios en la concentración de O₂ y CO₂ en papaya envasada y almacenada a 4 °C, correlacionándola con la efectividad del proceso de conservación
3. Establecer el efecto del recubrimiento de nanopartículas de aceite esencial de limón sobre sus propiedades fisicoquímicas (pH, grados °Brix, Ácido ascórbico) como factores a controlar para su conservación.
4. Analizar la influencia de un recubrimiento con nanopartículas de aceite esencial de limón y tratamiento con luz UV-C, sobre los cambios en actividad enzimática de la peroxidasa y fenoles totales sobre la modificación de la capacidad antioxidante, infiriendo sobre la estabilidad del producto al almacenamiento refrigerado.

2.4. Actividades preliminares

2.4.1. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta

Previo a la utilización de la cámara de rayos UV-C se llevó a cabo su acondicionamiento. El volumen de la zona de irradiación es de 9 m³ y cuenta con una lámpara UV-C (254 nm) de 15 W mostrada en la Figura 7, con la finalidad de homogenizar la distribución de irradiación; tiene paredes metalizadas de aluminio y cuenta con 3 rejillas. La intensidad de luz emitida se midió utilizando un medidor de luz ultravioleta Digital Instruments modelo Lutron SP-82UV, el monitoreo se realizó de acuerdo con la distribución de puntos mostrados en la Figura 8 desde

una vista superior, a una distancia de 23 cm desde la lámpara, que está en la rejilla 1, hasta la rejilla 2 donde serán expuestas todas las muestras (Figura 9).



Figura 7. Lámpara de luz ultravioleta.

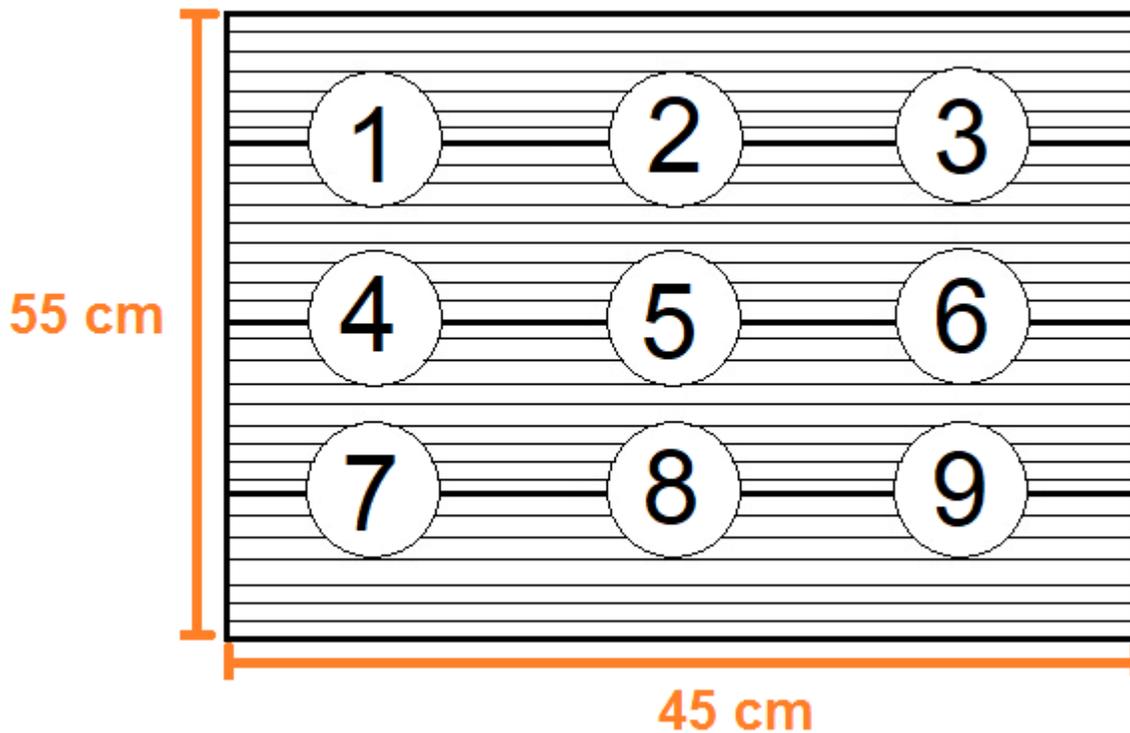


Figura 8. Puntos de lectura en el acondicionamiento de la cámara en la rejilla 2 (vista superior).

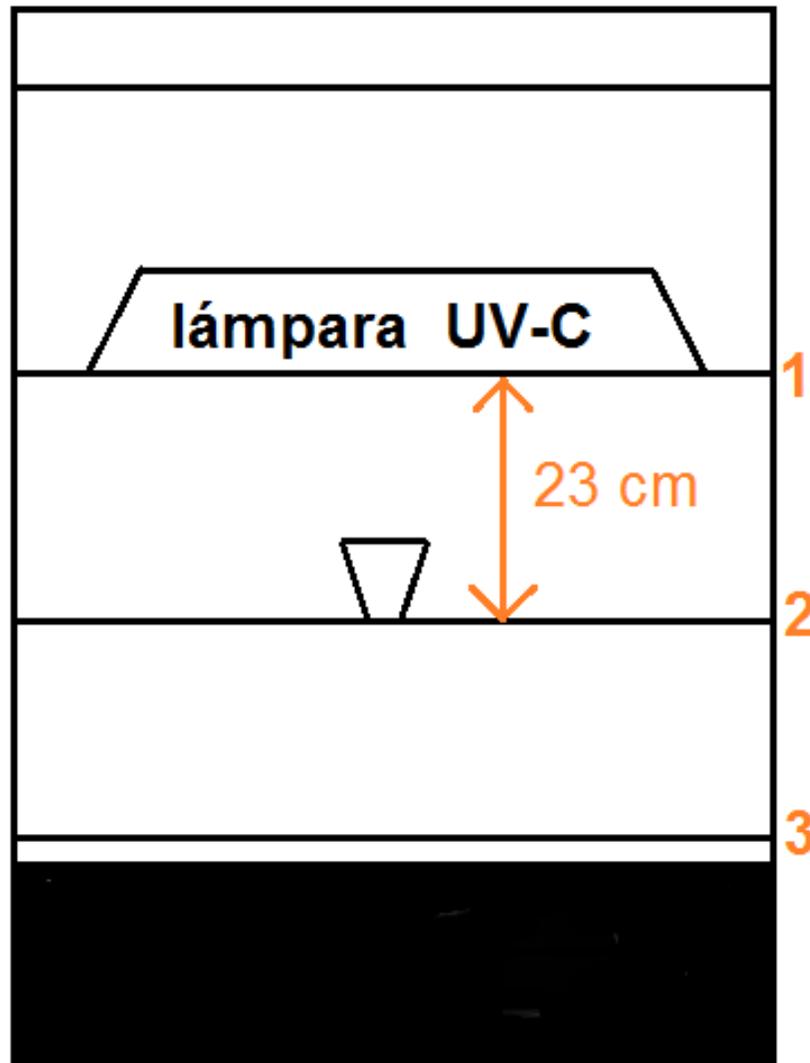


Figura 9. Cámara de refrigeración aislada (vista frontal).

2.4.2. Selección de materia prima

Un lote de 25 kg de papaya Maradol fue adquirido en un supermercado localizado en la colonia Centro Urbano de Cuautitlán Izcalli, Estado de México; el producto se seleccionó en estado de madurez 5 (Figura 2, pág. 5), de forma y olor característicos, libre de descomposición, pudrición, daños mecánicos y microbiológicos, sin olor extraño y con tamaño similar. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de una papaya con las características deseadas para su selección.



Figura 10. Selección de la papaya Maradol (*Caricaceae* L.) (De la cruz *et al.*, 2003).

2.4.3 Selección del polisacárido para elaboración de recubrimiento

Previo al desarrollo del recubrimiento, se realizaron pruebas de compatibilidad entre el polisacárido y la papaya fresca cortada; los polisacáridos o gomas a emplear se seleccionaron con base a una revisión bibliográfica, de los cuales fueron carboximetilcelulosa al 0.5%, pectina al 1% y goma guar al 0.3%, estas se prepararon a 80 °C.

Para la selección, se requirió de una papaya por cada grado de maduración (4, 5 y 6) de la Figura 2, pág. 5, donde fueron cortados y recubiertos con cada uno de los polisacáridos durante 3 minutos y escurridos por 2 min para ser envasado, con el fin de determinar el comportamiento que tiene con el almacenamiento a 4°; los criterios de selección fueron apariencia física y color del propio experimentador.

2.4.4. Selección del reforzador de textura

En el caso de la selección de los modificadores de textura, los polímeros de prueba fueron cloruro de calcio 3% y lactato de calcio al 3% y 6% y de igual forma se realizó con una papaya previamente cortada por cada grado de maduración (4, 5 y 6) (Figura 2), sumergidos en la dispersión durante 3 min y un escurrido de 2 min, se envasaron y almacenaron a 4°C. El criterio de selección fue apariencia física, así como firmeza y fracturabilidad mediante pruebas texturales; en la Figura 11 se muestran las papayas cortadas de cada grado de madurez, envasadas con cada uno de los polisacáridos y reforzadores de textura previo a su almacenamiento.



Figura 11. Selección de reforzadores de textura y polisacáridos en 3 grados de maduración de papaya.

2.4.5. Preparación de dispersiones para recubrimiento

Una vez seleccionado el polisacárido matriz a emplear para el recubrimiento de papaya, se preparó un día antes de envasar con la finalidad de que al momento de su utilización estas alcanzaran 4 °C. El aceite esencial de limón fue adquirido en Droguería Cosmopolita y con este se prepararon las nanocápsulas por el método de emulsificación-difusión con un tamaño de partícula promedio de 350 nm, estas fueron proporcionadas en el Laboratorio de Transformación y Tecnologías

Emergentes en Alimentos de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

2.5. Variables y diseño experimental

En la Tabla 2, se muestran las variables experimentales consideradas durante la experimentación, así como las variables de respuesta con su respectiva técnica o instrumento de medición, que fueron determinadas cada tercer día durante la experimentación por 22 días. Las determinaciones se llevaron por triplicado y por cada envase su respectivo triplicado en las determinaciones de colorimetría, textura, fenoles totales y capacidad antioxidante.

Tabla 2. Factores y variables experimentales.

Factor de Variación	Nivel de Variación	No. de Replicas	Variable dependiente	Variable de respuesta	Técnica/ Instrumento
Tratamiento con rayos UV-C	Con rayos UV-C	3	Peso final	% de pérdida de peso	Balanza digital
			Concentración CO ₂ /O ₂	Velocidad de producción de CO ₂ / Velocidad de consumo de O ₂	Analizador de CO ₂ y O ₂ QUANTEK
			Líquido drenado	% de volumen drenado	Recuperación de líquido
			Colorimetría	°Hue, Croma, Luminosidad	Colorímetro
			Textura	Firmeza	Texturómetro
			pH	pH	Potenciómetro
	Sin rayos UV-C		°Brix	Sólidos solubles	Refractómetro
			Ácido ascórbico	Vitamina C	Titulación
			Fenoles totales		Folin-Ciocaltiu
			Actividad antioxidante	Capacidad antioxidante	FRAP DPPH
			Actividad enzimática	Peroxidasa	Espectrofotómetro

2.6. Preparación de las muestras

La papaya fue lavada y desinfectada con plata coloidal a una concentración de 1 mL/L durante 10 min, posteriormente se cortó en dos para facilitar la remoción del epicarpio y semillas; se cortó en cubos de aproximadamente de 8 mm³. Teniendo el polisacárido, el polisacárido con nanopartículas y el modificador de textura, fueron sumergidas en las tres soluciones durante 3 minutos y escurridos por 3 min más, para posteriormente envasarse. El envasado se realizó en vasos de poliestireno cristal del no. 7, donde se colocaron 80 g de muestra por envase; la mitad del lote fue sometida a tratamiento UV-C, donde una vez llevada a cabo la irradiación, el total de las muestras fueron almacenadas en refrigeración para su posterior monitoreo, en la Tabla 3 se muestra la codificación utilizada para los distintos lotes de tratamiento.

Tabla 3. Codificación de resultados.

Tratamiento	Codificación
Control (muestras sin ningún tratamiento posterior al corte)	Control
Cloruro de calcio (tratamiento por inmersión en CaCl ₂ al 1%)	CC
Goma guar (tratamiento con goma guar al 0.3%)	GG
Goma guar-nanopartículas (tratamiento con goma guar al 0.3%+ nanopartículas de aceite esencial de limón)	GG-Nps

Para el almacenamiento, se requirió de una cámara de refrigeración (refrigerador comercial) ubicado en el laboratorio 16 de la UIM de la FES Cuautitlán, únicamente para el uso de la presente experimentación, la cual fue lavada con agua, detergente y cloro, ya configurada a 4 °C y una humedad relativa de 80%. En la Figura 12, se muestra un diagrama de la cámara de refrigeración, la cual contiene 3 rejillas, donde se utilizaron las tres, para el almacenamiento de todas las muestras.

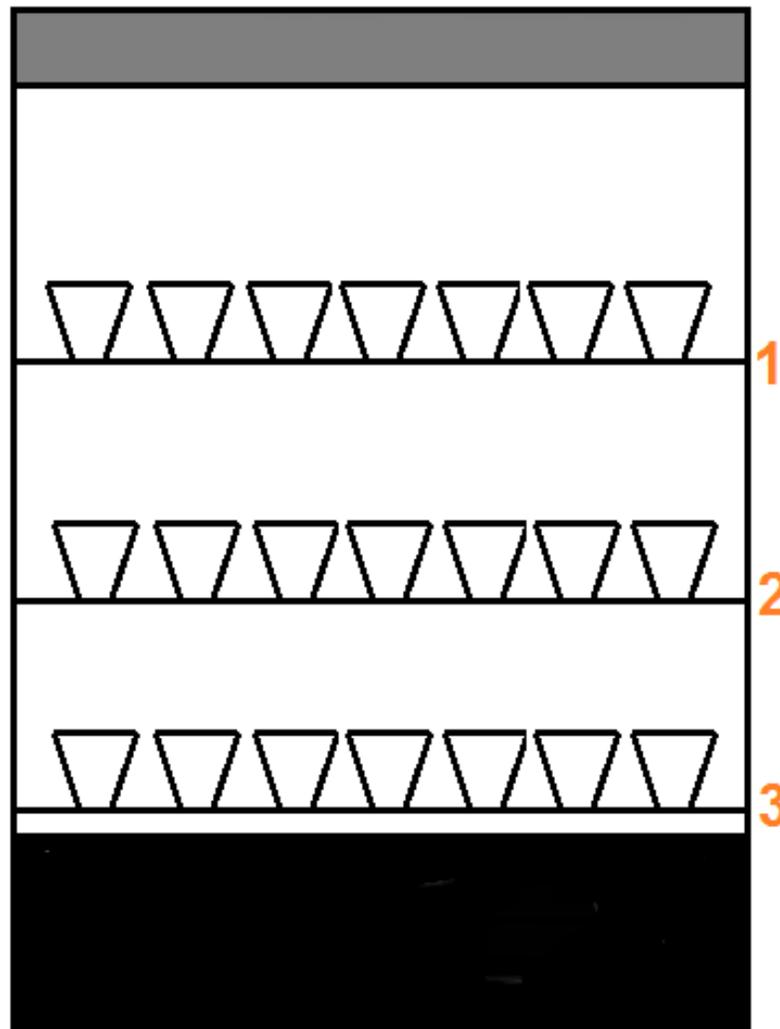


Figura 12. Cámara de refrigeración y forma de acomodo de las muestras, desde una vista frontal.

2.7. Evaluación de parámetros

2.7.1. Medición de concentración de CO_2/O_2

La concentración de gases en los envases de papaya se midió con un analizador de espacio de cabeza de O_2 y CO_2 marca QUANTEK® Instruments Model 902D Dual Trak (Figura 13) previo al envasado se colocó un septo en la parte superior de cada envase con el fin de prevenir fuga de gases al realizar la prueba.; se obtiene los porcentajes de dichos los gases mencionados en el espacio libre del envase.



Figura 13. Medidor de gases QUANTEK® Instruments Model 902D Dual Trak.

2.7.2. Determinación de líquido drenado

El líquido drenado se determinó recuperándolo de cada muestra mediante una jeringa de 5 mL, se pesó en una balanza digital marca OHAUS® Scout-Pro SP602, para posteriormente relacionar el volumen obtenido con su peso inicial (Montero-Calderón *et al.*, 2008). El porcentaje de líquido drenado se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$\%Volumen\ drenado = \frac{Peso\ inicial\ (g) - Liquido\ recuperada\ (mL)}{Liquido\ recuperado\ (mL)} \times 100 \quad (Ec. 1)$$

2.7.3. Determinación de peso perdido

El peso perdido se determinó por diferencia de pesos; se registra el peso inicial de cada envase previo al almacenamiento y posteriormente en cada muestreo con la ayuda de una balanza digital marca OHAUS® Scout-Pro SP602 (Márquez *et al.*, 2012). El porcentaje de pérdida de peso se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$\%Perdida\ de\ peso = \frac{Peso\ inicial\ (g) - Peso\ final\ (g)}{Peso\ inicial\ (g)} \times 100 \quad (Ec. 2)$$

2.7.4. Medición de color

La evaluación de color y apariencia de las muestras se midieron con el espectrofotómetro portátil marca KONICA MINOLTA® modelo CM-600d; previo a la medición se calibra colocando la tapa de calibración en la parte superior del equipo; se obtuvieron valores de coordenadas L, a*, b*. Teniendo las coordenadas mencionadas, se determinó el ángulo de tonalidad (°Hue) y cromaticidad (Croma) mediante las siguientes ecuaciones:

$$^{\circ}Hue = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$Croma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ec. 4})$$

2.7.5. Medición de firmeza

Basándose en la fuerza requerida para la penetración de la muestra, la firmeza se determinó con un texturómetro marca Brookfield®CT3, con una sonda de punzón plano de acero inoxidable modelo TA44 sobre una base-elemento modelo TA-BT-KI. La prueba se realizó hasta 5 mm de la superficie de la muestra con una carga de activación de 0.07 N con una duración de 5 s. Los valores de dureza se expresaron en Newtons (N).

2.7.6. Medición de sólidos solubles

La determinación de sólidos solubles de la muestra se realizó con un refractómetro digital marca HANNA®, modelo HI 96801; al realizar la calibración correspondiente con agua destilada, la muestra se homogenizó previamente, colocando una gota sobre el lente del equipo y se obtuvo la lectura de forma directa en °Brix, de acuerdo con la metodología propuesta en el AOAC 22.04 (AOAC, 2014).

2.7.7. Medición de pH

La determinación de pH se desarrolló a través de un potenciómetro digital marca HANNA®, modelo HI 208; realizando el calibrado previamente con soluciones buffer 7.00 y 4.00 respectivamente, la determinación se hizo con muestra

homogenizada y se evaluó colocando el electrodo dentro de cada muestra. Se llevó a cabo de acuerdo con el método del AOAC 32.010 (AOAC, 2014).

2.7.8. Determinación de ácido ascórbico

La determinación de ácido ascórbico se realizó siguiendo el método de titulación del 2,6-diclorofenol-indofenol (AOAC 942.15); previo a la titulación fue necesario preparar un estándar de ácido ascórbico y ácido fosfórico con la finalidad llevar a cabo la titulación con 2,6-diclorofeno-indofeno y obtener el factor de tinción (Ecuación 4).

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

Se tomaron 10 g de muestra previamente homogenizada y 100 mL de ácido fosfórico para mezclarse y después centrifugarse por 20 min; se filtró para obtener 5 mL de alícuota, los que se titularon con el indicador, obteniendo la cantidad de ácido ascórbico con la ecuación 5 expresándose en mg de ácido ascórbico/100g de muestra.

$$\text{Ácido ascórbico} = \frac{\text{mL gastados} * \text{Factor de tinción} * \text{vol llevado} * 100}{\text{alícuota} * \text{vol muestra}} \quad (\text{Ec. 5})$$

2.7.9. Determinación de fenoles totales

Para los extractos para capacidad antioxidante y fenoles totales, se realizó de acuerdo al método de Swain y Hillis (1959) con algunas modificaciones. Se tomaron 5 g de muestra previamente triturada con 15 mL metanol para agitarse durante una hora a 60 °C; después se centrifugó a 6000 rpm por 10 min donde el sobrenadante será el extracto. Para las determinaciones se utilizó el espectrofotómetro Genesys[®] 10S Uv-Vis marca Thermo Scientific con cubetas o celdas de vidrio, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Espectrofotómetro Genesis[®] 10S Uv-Vis marca Thermo Scientific.

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin & Ciocalteu, modificado por Waterman y Mole (Balois-Morales *et al.*, 2017). Se preparó reactivo de carbonato de sodio en un litro y 1 mL Folin-Ciocalteu en 100 mL; se tomó una alícuota de 300 μ L de extracto, 3 mL de agua destilada y 250 μ L de reactivo Folin-Ciocalteu reposando por 8 min, después se le adicionó 750 μ L de carbonato de sodio, dejándose reposar por 30 min durante la oscuridad. Posteriormente se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro con la ayuda de una curva patrón de ácido gálico.

2.7.10. Determinación de actividad antioxidante

2.7.10.1. Método por *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP)

El método mide la capacidad reductora férrica del plasma (FRAP); en un pH bajo, el complejo de tripiridiltriazina férrica (FE^{+3} -TPTZ) se reduce a la forma ferrosa (FE^{+2}), donde se desarrolla un color azul intenso con un máximo de absorción a 593 nm. Las condiciones de prueba favorecen la reducción del complejo y, por lo tanto, el desarrollo del color, siempre que esté presente un agente reductor (antioxidante); en el ensayo FRAP, se usa un exceso de FE^{+3} , y el factor limitante de la FE^{+3} -TPTZ, por lo tanto, la formación del color es la capacidad reductora de la muestra. El análisis se realizó de acuerdo a la metodología de Benzie & Strain

(1996) con algunas modificaciones; se preparó el tampón acetato con acetato de sodio al 300 mM ajustándose a un pH de 3.6 con HCl a 40 mM; solución férrica ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) al 20 mM; y solución TPTZ (2, 4, 6- tripiridil-s-triazina) al 10 mM con HCl; preparación de solución FRAP mezclando 25 mL de buffer acetato, 2.5 mL de solución TPTZ y 2.5 mL de solución férrica. Se tomó una alícuota de 20 μL de extracto, 80 μL de metanol y 2.9 mL de solución FRAP, se agitaron, posteriormente la muestra se midió a 595 nm en el espectrofotómetro con la ayuda de una curva patrón Trolox

2.7.10.2. Método por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil)

El análisis se realizó de acuerdo con el método de Brand-Williams *et al.* (1995) con algunas modificaciones. Se preparó una solución madre de DPPH (2,2-Diphenil-1- picrylhydrazyl) de 0.00394 g en 100 mL de metanol, se tomó una alícuota de 100 μL de extracto y 2.9 mL de solución DPPH, se agitaron y se dejó reposar durante 30 minutos en la oscuridad; la muestra se midió en 517 nm en el espectrofotómetro con la ayuda de una curva patrón Trolox.

2.7.11. Determinación de actividad peroxidasa (POD)

La actividad POD fue determinada por el método propuesto por Chisari *et al.*, (2010); se preparó un buffer fosfato (fosfato de sodio monobásico al 0.2 M y fosfato de sodio difásico al 0.2 en un pH 7.0), para obtener el extracto se requirió de 20 g de muestra previamente homogenizada y 20 g de buffer fosfato con polivinilpirrolidona (100:1); se agitó durante 10 min para posteriormente centrifugar: el sobrenadante es el extracto, para la determinación se preparó una solución guayacol: 1 mL de guayacol, 3 mL de agua oxigenada y aforar a 100 mL de buffer fosfato. Se tomó una alícuota de 200 μL de extracto y 2.8 de solución guayacol; posteriormente la muestra se midió a 470 nm en el espectrofotómetro por 5 min.

2.8. Análisis estadístico

Para la comparación de los tratamientos con respecto al tiempo se realizó un ANOVA de dos vías y las diferencias entre tratamientos con una prueba de Tukey empleado el software estadístico MINITAB®16.

CAPÍTULO III

TRATAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Resultados de actividades preliminares

3.1.1. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta

La cámara fue acondicionada para la exposición de las muestras; la rejilla se colocó a una distancia de 23 cm de la lámpara, midiéndose la incidencia en 9 puntos diferentes con el medidor (UV Light meter, DIGITAL INSTRUMENTS® modelo Lutron SP-82UV), en la Figura 15 se muestra los resultados de la dosis de irradiación en donde los puntos 2, 4, 5, 6 y 8 (Figura 8, pág. 26) la incidencia de luz ultravioleta fue óptima para la irradiación de la papaya mínimamente procesada como un método de desinfección.

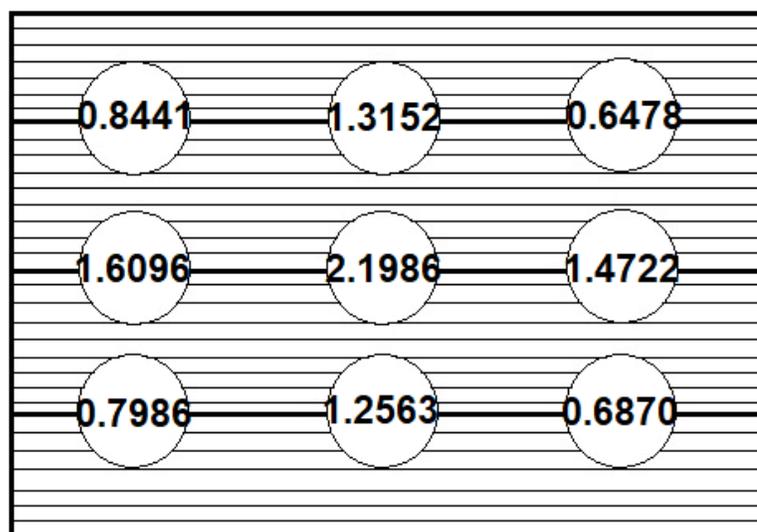


Figura 15. Resultados obtenidos sobre la incidencia de luz ultravioleta en los diferentes puntos dentro de la cámara en kJ/m^2 .

Se eligieron estos niveles de incidencia basándose en estudio previos en donde se encontró que, a dosis de entre 1 a 5 kJ/m² se previene la descomposición y mantiene la calidad de algunos frutos, pero a mayores dosis causan un deterioro fisiológico (González-Aguilar *et al.*, 2007).

3.1.2. Selección del polisacárido para elaboración de recubrimiento

Para seleccionar el polisacárido a emplear como soporte de los sistemas nanoestructurados, se tomaron como criterios olor, sabor y apariencia de acuerdo a la teoría. El uso de pectina y goma guar como recubrimiento comestible da cierta permeabilidad para O₂ y CO₂, al igual que una resistencia a la migración de lípidos (Dehghani *et al.*, 2018), adicionalmente la goma guar se usa como estabilizador y constructor de viscosidad mientras que carboximetilcelulosa tienden a ser resistentes a aceites y grasas, son transparentes, sin sabor, incoloros e insípidos (Skurtys *et al.*, 2010). Para mantener las características sensoriales de una papaya fresca y su compactibilidad con las nanopartículas de aceite esencial de limón fue seleccionada la goma guar.

3.1.3. Selección del reforzador de textura

De acuerdo con las pruebas texturales llevadas a cabo y comparando las medias obtenidas de la Tabla 4 para los reforzadores empleados y una vez aplicado el recubrimiento de goma guar al 0.3 %, se encontró que existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre los dos modificadores ya que la menor firmeza fue para las muestras tratadas con lactato de calcio y la mayor para aquellas con cloruro de calcio; con estos resultados se llevó a cabo una prueba sensorial de aceptación y/o rechazo concluyendo que una concentración mayor de los modificadores produce cambios apreciables en la papaya fresca. Al realizar la prueba junto con las nanopartículas cargadas con aceite esencial de limón, los resultados de la Tabla 5, mostraron mayor dureza con el empleo de cloruro de

calcio y la menor con lactato de calcio, mostrando que existió un efecto significativo en relación con la textura inicial al adicionar nanocápsulas.

Tabla 4. Dureza de modificadores de textura en combinación con goma guar.

	Lactato de Calcio 3%	Cloruro de calcio 1%
Dureza	1.69 ± 0.01	3.02 ± 1.1

Tabla 5. Dureza de modificadores en combinación de nanopartículas de aceite esencial de limón (10%) y goma guar (90%).

	Lactato de Calcio 3%	Cloruro de calcio 1%
Dureza	1.1 ± 0.11	1.7 ± 0.68

3.2. Resultados experimentales

3.2.1. Evaluación de concentración de CO₂/O₂

La papaya obtiene energía necesaria para desarrollar diversos procesos biológicos mediante la respiración. El proceso respiratorio ocurre a expensas de las sustancias de reserva como son azúcares, almidones entre otros, las que son oxidadas, con el consiguiente consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono. La respiración depende de la especie, variedad, grado de maduración de la fruta, así como de la temperatura y la composición de los gases del ambiente que lo rodea (Arias & Toledo, 2007). La determinación de estos parámetros es importante ya que refleja la respiración, la maduración y el estado de descomposición de la fruta (Narsaiah *et al.*, 2015)

En la Tabla 6 se observan los resultados obtenidos de la concentración de CO₂ de las muestras en función al tratamiento respecto al lote control considerando aquellas con y sin irradiación UV-C durante el almacenamiento refrigerado. Se observa durante la mayor parte del tiempo que las muestras de los lotes control, recubrimiento con CaCl₂ y recubrimiento con goma guar con y sin tratamiento de irradiación UV-C no presentó un incremento en la velocidad de producción de CO₂;

sin embargo, el último día se tuvo un ligero incremento de hasta 0.3% de la concentración CO₂, mostrando que no existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos. En el caso del lote con recubrimiento de goma guar-nanopartículas de aceite esencial de limón con tratamiento de rayos UV-C, mostraron que a partir del día 8, hubo un incremento en la producción de CO₂ desde 0.4 % hasta el día 11, a partir de este día disminuyó a 0.2 %; mientras que las muestras sin tratamiento con rayos UV-C, la concentración de CO₂ aumentó a partir del día desde 0.4 %, aumentando conforme pasaban los días hasta el último de análisis. Las muestras sin tratamiento UV-C no se determinaron los mismos días que las tratadas con UV-C, debido a la presencia de contaminación microbiana.

Tabla 6. Cambios en la concentración de CO₂ en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.

Tiempo (días)	Control		CC		GG		GG+Np's	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
1	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00
3	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0.3±0.06
8	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0.4±0.10	0.3±0.06
11	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0.4±0.10	0.7±0.10
15	0±0.00	ND	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0.2±0.06	0.6±0.06
17	0±0.00	ND	0±0.00	0±0.00	0.1±0.00	0±0.00	0.3±0.06	0±0.00
22	0.1±0.00	ND	0±0.00	ND	0.2±0.06	ND	0.2±0	ND

NOTA: La letras "ND" significan NO DETERMINADO, debido a presencia de contaminación microbiana desde un punto de vista visual como en la Figura 16.

El uso de recubrimiento en papaya mínimamente procesada almacenada durante 12 días a 5 °C de acuerdo a Albertini *et al.* (2016), la concentración de CO₂ aumentó conforme pasaban los días de almacenamiento, teniendo valores similares en muestras control y con recubrimiento; lo dicho anteriormente, ocurrió en este estudio con las muestras control, CaCl₂ y goma guar. Los factores que influyen en la concentración de CO₂ son la permeabilidad al vapor de agua, la concentración de CO₂ dentro del envase y la relación entre el área superficial de la barrera y la masa del producto.



Figura 16. Muestra de papaya con presencia de contaminación microbiana.

El uso de recubrimientos comestibles tiene el objetivo de disminuir la tasa de respiración de fruta fresca cortada, debido a que actúan como una barrera de intercambio de gases; se puede asociar con la creación de una atmósfera interna modificada y la disminución del intercambio de dióxido de carbono y oxígeno entre el medio ambiente y la fruta con recubrimiento. El uso de un recubrimiento asociado con un aceite esencial a base de un cítrico sobre piña mínimamente procesada de Azarakhsh *et al.* (2014), causa una menor producción de CO_2 y consumo de O_2 debido a los efectos microbianos del cítrico y la naturaleza lipofílica del aceite esencial, aumentando la resistencia del recubrimiento a la difusión del gas.

En la Tabla 7, se muestran los resultados de velocidad de consumo de O_2 para los lotes estudiados en almacenamiento refrigerado a 4 °C, observándose que en el caso del lote control tratada con rayos UV-C se obtuvo una concentración inicial de 18.7% disminuyendo hasta el 17% en el último día de almacenamiento,

mientras los lotes cloruro de calcio y goma guar, tuvieron un valor promedio de 19.5% al inicio en ambos casos, disminuyendo un 8% la velocidad hasta el último día almacenamiento; y en el lote goma guar con nanopartículas existió una tendencia diferente, en el que del día 1 se obtuvo una concentración de 18.5% de consumo, disminuyendo un 7% hasta el día 8, donde a partir de ahí hasta el día 17, la velocidad se mantuvo constante, para que posteriormente hasta el día 22, esta velocidad aumento aproximadamente un 5 %. Cabe considerar que este lote tiene valores bajos que en comparación de los otros tres lotes con tratamiento UV-C. En el caso de las muestras no irradiadas por rayos UV-C, los lotes cloruro de calcio, control y goma guar, la velocidad de consumo fue constante con un valor aproximadamente de 17%, comparándolos con los lotes irradiados estas fueron aún menores. En el caso del lote de goma guar con nanopartículas, a partir del día uno disminuyó el consumo llegando a una velocidad del 14% en el día 11, donde posteriormente volvió a aumentar a la velocidad al 16%; la disminución en la concentración de O₂, es debido a la respiración del tejido vegetal vivo.

Tabla 7. Cambios en la concentración de O₂ en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.

Tiempo (días)	Control		CC	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
1	18.7±0.12	17.6±0.12	19.5±0.46	17.4±0.06
3	18.0±0.06	17.8±0.17	17.7±0.21	17.4±0.15
8	17.6±0.21	18.0±0.15	17.6±0.21	17.5±0.15
11	17.4±0.1	17.4±0.21	17.4±0.21	17.4±0.15
15	17.4±0.17	ND	17.3±0.25	17.0±0.06
17	16.9±0.06	ND	16.8±0.06	18.0±0.10
22	17.0±0.06	ND	16.8±0.15	ND
Tiempo (días)	GG		GG+Np's	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
1	19.5±0.15	17.3±0.06	18.5±0.35	17.1±0.06
3	17.4±0.12	17.4±0.21	17.1±0.06	16.3±0.29
8	17.3±0.06	17.3±0.15	15.9±0.20	15.6±0.26
11	17.1±0.21	17.5±0.10	16.0±0.15	14.1±0.15
15	16.9±0.06	16.9±0.21	15.9±0.06	15.3±0.15
17	16.4±0.17	16.9±0.06	15.6±0.06	16.0±0.17
22	16.2±0.06	ND	16.6±0.20	ND

NOTA: La letras "ND" significan NO DETERMINADO, debido a presencia de contaminación microbiana desde un punto de vista visual.

Valores similares presentó el estudio de Narsaiah *et al.* (2015), donde se analizó el efecto de recubrimiento a base de alginato en papaya mínimamente procesada en donde la muestra control, la concentración de O₂ disminuyó en 16.2% en el último día (21), mientras que el uso de recubrimiento disminuyó de 17.5 a 16.8% la concentración, valores en los que se encuentra los lotes con recubrimiento (CaCl₂, goma guar y goma guar-nanopartículas) de presente estudio; la tasa de respiración reducida, vuelve más lenta la maduración y previene la descomposición de frutos. El control de este parámetro es de suma importancia ya que la tasa de respiración del fruto aumenta 1 a 7 veces debido al corte y pelado, comparándolo con un producto entero (Tapia *et al.*, 2008).

3.2.2. Determinación de líquido drenado

En la Figura 17 se observa el comportamiento en el porcentaje de líquido drenado de las muestras analizadas de los lotes estudiados incluyendo el control, tanto en tratamiento irradiado y no irradiado, durante su almacenamiento en refrigeración. En el caso de las muestras del lote control sin tratamiento UV-C en la Figura 17a, no presentó líquido drenado en los primeros días, solamente en el día 11 con un porcentaje de 0.2%, mientras que el mismo lote con tratamiento UV-C (Figura 17b), su presencia sólo estuvo en el día 17, con el mismo porcentaje, por lo que la aplicación de rayos UV-C retarda la presencia de líquido, en este caso fue hasta 6 días después; mientras que las muestras del lote con cloruro de calcio, no se presentó líquido en las que no fueron tratadas con rayos UV-C, en el caso de las que si fueron tratadas, la presencia fue a partir del día 11, llegando a un porcentaje en el último día de análisis del 1.6%.

En las muestras del lote de goma guar, sólo se presentó líquido del día 11 con un porcentaje del 0.4% en las que no fueron tratadas con rayos UV-C, mientras que las tratadas con UV-C se presentó líquido desde el día 3, sin presentarse más, hasta el día 17 con 0.5% hasta un aumento en el día 22 con un porcentaje final de 1.2%.

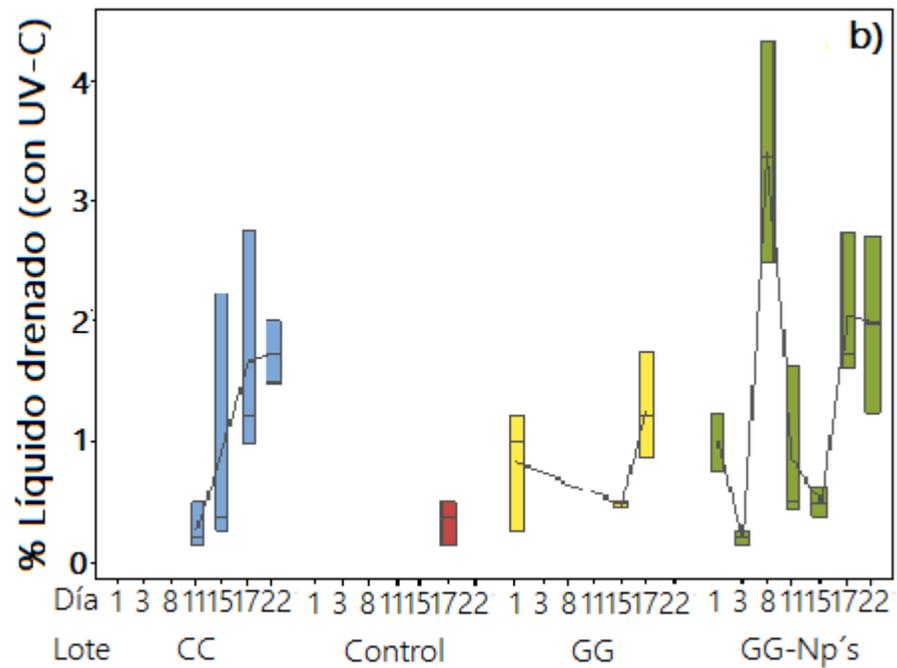
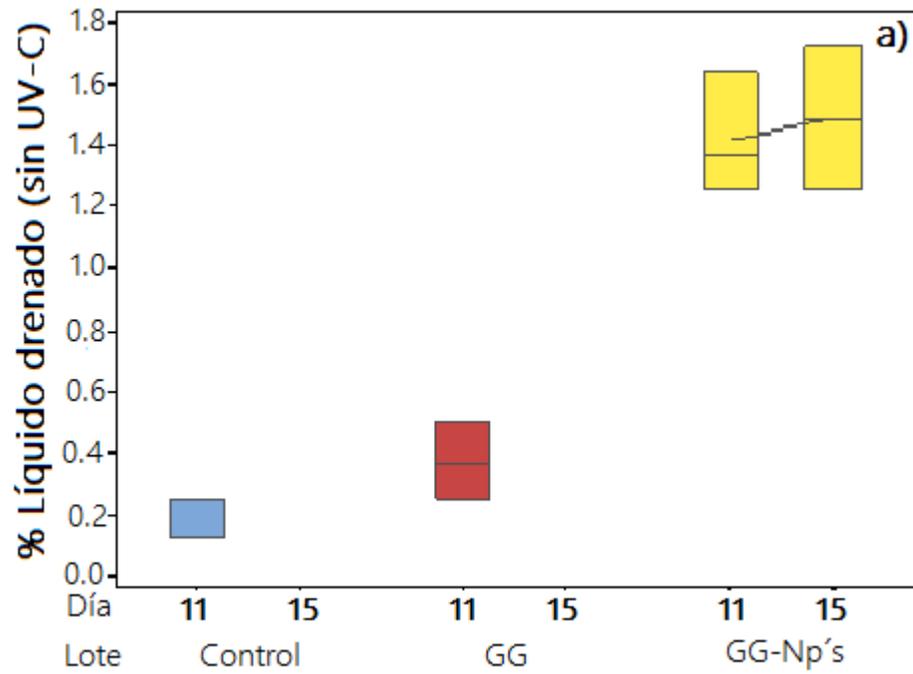


Figura 17. Cambios en líquido drenado en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UVC.

Finalmente, la papaya tratada con goma guar-nanopartículas sin tratamiento con rayos UV-C, no presentaron líquido hasta el día 11, con un porcentaje de 1.4%,

mientras que las muestras con tratamiento UV-C, tuvieron variaciones desde el primer día de almacenamiento; teniendo un porcentaje promedio en el día 8 del 3.5%, para en el día 17 el porcentaje de líquido encontrado fue constante del 2% hasta el término de la experimentación. Cabe señalar que en todos los lotes sin tratamiento UV-C, no se determinó los mismos días que las que fueron expuestas con UV-C, debido a presencia de contaminación microbiana.

En un estudio de piña mínimamente procesada con la aplicación de un recubrimiento, se obtuvieron resultados de líquido drenado menores en muestras que no tenían dicho recubrimiento, esto de acuerdo a las propiedades de barrera de agua que tiene dicho recubrimiento (Montero-Calderón *et al.*, 2008); mencionando además, que depende de cada recubrimiento si tiene dicha característica y que tan efectiva es en el producto a aplicar. Para un consumidor, ver la presencia de líquido dentro del envase no es aceptable para su consumo, por lo que es un parámetro de rechazo para su compra.

3.2.3. Determinación de peso perdido

La fruta recién cortada es altamente susceptible a la pérdida de peso debido a que los tejidos internos están expuestos y carecen de piel o cutícula (Watada & Qui, 1999). En la Figura 18a, se muestra el comportamiento de la papaya fresca cortada sin tratamiento UV-C, donde todos los lotes tienen una tendencia a una pérdida de peso lento; en el caso de los lotes control y goma guar llegaron a un porcentaje final de 0.55% en el último día de muestreo, en el caso del lote de cloruro de calcio, esta fue hasta 0.65%, y finalmente en el lote de goma guar-nanopartículas, comenzó la pérdida de peso a partir del día 3 con 0.2%, para en el día 22 fue de 1%, siendo este lote con mayor pérdida de peso.

En la Figura 18b, las muestras con tratamiento UV-C la pérdida de peso fue constante; para el caso del lote control fue hubo diversas variaciones, disminuyó el porcentaje de pérdida de peso en el día 3, para posteriormente aumentar, y permanecer constante entre los días 8 al 15 con 1% de pérdida de peso, para

finalmente en los últimos días tener un porcentaje del 1.5%, siendo 2 veces mayor que las muestra sin tratamiento.

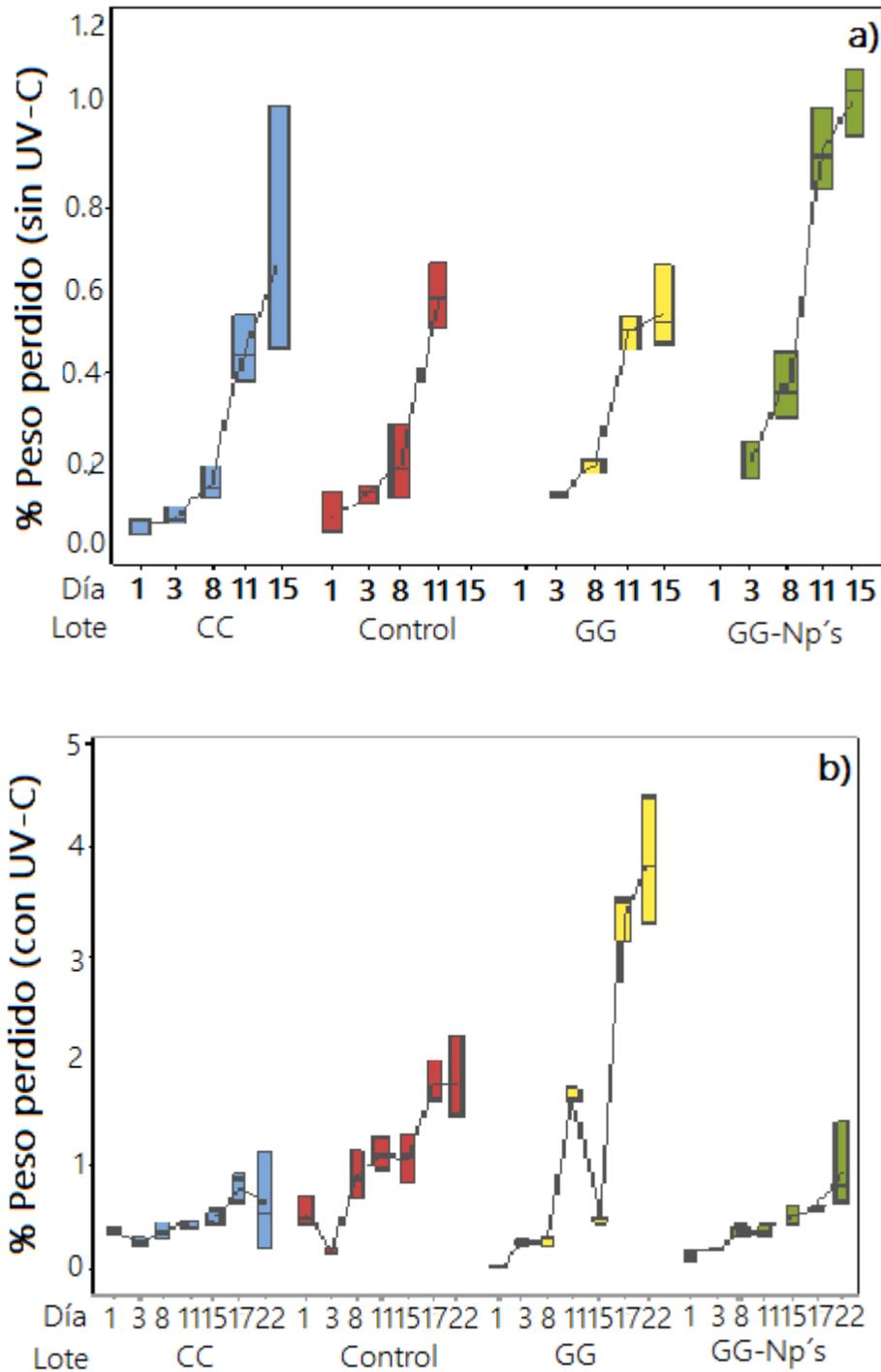


Figura 18. Cambios en pérdida de peso de papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

Para el caso del lote cloruro de calcio, la tendencia se preservó entre 0.3 al 0.7% la pérdida de peso, manteniéndose constante desde el primer día hasta el día 22, mientras que el lote goma guar aumentó la pérdida hasta 1.5% en el día en el día 11 para disminuir en el día 15 a 0.5%, para posteriormente aumentar a 4% al término de la experimentación; finalmente el lote con goma guar-nanopartículas, fue aún más lento y constante la pérdida de peso conforme pasan los días, teniendo un porcentaje final de 0.5%.

La aplicación de rayos UV-C sobre carambola mínimamente procesada por Márquez *et al.* (2012), tiene efecto sobre la pérdida de peso ya que la velocidad de pérdida fue menor en una muestra control, actuando como barrera al vapor de agua. La reducción de la pérdida de peso se debe a la respiración y evaporación de la humedad a través de la piel, que se ve favorecida por la degradación de la membrana y pared celular. El fenómeno anterior se presentó en los lotes específicamente de goma guar-nanopartículas y CaCl_2 tratadas con rayos UV-C en comparación de las no tratadas.

El uso de recubrimientos en papaya mínimamente procesada por Cortez-Vega *et al.* (2014), demostró que se tiene una mayor pérdida de peso conforme pasaba el tiempo de almacenamiento en muestras control, mismo que ocurrió en el lote control sobre el uso de goma guar en el presente estudio. Resultados similares presentó el uso de recubrimiento sobre papa, manzana y zanahoria mínimamente procesada por parte de Marquez *et al.* (2017).

El uso de aceite esencial a base de un cítrico no afecta de manera significativa la permeabilidad al vapor el agua (al perder peso, se pierde humedad en un producto), por estar relacionado con los componentes principales de este aceite, que no es un lípido y contiene principalmente similares a los terpenos (Azarakhsh *et al.*, 2014). La pérdida de peso es un proceso natural de catabolismo en frutos, por enzimas y se acelera por el corte (Tirkey *et al.*, 2014), puede implicar la pérdida de calidad, la cual es una causa de rechazo por parte de los

consumidores. A pesar de que se obtuvo más pérdida de peso en los lotes con rayos UV-C, la velocidad fue lenta y constante, siendo el lote goma guar-nanopartículas que más lentamente pierde peso y con menores porcentajes.

3.2.4. Medición de color

El cambio de color es uno de los parámetros más importantes en la fruta mínimamente procesado durante el almacenamiento, debido a que afecta directamente en la percepción de calidad por parte del consumidor.

a) Ángulo de tono (°Hue)

En la Figura 19a, se muestra el comportamiento del °Hue en papaya fresca cortada durante el almacenamiento refrigerado. En los lotes control y CaCl_2 no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en el ángulo °Hue, sin variaciones hasta el último día de almacenamiento independientemente si estaban irradiadas o no; mientras que en las muestras del lote con goma guar no irradiada con UV-C, mostró una disminución desde el día 1, volviendo a aumentar en el día 3 llegando a un valor al final del análisis de 50° con una tonalidad naranja-rojo, por otro lado se resalta que el tratamiento con irradiación UV-C, resultó ser benéfico en la estabilidad de color durante 22 días. Finalmente en las muestras del lote de goma guar-nanopartículas sin tratamiento irradiado, fue disminuyendo conforme pasaba los días llegando a un valor promedio de aproximadamente de 28° , siendo una tonalidad rojo-rosa, mientras que en el caso de las tratadas con rayos UV-C (Figura 19b), su comportamiento fue constante hasta el último día.

La disminución en la tonalidad se debe a un oscurecimiento de la fruta, un proceso natural en la maduración de un fruto, por lo tanto, en la luminosidad de las muestras, su tendencia fue a disminuir al punto de querer llegar al mínimo (aproximadamente 20°).

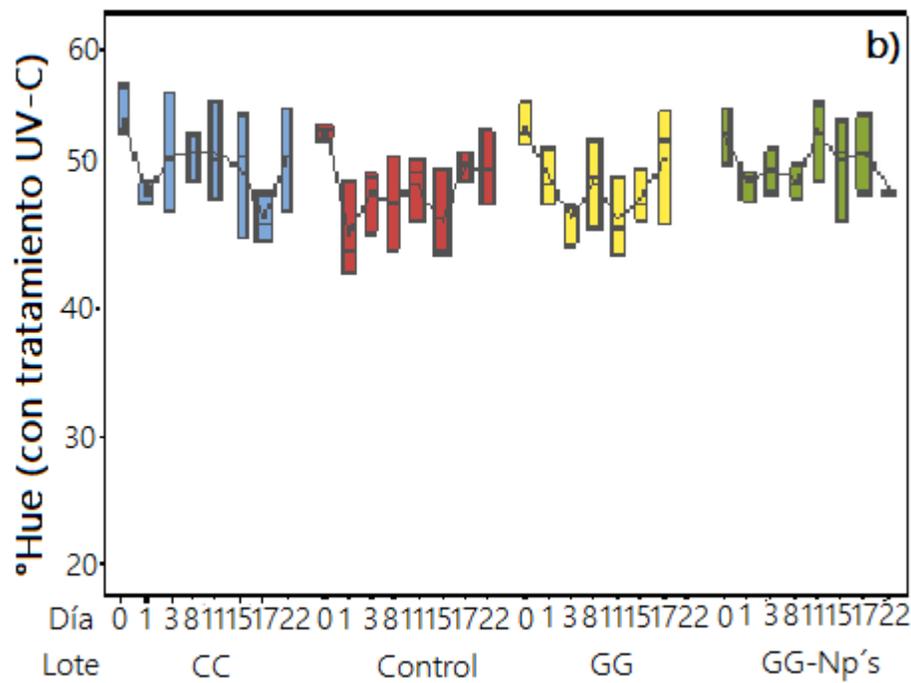
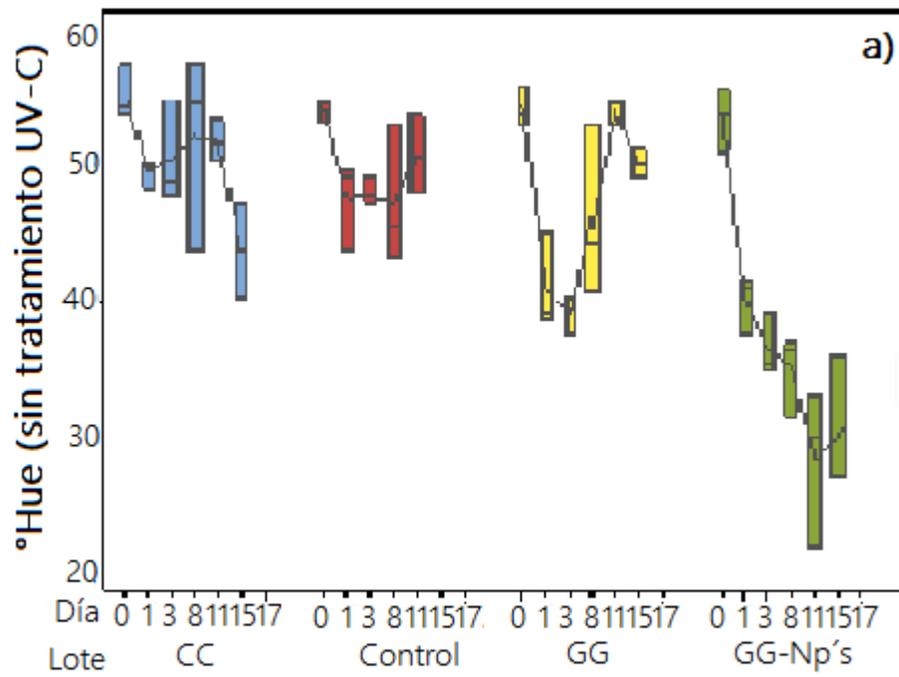


Figura 19. Cambios en el ángulo de tono (°Hue) en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

En piña mínimamente procesada con recubrimiento con un aceite esencial a base de limón de Azarakhsh *et al.* (2014), demostró que el ángulo de tono se mantuvo constante conforme pasaban los días de almacenamiento tanto en las muestras control como en las que tenía el recubrimiento sólo e incorporado con aceite esencial. Este comportamiento se ve reflejado en el tratamiento con UV-C, donde el tono se mantuvo en promedio de 50°, que corresponde ser rojiza-naranja.

b) Luminosidad

La Figura 21, se muestra el comportamiento de la luminosidad de papaya fresca cortada; en los lote control y CaCl_2 sin rayos UV-C (Figura 21a), se observó poca variación en luminosidad siendo esta del 40% a lo largo del tiempo de análisis, mientras que estos mismos lotes pero con tratamiento UV-C (Figura 21b), su comportamiento fue disminuyendo desde el día 1, tratando de ser constante a partir del día 8 con un 30 y 35% respectivamente hasta el último día de análisis. En el caso del lote goma guar, no presentó un efecto significativo sin importar la existencia o no del tratamiento con UV-C, sin embargo fue más significativo durante el tiempo de almacenamiento ya que esta fue disminuyendo hasta 27% entre los días 3 y 8, atribuido a la modificación del tejido e incremento el oscurecimiento hasta el día 8 de almacenamiento, una vez transcurrido este tiempo y debido a la ruptura celular la luminosidad se incrementó a 35% ya que en la superficie existe mayor facilidad para reflejar la luz.

Finalmente, el lote de goma guar con nanopartículas, la tendencia fue similar en las muestras irradiadas o no irradiadas con UV-C, donde hubo un decrecimiento hasta el día 8, siendo a partir de este día, hasta el último día de estudio donde el comportamiento trato ser constante con un porcentaje de iluminosidad del 33%. En un estudio acerca de piña mínimamente procesada aplicada con un recubrimiento incorporado con un aceite esencial a base de un cítrico reducen los cambios en luminosidad, ya que este parámetro disminuyó en un 30% hasta el último día de evaluación, sin embargo la luminosidad fue mayor en un 20% en las

muestras con recubrimiento que en una control. Esto se refleja en los lotes tratados con UV-C en donde la luminosidad en el lote control fue menor en el resto; si se combina con ácido ascórbico, es aún más afectiva para reducir el oscurecimiento (Azarakhsh *et al.*, 2014).

Para conocer la luminosidad que tiene las muestras, la Figura 20, muestra el porcentaje, que al 100% es oscuro disminuyendo hasta 0% donde es totalmente blanco, por lo que las muestras tienden a aclararse, debido a que disminuyeron el porcentaje en algunas muestras; se debe considerar que una de las características de los recubrimientos es el mantener el color del producto, en otros tipos puede ser como puente de colorantes, pero en este caso fue el de protección.

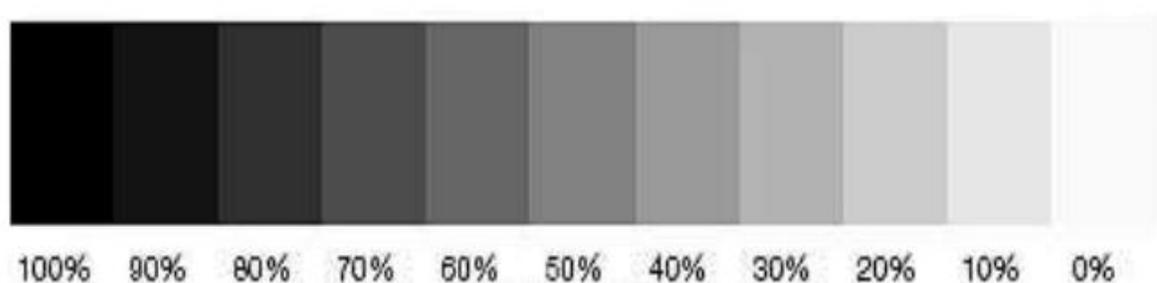


Figura 20. Escala de luminosidad.

El uso de cloruro de calcio sobre papaya mínimamente procesada por Albertini *et al.* (2016), demuestra tener valores altos en luminosidad debido al efecto aclarante del calcio; en el presente estudio, las muestras con cloruro de calcio en ambos tratamientos con o sin rayos UV-C, es mayor en comparación con el resto de los lotes. Mientras que el uso de rayos UV-C presentan mayor luminosidad comparandolo con el lote control, sin embargo este valor disminuye conforme pasa el tiempo, esto de acuerdo a Márquez y colaboradores en 2012 en carambola (fruta de estrella) mínimamente procesada tratada con rayos UV-C, debido a que el tiempo de exposición fue durante más de 60 min y entre una dosis de 7 y 14 kJ/m^2 , y en este caso fue de 5 min con una dosis máxima de 2.19 kJ/m^2 . Un punto a considerar es que el recubrimiento de goma guar tiene una tonalidad blanca, por

lo que puede disminuir el porcentaje de luminosidad de las muestras con este recubrimiento.

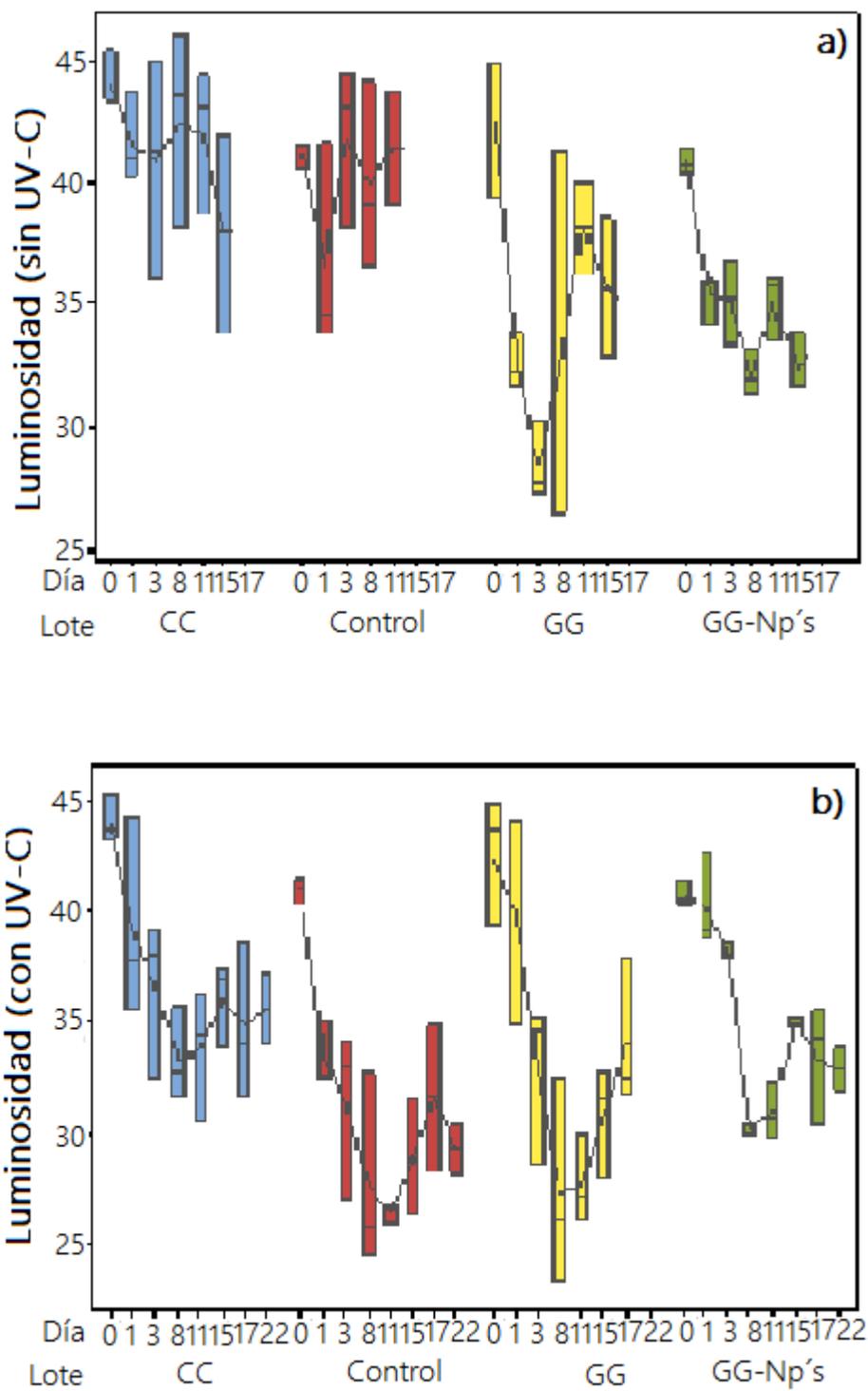


Figura 21. Cambios en luminosidad en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

b) Cromaticidad

En la Figura 22, se presenta el círculo de cromaticidad de acuerdo a la Comisión Internacional del Color (CIE por sus siglas en francés colour l'Eclairage) señalando los valores de °Hue y de igual forma el valor que representa croma o saturación, definida como la distancia desde el eje de luminosidad y comienza en 0 desde el centro. En esta figura se basará el análisis que se presenta a continuación en relación a los cambios de color en papaya fresca cortada.

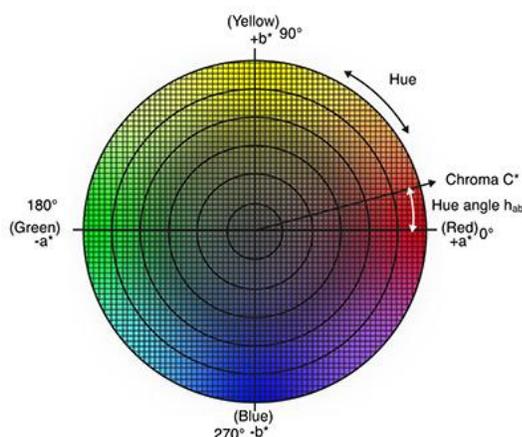


Figura 22. Escala de colorimetría de acuerdo al CIE.

En la Figura 23, se muestran los cambios de cromaticidad asociados al recubrimiento empleado en la conservación de papaya fresca cortada; se resalta que los tratamientos con CaCl_2 y goma guar se encontró que no existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en su comportamiento durante el almacenamiento y mostrando que la cromaticidad tendió a disminuir después del día 8 sin importar su tratamiento con rayos UV-C. Es importante destacar que la degradación del color fue mayor en las muestras control sometidas a irradiación UV-C, debido principalmente a la modificación de compuestos antioxidantes propios de la papaya por efecto de la irradiación, lo que contrasta claramente respecto a las muestras con recubrimiento en donde se empleó como polisacárido soporte goma guar y nanopartículas de aceite de limón (nanorecubrimiento).

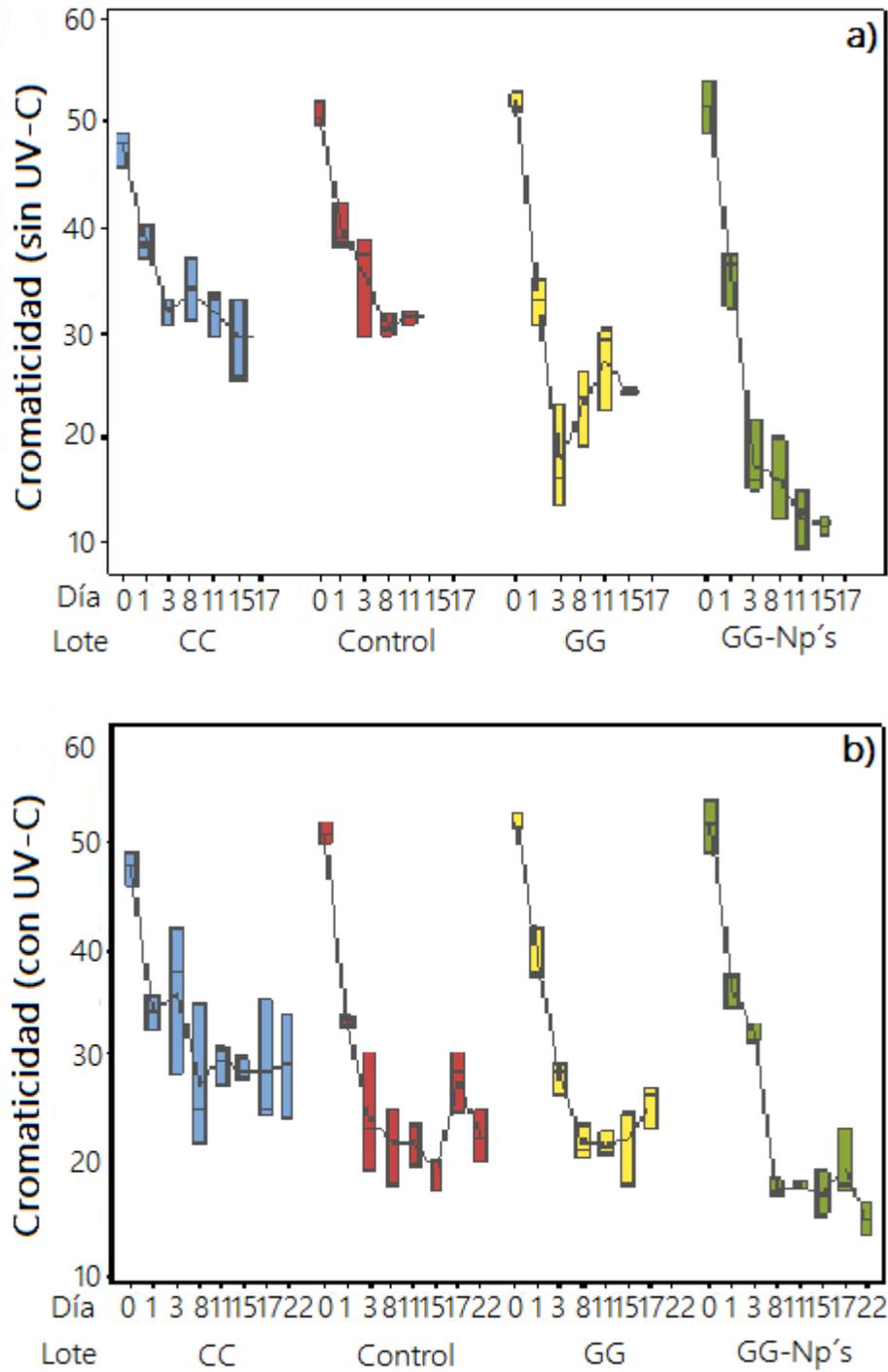


Figura 23. Cambios en la saturación de color en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

Finalmente en el caso de las muestras de goma guar con nanopartículas, el comportamiento obtenido fue a una tendencia a disminuir desde un valor del 50 hasta 10 en el último día de análisis en el caso de no ser tratado con rayos UV-C, mientras que las que tuvieron contacto con rayos UV-C, el comportamiento fue decreciente, de un valor de 50 en el día cero hasta 15 en el último día. En un estudio de piña mínimamente procesada con recubrimientos a base de aceite esencial de un cítrico de Azarakhsh *et al.* (2014), la cromaticidad disminuye conforme pasan los días, siendo aún así menor el lote control respecto a los otros lotes con recubrimientos.

Los recubrimientos comestibles actúan como una barrera de oxígeno por lo que protegen a los carotenoides evitando así su exposición a la oxidación y a su vez reduciendo los cambios de color con el tiempo, previniendo reacciones enzimáticas que puede llevar al deterioro del producto. Los cambios de color en los frutos, se deben a modificaciones en la composición y la degradación de la clorofila (Fajar-Falah *et al.*, 2015).

Considerando lo anterior, el objetivo de conocer el comportamiento en los cambios de color es porque es uno de los parámetros que el consumidor puede ver y determinar personalmente, si es seguro su consumo o no, por lo que se busca mantener las características de una papaya recién cortada. Por lo tanto, el lote goma guar-nanopartículas con tratamiento UV-C, logró mantener una tonalidad similar a la de un producto fresco, el lote de cloruro de calcio con el mismo tratamiento también logró mantener la luminosidad constante a partir del día 8 en un porcentaje del 35% siendo aún mayor que el resto de las muestras. Cabe destacar que no se determinaron los mismos días en los lotes tratados con rayos UV-C con los no tratados debido a la presencia de contaminación microbiana de estos últimos

3.2.5. Medición de firmeza

El ablandamiento de los tejidos es uno de los principales problemas que limitan la vida útil de los productos mínimamente procesados, y la firmeza es un factor importante que influye en la aceptabilidad del consumidor sobre estos productos (Azarakhsh *et al.*, 2014).

En la Figura 24 se muestran los cambios de firmeza en función al recubrimiento empleado comparados con el comportamiento de papaya control. Las muestras control y goma guar, no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) disminuyendo en función al tiempo de almacenamiento, esto incluye tanto a las muestras sin tratamiento como con tratamiento UV-C.

El estudio de Fajar-Falah *et al.* (2015) de papaya recién cortada almacenada a 10 °C sin ningún recubrimiento, refiere que el cortado provoca que tenga mayor área de contacto con el ambiente donde se almacena aún así teniendo el polímero de protección, y a bajas temperatura puede retrasar la interacción entre el producto y su entorno. El ablandamiento de la fruta puede ocurrir naturalmente por la disminución de la pectina o por un aflojamiento en las paredes celulares. Narsaiah *et al.* (2015) con su estudio de papaya mínimamente procesada con un recubrimiento almacenada a 4°C durante 22 días menciona que otro factor importante en el cambio de firmeza, es la pérdida de agua (deshidratación), donde cambia la turgencia celular; al existir la deshidratación en un producto, se pierde peso.

En el caso de las muestras tratadas con CaCl_2 con y sin tratamiento irradiado, se observó que a partir del 3er día de almacenamiento la firmeza tendió a aumentar hasta 0.8 N y para el último día de estudio, se obtuvo un valor final de 1.5 N, pero en el caso de las muestras irradiadas que duraron más tiempo almacenadas, donde hubo una disminución de este atributo en el día 15 hasta el final de la experimentación. De acuerdo con Albertini *et al.* (2016) donde se realizó el estudio de papaya mínimamente procesada con recubrimientos, entre ellos cloruro de

calcio durante 15 días a 5 °C, se encontró el mismo un aumento en la firmeza en el día 3.

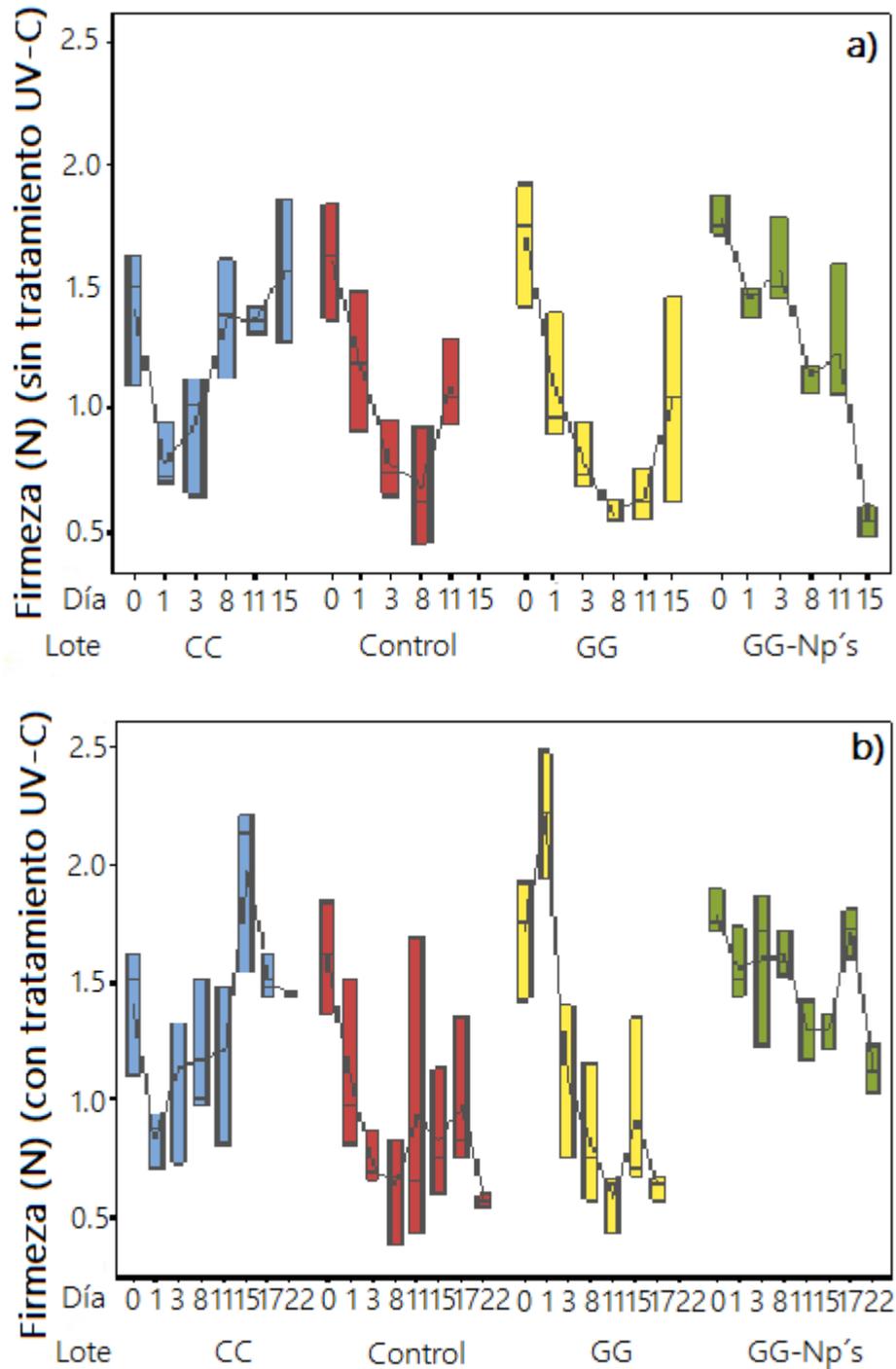


Figura 24. Cambios de firmeza (N) en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

Se sugiere que el uso de cloruro de calcio sobre el endurecimiento y resistencia al ablandamiento es atribuido a la estabilización de los sistemas de membrana, ya que el calcio crea enlaces covalente entre esta y el recubrimiento, formando pectato de calcio, por lo que aumenta la rigidez de recubrimiento y la pared celular. Lo anterior lo reafirma Lee *et al.* (2003) en manzana mínimamente procesada durante 2 semanas a 3°C.

Finalmente, en las muestras del lote goma guar con nanopartículas, presentaron variaciones mínimas durante el almacenamiento ya que como se observa en la Figura 24b las muestras tuvieron una firmeza que osciló entre 1.7 y 1.2 N. Mientras del mismo lote, pero en la Figura 24a, la firmeza disminuyó conforme pasaba el tiempo de almacenamiento; en el día cero fue 1.7 N hasta de 0.5 N en el día 15. Azarakhsh *et al.* (2014), desarrollaron el estudio de piña mínimamente procesada con el aceite esencial a base de un cítrico en conjunto con un recubrimiento, donde la firmeza no tuvo variaciones en bajas concentraciones de aceite esencial, mientras que a una alta disminuye. Una cierta concentración de aceite esencial, afecta severamente la textura haciendo que este parametro disminuya, debido a la acción del cítrico sobre los tejidos celulares que experimentan cambios estructurales, dado que el aceite tiene compuestos activos como el citral y compuestos secundarios como el geraniol, que tiene un efecto sinérgico con los compuestos activos, y estos están relacionados con los cambios de textura.

El uso de rayos UV-C retiene por más tiempo la firmeza comparándolo con una muestra control, de acuerdo al estudio de Márquez *et al.* (2012) en carambola mínimamente procesada aplicandose irradiación UV-C, almacenado durante 16 días a 5°C; lo mencionado anteriormente, se puede ver reflejado en el presente estudio en las muestras de cloruro de calcio, goma guar con nanopartículas, y en los últimos días de almacenamiento de los lotes control y goma guar. De igual forma las muestras no se determinaron los mismos días debido a la presencia de contaminación microbiana en lotes sin aplicación de rayos UV-C.

3.2.6. Medición de sólidos solubles

En la Tabla 8, se muestra los resultados obtenidos en los lotes con recubrimiento incluido el lote control, con tratamiento irradiado y no irradiado durante el tiempo en refrigeración. En el lote control con y sin tratamiento con rayos UV-C, hubo un aumento en sólidos solubles en los primeros días de hasta 9.5 para volver a disminuir en los últimos días con un valor de 8.7 °Brix. Este comportamiento pasó en el resto de los lotes; en el lote cloruro de calcio, se obtuvo valores finales de entre 8.7 a 8.9 °Brix, mientras que el lote de goma guar fueron de entre 9 y 7, y finalmente, en el lote de goma guar-nanopartículas fue variado entre 9.9 hasta llegar a 7 °Brix. Cabe señalar que en todos los lotes sin tratamiento UV-C, no se determinó los mismos días que las que fueron expuestas con UV-C, debido a presencia de contaminación microbiana.

Tabla 8. Cambios en la cantidad de sólidos solubles en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.

Tiempo (días)	Control		CC	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
0	9.3±0.17	9.3±0.17	9.2±0.06	9.2±0.06
1	9.5±0.10	11±0.15	9.3±0.17	9.5±0.10
3	9.7±0.21	9.4±0.25	8.3±0.12	8.9±0.15
8	9.4±0.10	8.8±0.06	8.1±0.06	8.6±0.10
11	10±0.35	8.7±0.06	9.0±0.23	8.7±0.06
15	9.3±0.25	ND	8.4±0.20	8.9±0.10
17	9±0.21	ND	8.9±0.12	ND
22	8.7±0.10	ND	8.7±0.06	ND

Tiempo (días)	GG		GG+Np's	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
0	8.7±0.06	8.7±0.06	8.7±0.06	8.7±0.06
1	8.2±0.12	9.0±0.15	8.5±0.06	9.6±0.15
3	8.5±0.00	8.9±0.12	8.1±0.10	9.9±0.06
8	8.5±0.15	7.6±0.15	8.0±0.10	9.2±0.06
11	9.0±0.25	7.4±0.15	7.5±0.10	8.3±0.15
15	8.8±0.00	7.7±0.10	7.1±0.06	8.2±0.10
17	9.2±0.25	ND	7.1±0.10	ND
22	ND	ND	6.9±0.10	ND

NOTA: La letras "ND" significan NO DETERMINADO, debido a presencia de contaminación microbiana desde un punto de vista visual como en la Figura 16.

Rebessi-Zillo *et al.* (2018), analizaron papaya con recubrimiento asociado con aceite esencial, en donde el contenido de sólidos solubles aumentó conforme pasaban los días en almacenamiento (9 días). El aumento de °Brix significa el desarrollo de microorganismo, pero el uso de aceite esencial mantuvo el contenido de sólidos soluble, esto debido a que el recubrimiento con asociación de un aceite esencial actúa como una barrera fisicoquímica a las transformaciones que pueden facilitar el desarrollo microbiano, así como un efecto antifúngico, inhibir o hasta eliminar los hongos deteriorados. Las muestras con goma guar con nanopartículas de aceite esencial, lograron mantener los °Brix de forma constante hasta el último día de almacenamiento, pero con ligeras variaciones.

En melón y papaya mínimamente procesada almacenada a bajas temperaturas por Fajar-Falah *et al.* (2015), el contenido de sólidos solubles aumentó en los dos primeros días y disminuyó posteriormente. El aumento se le atribuye a la hidrólisis del almidón por la enzima α -amilasa; este comportamiento sucedió en los lotes control tanto con tratamiento UV-C o sin tratamiento. En carambola mínimamente procesada sometido a tratamiento UV-C por Márquez *et al.* (2012), refiere que los °Brix de las muestras no es afectada sobre un tratamiento irradiado; esto mismo pasó en los lotes control y cloruro de calcio con el mismo tratamiento UV-C.

Tener un cierto porcentaje de concentración de azúcares es significado de producción o aparición de algún microorganismo, o bien refleja el grado de maduración en el que se encuentra el fruto. En el subtema de propiedades fisicoquímicas, menciona que el contenido de °Brix es de 9.66; la mayoría de las muestras tratadas con UV-C no se encontraron valores menores a 8 °Brix.

3.2.7. Medición de pH

En la Tabla 9, se observa los resultados obtenidos en pH de las muestras de los lotes con recubrimiento incluyendo el control con tratamiento irradiado y no irradiado durante su almacenamiento a bajas temperaturas. Las muestras

obtuvieron valores de entre 5.5 a 4.9 con una ligera tendencia a disminuir conformen pasaban los días. Sin embargo, la mayoría de las muestras tratadas con UV-C mantuvieron valores mayores de 5.

La papaya recién cortada con recubrimiento por Albertini *et al.* (2016), disminuyó el pH conforme pasaban los días de almacenamiento, esto es atribuido a la degradación ácida que ocurre en la senescencia; lo mismo pasó en los lotes de cloruro de calcio y goma guar donde el pH disminuyó hasta llegar a valores de 5.02 y 4.96 respectivamente.

Tabla 9. Cambios en el pH en papaya mínimamente procesada en función al tratamiento por rayos UV-C.

Tiempo (días)	Control		CC	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
0	5.60±0.02	5.60±0.02	5.34±0.00	5.34±0.00
1	5.36±0.01	5.35±0.02	5.00±0.00	5.02±0.01
3	5.17±0.03	5.09±0.03	4.85±0.02	5.21±0.02
8	5.14±0.04	5.13±0.03	4.89±0.06	5.27±0.02
11	5.16±0.02	5.02±0.02	4.90±0.09	5.37±0.03
15	5.26±0.03	ND	5.24±0.03	5.45±0.05
17	5.49±0.02	ND	5.40±0.06	ND
22	5.27±0.07	ND	4.84±0.13	ND

Tiempo (días)	GG		GG+Np's	
	UVC	Sin UVC	UVC	Sin UVC
0	5.59±0.01	5.59±0.01	5.64±0.01	5.64±0.01
1	5.41±0.02	5.29±0.05	5.28±0.04	5.25±0.02
3	5.26±0.01	5.41±0.01	5.20±0.03	5.43±0.03
8	5.17±0.02	5.30±0.02	5.24±0.06	5.18±0.02
11	5.20±0.04	4.96±0.06	5.10±0.03	4.80±0.02
15	5.47±0.04	4.96±0.07	5.14±0.09	4.53±0.03
17	5.40±0.03	ND	5.11±0.02	ND
22	ND	ND	4.68±0.01	ND

NOTA: La letras "ND" significan NO DETERMINADO, debido a presencia de contaminación microbiana desde un punto de vista visual.

El uso de rayos UV-C en papaya a diferentes dosis por Cia, *et al.* (2007), da como resultado en pH, mantenerse constante durante los 7 días de almacenamiento; las muestras con tratamiento UV-C logran también mantener el pH, comparándolo con las que no fueron tratadas, ya que estas disminuían hasta llegar a valores de 4.5

El pH bajo es preferible en los productos mínimamente procesados porque se pueden controlar mejor el crecimiento microbiano (Tirkey *et al.*, 2014). El valor de 6.4 en pH de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas, no fueron logradas en ningún lote, sin embargo, el lote de goma guar tratada por rayos UV-C logro mantener estable el pH con un valor en el día cero 5.59, y en el día 22 de 5.40.

3.2.8. Determinación de ácido ascórbico

En la Figura 25, se observa el comportamiento obtenido en la concentración de vitamina C, en los lotes con recubrimiento incluyendo el lote control mediante un tratamiento irradiado y no irradiado durante su almacenamiento a bajas temperaturas. Las muestras sin rayos UV-C (Figura 25a) de los lotes control, CaCl_2 y goma guar, en el primer día disminuyeron de concentración drásticamente de 70 a 25 mg de ácido ascórbico/100g de muestra, para posteriormente ser constante. En el caso del lote de goma guar con nanopartículas, el decrecimiento fue continuo hasta el último día de estudio hasta obtener como valor 10 mg de ácido ascórbico/100g de muestra; para las muestras con tratamiento UV-C (Figura 25b), su tendencia era a disminuir y volver a aumentar para finalmente disminuir sobre un rango de entre 60 a 40 mg de ácido ascórbico/100g en los lotes control y goma guar, obteniéndose concentraciones aún mayores que las muestras sin UV-C.

Para el caso del lote CaCl_2 , el contenido de ácido ascórbico disminuyó hasta el día 3, para aumentar a partir de ese día, obteniendo una concentración en el último día de 55 mg de ácido ascórbico/100g; finalmente en el lote goma guar-nanopartículas, la concentración disminuyó hasta el día 15, para aumentar hasta un contenido de 45 mg de ácido ascórbico/100g. Cabe mencionar que en todos los resultados de las muestras irradiadas son mayores que las que no fueron tratadas.

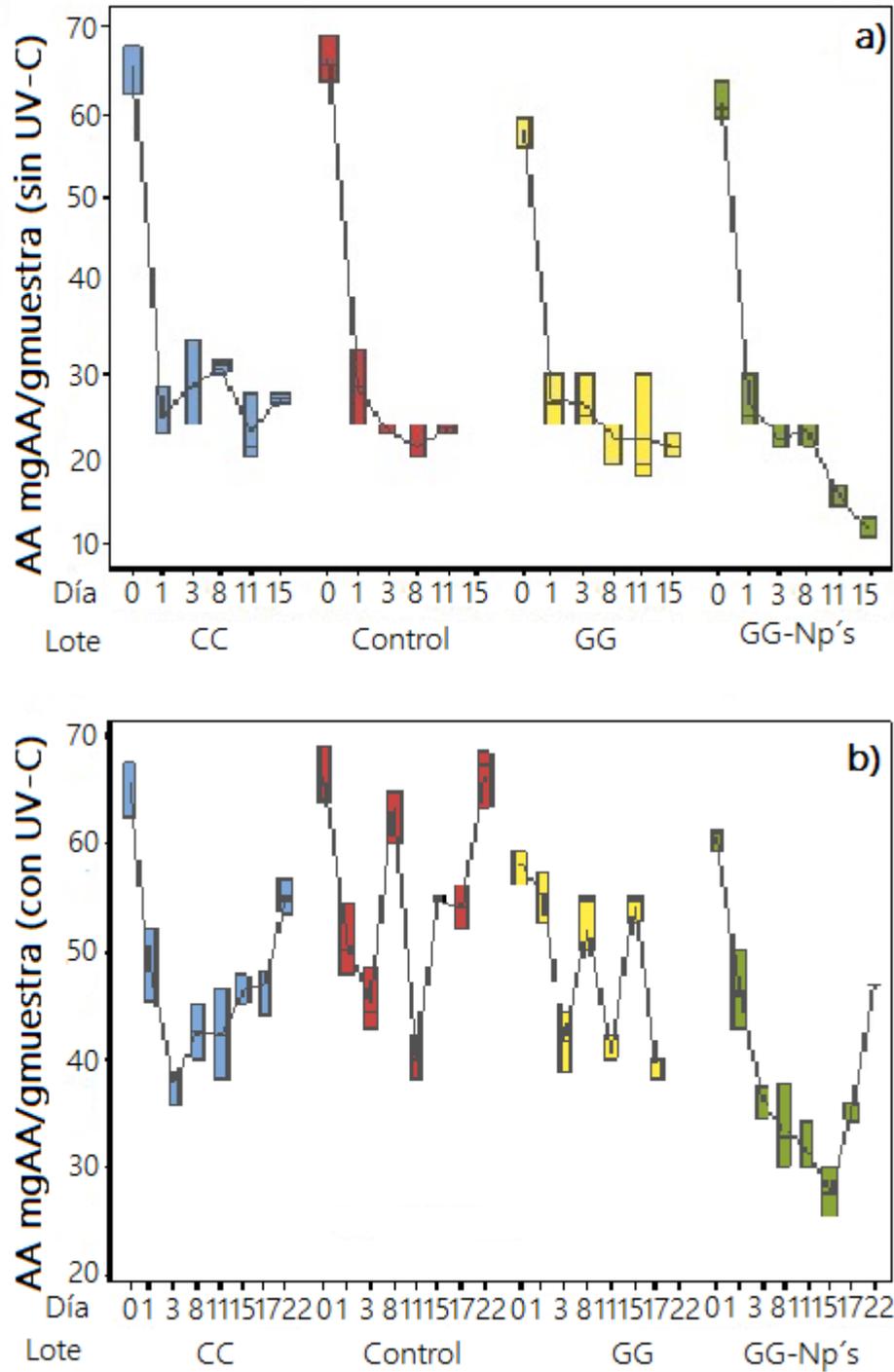


Figura 25. Cambios en el contenido de ácido ascórbico en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C

La disminución del contenido en ácido ascórbico se le atribuye a que las muestras estaban en el proceso de senescencia causado por el proceso de respiración y la

oxidación del ácido ascórbico para ser L-dehidroascórbaico y luego L-dicetogulonasa; esto de acuerdo al estudio realizado por Fajar-Falah *et al.* (2015) en melón y papaya mínimamente procesada donde las muestras disminuyeron al ser almacenadas a bajas temperaturas. Misma tendencia se presentó en todos los lotes sin tratamiento UV-C del presente estudio. En la Figura 26, se muestra el proceso químico de la oxidación del ácido ascórbico.

En el estudio de Tapia *et al.* (2008), sobre papaya mínimamente procesada con recubrimiento a base de alginato y gelana, almacenada a 4°C durante 8 días la cantidad de ácido ascórbico disminuyó conforme pasaron los días, siendo aún menor el control. Esto puede deberse a las propiedades de barrera al oxígeno que tienen los recubrimientos; el producto al tener contacto con oxígeno, genera deterioro oxidativo lo que produce una disminución en el ácido ascórbico (Tirkey *et al.*, 2014). En el presente estudio, con el uso de cloruro de calcio y goma guar se obtuvieron resultados similares que el lote control, por lo que la goma guar ayuda a preservar el contenido de ácido ascórbico.

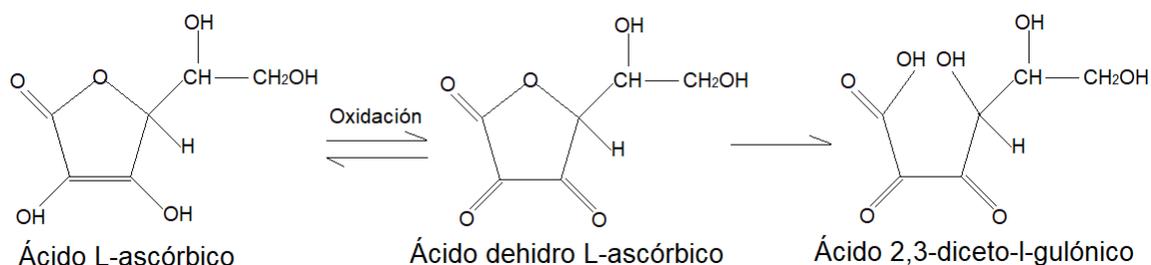


Figura 26. Proceso de oxidación del ácido ascórbico (Fajar-Falah *et al.*, 2015).

El uso de rayos UV-C en *Eruca Sativa* Mill (un tipo de planta) mínimamente procesado por parte de Gutiérrez *et al.* (2018), mostraron una disminución en el contenido de ácido ascórbico conforme pasaban los días en almacenamiento (a 5°C durante 8 días), esto atribuido a un proceso de degradación oxidativa, mismo que las que no son tratadas con UV-C. En este estudio, las muestras con UV-C no disminuyeron en concentración de ácido ascórbico, si no que aumentaron tratando de tener el contenido de ácido ascórbico que en el día cero.

3.2.9. Determinación de fenoles totales

En la Figura 27, se observa el comportamiento de los lotes analizadas sobre el contenido de fenoles totales con recubrimientos incluyendo el control con y sin tratamiento con rayos UV-C durante su almacenamiento en refrigeración. El lote control sin tratamiento irradiado (Figura 27a), disminuyó conforme pasaba el tiempo llegando a una concentración final de 65 $\mu\text{gAG/g}$, en el caso de los lotes de CaCl_2 y goma guar, su comportamiento fue constante, pero en el día 11 la concentración aumentó hasta 85 $\mu\text{gAG/g}$, finalmente en el lote de goma guar-nanopartículas logró mantenerse constante entre valores de 65 a 75 $\mu\text{gAG/g}$ con una ligera disminución del día 8 al 11. Para las muestras irradiadas (Figura 27b) control, CaCl_2 y goma guar-nanopartículas, la tendencia fue a disminuir en el día 1, para aumentar posteriormente en el día 8 y mantenerse constante hasta el día 17 y disminuir hasta el final del estudio. En el caso del lote goma guar tuvieron diversas variaciones, iniciando con una concentración promedio de 75 $\mu\text{gAG/g}$ para el término, tener la concentración de 115 $\mu\text{gAG/g}$.

Se debe considerar que en los productos mínimamente procesados, el contenido de fenoles disminuye debido a la oxidación en sustancias marrones; de acuerdo al estudio realizado por Marquez *et al.* (2017) en manzana, papa y zanahoria mínimamente procesada con recubrimiento comestible almacenada a 5°C durante 10 días, se observó que el contenido fenólico en muestras con recubrimiento fue mayor que la control; lo anterior se le atribuye a que debido al componente que se produce en la matriz de revestimiento es responsable de la prevención de la degradación de componente fenólicos. Los resultados que se mencionaron anteriormente se presentaron en todos los lotes que no fueron tratados con rayos UV-C en el presente estudio.

En otro estudio de carambola mínimamente procesada tratadas con rayos UV-C de Márquez *et al.* (2012), presentó un crecimiento en la cantidad de fenoles totales conforme pasaba el tiempo de almacenamiento, sin importar la dosis y siendo dos

veces mayor que la no tratada. Este aumento, se le atribuye a un estrés inicial conocido como hormesis sobre las células.

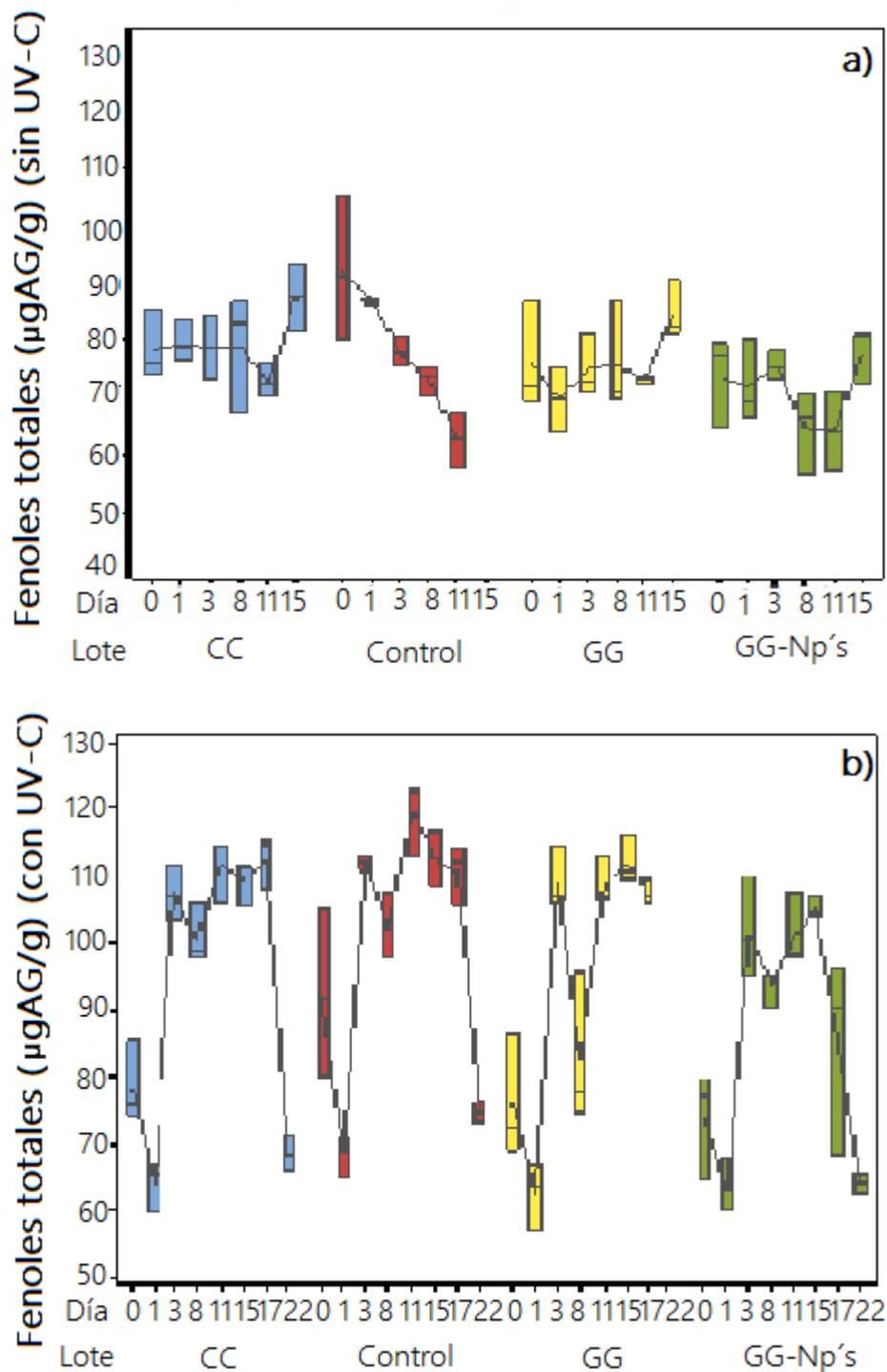


Figura 27. Cambios en el contenido de fenoles totales en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con UV-C.

El término hormesis se refiere al proceso en donde la exposición a una dosis baja, en este caso, la exposición por rayos UV-C, induce a una respuesta adaptativa y/o un efecto benéfico en la célula o el organismo (Millán-Villarroel *et al.*, 2015).

En el estudio de mango tratada a una misma dosis de rayos UV-C, pero a dos diferentes tiempos (5 min y 10 min) por González-Aguilar *et al.* (2007), demostró que entre más tiempo de exposición, es mayor la concentración de fenoles totales. La aplicación de rayos UV-C, da un resultado benéfico en el contenido de fenoles sobre muestras tratadas debido a su aumento en la concentración a partir del día 1, además que permanecieron en los máximos valores (110 µgAG/g) hasta por 14 días.

3.2.10. Determinación de actividad antioxidante

3.2.10.1. Método por *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP)

En la Figura 28, se observa el comportamiento obtenido en la capacidad antioxidante por el método de FRAP en los lotes con recubrimientos incluyendo el control, con tratamiento y sin tratamiento por rayos UVC durante su almacenamiento en refrigeración. Los lotes control y CaCl₂ sin tratamiento UV-C (Figura 28a) tienen una disminución en la actividad antioxidante desde el día cero, manteniendo constante a partir del día uno hasta el término de la experimentación. En el caso de los lotes goma guar y goma guar-nanopartículas la tendencia es de disminuir la actividad antioxidante a partir de concentraciones de 55000 y 60000 µgTrolox hasta 7000 y 20000 µgTrolox respectivamente en el último día. Para el lote control tratada con irradiación (Figura 28b), la capacidad antioxidante sufrió un decrecimiento en el día 1 de 20000 µgTrolox y aumentar hasta 40000 µgTrolox, manteniéndose así entre los días 3 al 17, teniendo una concentración máxima de 50000 µgTrolox en el día 15; para el caso de los lotes cloruro de calcio y goma guar, disminuyó la actividad antioxidante para posteriormente aumentar y mantenerse en valores de entre 20000 y 40000 µgTrolox.

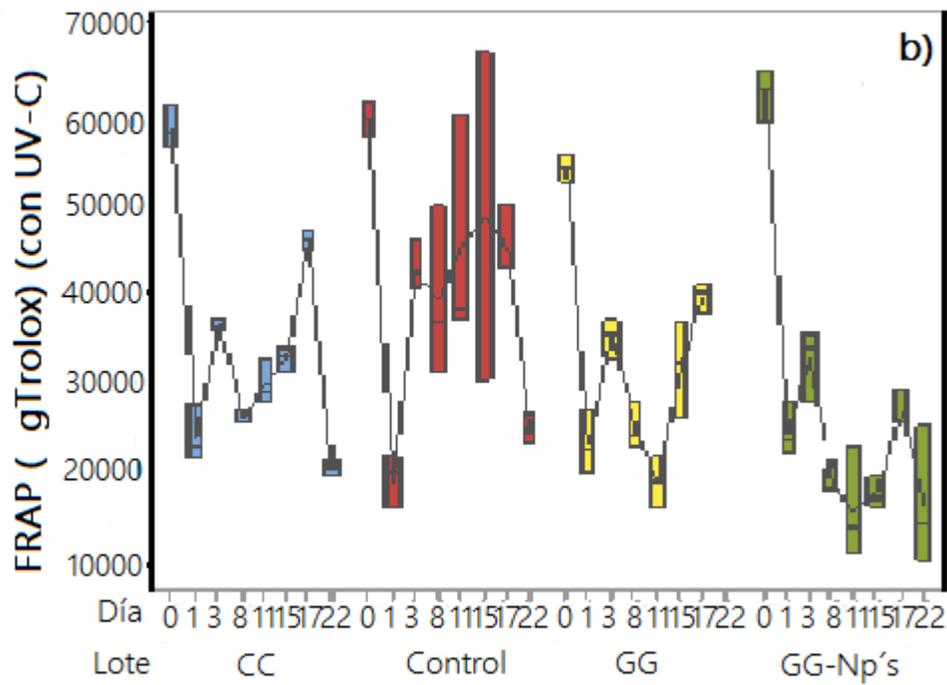
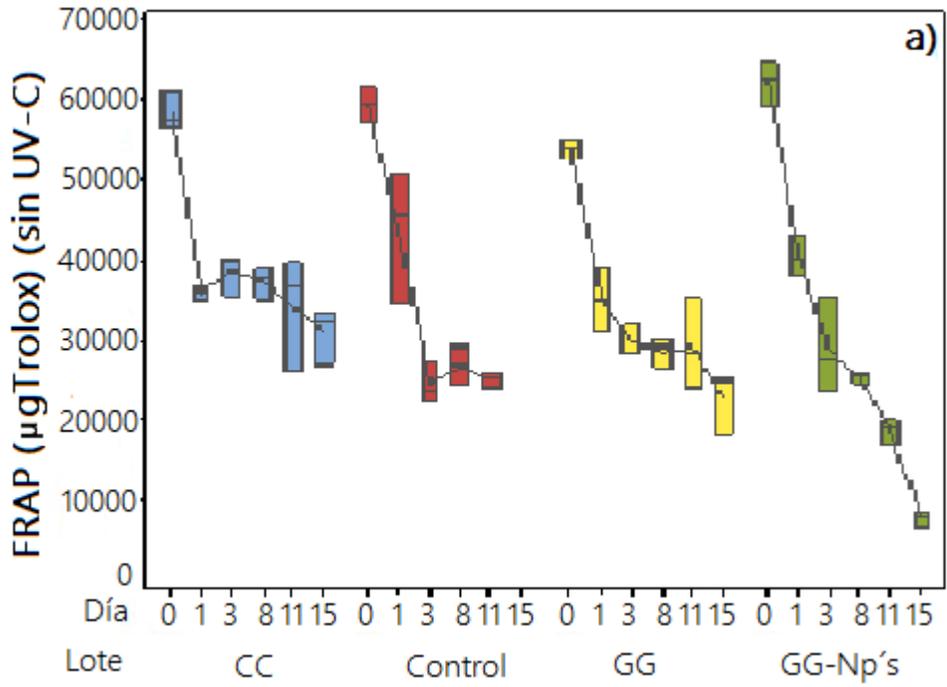


Figura 28. Cambios en la actividad antioxidante mediante el metodo FRAP en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

Finalmente en el lote con goma guar con nanopartículas, disminuyó la capacidad antioxidante desde el día 0, para posteriormente mantenerse constante en valores de 20000 y 10000 $\mu\text{gTrolox}$ durante los 22 días de almacenamiento. Márquez et al. (2012) en su estudio de carambola mínimamente procesada con tratamiento UV-C, explican que las actividades de las enzimas específicas implicadas en el metabolismo de los fenilpropanoides, incluyendo la fenilalanina amonialiasa, cataliza el primer paso comprometido en la vía de la biosíntesis fenólica, después de lo cual las ramificaciones individuales de la vía hacen posible una gama de compuestos secundarios como los compuestos fenólicos (Millán-Villarroel *et al.*, 2015).

3.2.10.2. Método por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil)

En la Figura 29, se observa la tendencia en la capacidad antioxidante mediante el método DPPH de lotes con recubrimiento incluyendo el control, con y sin tratamiento por rayos UV- C, durante su almacenamiento en refrigeración. En los lotes control, CaCl_2 y goma guar sin tratamiento UV-C (Figura 29a), disminuyó la actividad antioxidante en el día 1 para mantenerse constante hasta el último día de análisis, mientras que en el caso del lote goma guar-nanopartículas, disminuyó conforme pasaba los días de almacenamiento llegando hasta 20000 $\mu\text{gTrolox}$ al final.

Para las muestras tratadas con irradiación (Figura 29b), los lotes control y cloruro de calcio tuvo un comportamiento de decrecimiento hasta el día 8 de 60000 y 40000 $\mu\text{gTrolox}$ respectivamente, para aumentar y volver a disminuir en el día 15, teniendo valores finales de 30000 $\mu\text{gTrolox}$, mientras que en el caso de los lotes goma guar y goma guar-nanopartículas, la actividad antioxidante disminuyó conforme pasaban los días de almacenamiento, hasta llegar a valores de 40000 y 1000 $\mu\text{gTrolox}$ respectivamente.

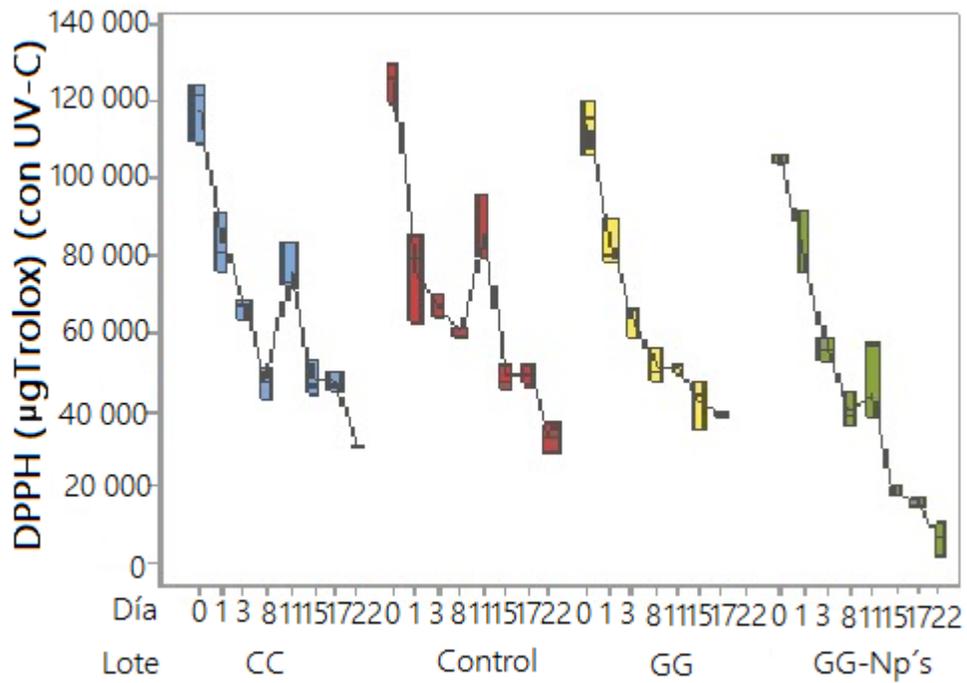
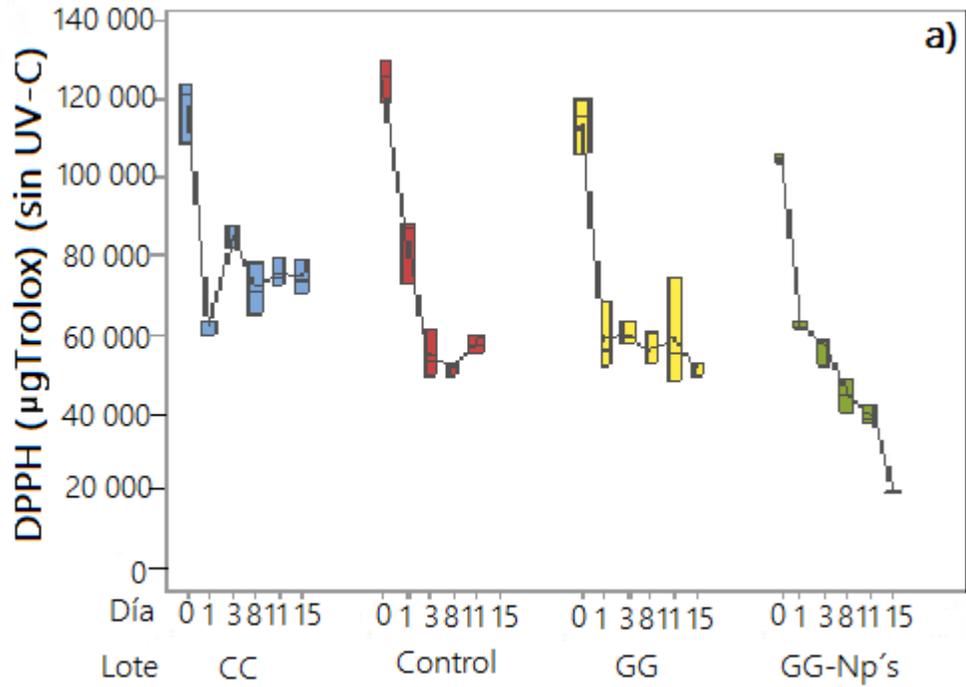


Figura 29. Cambios en la capacidad antioxidante mediante el metodo DPPH en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

En el estudio de Marquez *et al.* (2017) sobre manzana, papa y zanahoria con recubrimiento, menciona que los resultados en actividad antioxidante por el método DPPH aumentaron, debido a que algunos recubrimientos tienen una actividad antioxidante que puede aumentar este parámetro en el fruto a aplicar. En el estudio presente aunque hubo una tendencia a disminución, los recubrimientos pudieron ayudar a que la actividad antioxidante se mantuviera constante en algunos casos.

En el tratamiento de papaya por rayos UV-C durante 15 días a 5 °C de almacenamiento por Rivera-Pastrana *et al.* (2014), hubo una disminución en la actividad antioxidante (DPPH), conforme pasaban los días en almacenamiento. Dicha disminución se presentó en este estudio en todos los lotes con tratamiento UV-C. A pesar de que en todos los tratamientos y lotes disminuyó la actividad antioxidante, los lotes con irradiación, tardaron más en disminuir ya que llegaron a valores mínimos hasta posterior de los 7 días, y en el caso de los que no fueron tratados con UV-C, el valor mínimo fue a partir del día 1.

3.2.11. Determinación de actividad peroxidasa (POD)

En la Figura 30, se observa el comportamiento obtenido en la actividad enzimática de peroxidasa en los lotes con recubrimiento incluyendo el control, así como el tratamiento por rayos UV-C aplicado durante su tiempo de almacenamiento en refrigeración. En la Figura 30b, los lotes control y CaCl_2 irradiados, mostraron un comportamiento con tendencia a mantenerse constante en valores de entre 0.012 y 0.017 [dA/min]; en el caso del lote goma guar, aumentó en los últimos 5 días de estudio; mientras en el lote goma guar-nanopartículas la cinética enzimática disminuyó en los primeros días, para aumentar en el día 3, y mantenerse constante a partir el día 8.

Mientras que en la Figura 30a los lotes sin tratamiento UV-C tuvieron diversas variaciones; en el caso del lote control disminuyó hasta 0.011 [dA/min], los lotes

CaCl₂ y goma guar donde en los últimos días aumentó la actividad enzimática; en el lote de goma guar-nanopartículas los primeros 8 días, la concentración se mantuvo constante en 0.014 [dA/min], para disminuir en el día 11 a 0.012 [dA/min]. Cabe señalar que no se determinaron los mismos días debido a presencia de contaminación microbiana en las muestras sin tratamiento UV-C.

En un estudio realizado por Mishra *et al.* (2015) en papaya mínimamente procesada aplicando irradiación UV-C, menciona que las muestras que tuvieron este tratamiento, redujo su actividad enzimática comparándola con una control: refiere que la irradiación aumenta el estrés oxidativo en las células, que da como resultado la generación de especies de oxígenos reactivos, dichas especies inhiben la actividad POD al unirse al sitio activo de la enzima. La disminución se encontró también en las muestras tratadas con UV-C en el presente estudio, relegándose más con las muestras de goma guar-nanopartículas.

Otro estudio realizado por Chisari *et al.* (2011) sobre melón mínimamente procesado a diferentes concentraciones de rayos UV-C, refieren que la actividad enzimática aumenta conforme pasa el tiempo de almacenamiento que fueron 10 días a 5 °C, pero un dato curioso es que a mayor dosis de irradiación, la actividad enzimática disminuye, esto en las muestras del día cero; dicho aumento se refleja en las muestras con UV-C, sobresaltando más en el lote goma guar en los últimos días. Cabe mencionar que la enzima peroxidasa al igual que la enzima polifenol oxidasa son responsables del oscurecimiento en frutas y hortalizas.

En papaya almacenada a 5 °C durante 15 días sin ningún tratamiento por Rivera-Pastrana *et al.* (2014), demostraron que la actividad POD disminuyó conforme paso los días; presentándose en el presente estudio con el lote control sin irradiación.

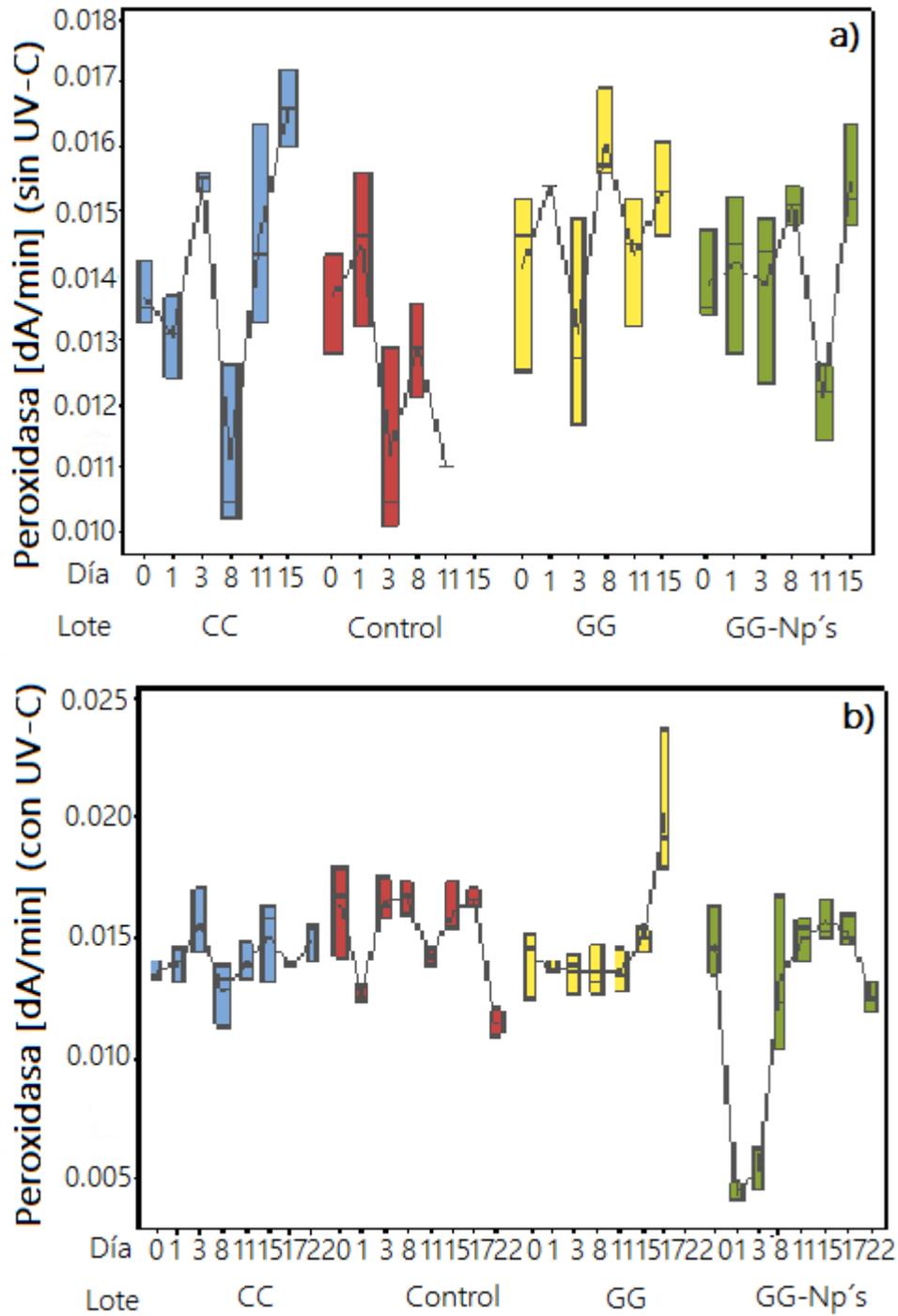


Figura 30. Cambios en la actividad enzimática peroxidasa en papaya mínimamente procesada a) sin tratamiento UV-C, b) con tratamiento UV-C.

CONCLUSIONES

La aplicación de recubrimientos comestibles, junto con nanotecnología combinado con luz ultravioleta y refrigeración, es una alternativa de conservación en productos mínimamente procesados, preservando las características de un producto recién cortado en casa, además de contribuir en la calidad del mismo; siendo esta misma alternativa, sujeto de diversos estudios en diferentes frutos, con el fin de encontrar, la tecnología emergente combinada, más apropiada que conserve o incremente las propiedades del fruto.

El uso de nanopartículas de aceite esencial de limón logró mantener la concentración de CO_2/O_2 gracias al mecanismo como agente de barrera contra gases viéndose más favorecida con la aplicación de rayos UV-C. En el caso en la pérdida de peso del producto, no fue afectada por la aplicación de un recubrimiento a base de nanopartículas ya que es un proceso natural, sin embargo, al ser sometido a rayos UV-C, ayudó a que este parámetro, fuera más notorio después de 10 días.

Las características de color y textura del producto, parámetros decisivos del consumidor para su aceptabilidad, se mantuvieron constantes, siendo más favorecida con la aplicación en conjunto de rayos UV-C y nanopartículas, ayudando a retrasar procesos maduración y senescencia, así como los cambios que puede presentarse en la disminución de pH y el aumento de sólidos solubles, una excelente tecnología en la conservación de productos mínimamente procesados.

En cuanto a las pruebas de ácido ascórbico, actividad antioxidante y fenoles totales, se demostró que la aplicación de nanopartículas de aceite esencial de limón como recubrimiento sobre el producto, ayudó a mantener e incluso a incrementar la capacidad antioxidante, y por ende su capacidad de captar radicales libres, y que la aplicación de rayos UV-C, favoreció a que la degradación oxidativa del ácido ascórbico no siguiera continuando.

La aplicación de rayos UV-C obtuvieron los mejores comportamientos, ya que tiene la capacidad de reducir la contaminación microbiana que puede presentar el producto, siendo el tratamiento que logró mantenerse los 22 días en almacenamiento, sin presencia a simple vista de deterioro microbiano, mientras que los lotes no tratadas con UV-C, se conservaron libres de microorganismos durante 15 días, gracias solamente a la refrigeración.

BIBLIOGRAFÍA

- Albertini, S., Lai, A. E., Moreno, J., Sarriés, G. A., & Fillet, M. H. (2016). Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. *Food Chemistry*, 190(1), 1182–1189.
- Aldana, F., Nel-Garcia, P., Fischer G. (2014). Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), 393-400.
- Andrade da Silva, D., Krieger, J., Santos, C. M., Souza, C. C., Almeida, A., & Belarmino, J. A. (2014). The use of sodium alginate-based coating and cellulose acetate in papaya post-harvest preservation. *Acta Scientiarum - Technology*, 36(3), 569–573.
- Annegowda, H. V., & Bhat, R. (2016). Composition of papaya fruit and papaya cultivars. En Simmonds, M., Preedy, V., *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 497–516). Reino Unido, Inglaterra: Academic Press.
- AOAC. (2014). Official Methods of Analysis. 15th edition. Washington D. C.
- APS (2018). The American Phytopathological Society. Papaya ringspot. <https://www.apsnet.org/publications/imageresources/Pages/fi00157.aspx>. Consultado el 10 de agosto del 2018.
- Arias, C. J., & Toledo, J. (2007). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*. Lima, Perú.
- Ayhan, Z. (2017). Packaging and preservation methods of minimally processed produce. En Yildiz, F., Wiley, R. C., *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (pp. 239–268). Boston, E.U.A.: Springer.

- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., & Adzahan, N. M. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1–7.
- Balois-Morales, R., Colinas-León, M. T., Peña-Valdivia, C. B., Chávez-Franco, S. H., & Alia-Tejal, I. (2007). Sistemas de estrés oxidativo, fenoles-polifenol oxidasa-peroxidasa, de frutos de pitaya (*Hylocereus undatus*) almacenados con frío. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 115-120.
- Bansal, V., Siddiqui, M. W., & Rahman, M. S. (2015). Minimally processed foods: Overview. En Siddiqui, M. W., & Rahman, M. S., *Minimally Processed Foods* (pp. 1–15). Cham, Alemania: Springer.
- Benzie, I.F.F., Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant Power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28, 25-30.
- Cabrera, D., García, D., Portal, O. (2010). Virus de la mancha anular de la papaya (PRSV-p): Biología , epifitiología y diversidad genética como base para el manejo mediante técnicas biotecnológicas. *Biotecnología Vegetal*, 10(2), 67–77.
- Casierra-Posada, F., Garcia-Riaño, N., (2006). Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por estrés salino. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 59(2), 3527-3542.
- Chan, Y. K. (2009). Breeding papaya (*Carica papaya L.*). En Jain, S.M., Priyadarshan, P.M., *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species* (pp. 121–159). Nueva York, E.U.A.: Springer.
- Chau, C. F. (2015). An introduction to food nanotechnology. En Cheung, P., Mehta, B., *Handbook of Food Chemistry* (pp. 1087–1101). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Chisari, M., Torado, A., Barbagallo, R. N. & Spagna, G. (2010). Salinity effects on enzymatic browning and antioxidant capacity of fresh-cut baby Romaine lettuce (*Lactuca sativa L. cv. Duende*). *Food Chemistry*, 119, 1502-1506.

- Chisari, M., Barbagallo, R. N. & Spagna, G., Artes, F. (2011). Improving the quality of fresh-cut melon through inactivation of degradative oxidase and pectinase enzymatic activities by UV-C treatment. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 463-468.
- Cia, P., Pascholati, S. F., Benato, E. A., Camili, E. C., Santos, C. A. (2007). Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 366-373.
- Cortez-Vega, W. R., Pizato, S., Andreghetto, J. T., Prentice, C. (2014). Using edible coatings fromWhitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 197-202.
- De la Cruz, J., Vela, G., & García, H. S. (2003). Papaya: post-harvest operations. *INPho - Post-Harvest Compendium FAO*. Instituto Tecnológico de Veracruz, México.
- De la Cruz, S. N., & Roncal, J. C. (2015). *Conservacion de alimentos minimamente procesado*. Universidad Nacional de Trujillo. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Perú.
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505–513.
- Donsì, F., & Ferrari, G. (2016). Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*, 233, 106–120.
- Echiegu, E. A. (2017). Nanotechnology applications in the food industry. En Prasad, R., Kumar, V., Kumar, M, *Nanotechnology* (pp. 153–171). Singapore: Springer.
- Erkan, M., & Yildirim, I. (2017). Postharvest quality and safety of fresh-cut vegetables. En Yildiz, F., Wiley, R. C., *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (pp. 271-326). Boston, E.U.A.: Springer.
- Fajar-Falah, M. A., Nadine, M. D., & Suryandono, Ag. (2015). Effects of storage conditions on quality and shelf-life of fresh-cut melon (*Cucumis Melo L.*) and papaya (*Carica papaya L.*). *Procedia Food Science*, 3, 313–322.

- Gonsalves, D. (1998). Control of papaya ringspot virus in papaya: A case study. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 415-437.
- 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(1), 108–116.
- Granados, R., Salceda, R., & Longar, M. del P. (2015). Current situation and technological prospects for papaya (*Carica papaya* L.) in the district of Veracruz, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 749–761.
- Güneş, G., & Turan, D. (2017). New technologies and edible coatings for minimally processed and refrigerated (MPR) fruits and vegetables (Fresh cuts and freshly squeezed juices). En Yildiz, F., Wiley, R. C., *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (pp. 587-617). Boston, E.U.A.: Springer.
- Gutiérrez, D. R., Chaves, A. R., Rodríguez, S del C. (2018). UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.). *Postharvest Biology and Technology*, 138, 107-113.
- Hewajulige, I. G. N., & Dhekney, S. A. (2016). Papayas. En Caballero, B., Finglas, P. M., Toldrá, F., *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 209–212). Reino Unido, Inglaterra: Academic Press.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in Plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture & Biology*, 11(1), 100-105.
- Jiang, L., & Pan, L.-J. (2012). Identification and expression of C2H2 transcription factor genes in *Carica papaya* under abiotic and biotic stresses. *Molecular Biology Reports*, 39(6), 7105–7115.
- Jiménez, V. M., Mora-Newcomer, E., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2014). Biology of the papaya plant. En Ming, R., Moore, P., *Genetics and Genomics of Papaya* (pp. 17–33). Nueva York, E.U.A.: Springer.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y., & Choi, W. Y. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 36, 323-329.

- Márquez, L., Pretell, C., & Minchón, C. (2012). Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, y antioxidantes en rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola* L.), variedad Golden Star mínimamente procesada. *Pueblo Cont.*, 23(2), 353–369.
- Marquez, G. R., 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 film. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 124-130.
- Millán-Villarroel, D., Romero-González, L., Brito, M., & Ramos-Villarroel, A. Y. (2015). Luz ultravioleta: Inactivación microbiana en frutas. *SABER. Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 27(3), 454–469.
- Miranda-Castro, S. P. (2016). Application of chitosan in fresh and minimally processed fruits and vegetables. En Bautista-Baños, S., Romanazzi, G., Jiménez-Aparicio, A., *Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities* (pp. 67–113). Reino Unido, Inglaterra: Academic Press.
- Mishra, M., Chandra, R., & Saxena, S. (2007). Papaya. En Kole, C. *Fruits and Nuts* (Vol. 4, pp. 343–351). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mishra, B., Gautam, S., Chander, R., Sharma, A. (2015). Characterization of nutritional, organoleptic and functional properties of intermediate moisture shelf stable ready-to-eat *Carica papaya* cubes. *Food Bioscience*, 10, 69-79.
- Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, 50, 182–189.
- Moreno, A., Fischer, G. (2014). Efectos del anegamiento en los frutales. Una revisión. *Temas Agrarios*, 19(1), 106-123.
- Narsaiah, K., Wilson, R. A., Gokul, K., Mandge, H. M., Jha, S. N., Bhadwal, S., Anurag, R. K., Malik, R. K., Vij, S. (2015). Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 100, 212–218.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microtechnology and nanotechnology in food science. En Boye, J., Arcand, Y., *Green Technologies*

in Food Production and Processing (pp. 471–494). Boston, E.U.A.: Springer.

Ochoa-Velasco, C., Ávila-Sosa, R., Navarro-Cruz, A., López-Malo, A., Palou, E. (2017). Biotic and abiotic factors to increase bioactive compounds in fruits and vegetables. En Grumezescu, A. M., Holban, A. M., *Food Bioconversion*, (pp. 317-349). Reino Unido, Inglaterra: Academic Press.

Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. (2009). Edible films and coatings for fruits and vegetables. En Huber, K., Embuscado, M., *Edible Films and Coatings for Food Applications* (pp. 211–244). Nueva York, E.U.A.: Springer.

Özer, E. A. , Özcan, M., & Didin, M. (2014). Nanotechnology in food and agriculture industry. En Malik, A., Erginkaya, Z., Ahmad, S., Erten H., *Food Processing: Strategies for Quality Assessment* (pp. 477–497). Nueva York, E.U.A.: Springer.

Randazzo, W., Jiménez-Belenguer, A., Settanni, L., Perdonés, A., Moschetti, M., Palazzolo, E., ... Moschetti, G. (2016). Antilisterial effect of citrus essential oils and their performance in edible film formulations. *Food Control*, 59, 750–758.

Rebessi-Zillo, R., Moreira, P. P., Oliveira, J., Da Glória, E. M., Fillet, M. H. (2018). Carboxymethylcellulose coating associated with essential oil can increase papaya shelf life. *Scientia Horticulturae*, 239, 70-77.

Reyes-Chavarria, A. T., Trejo-Márquez, M. A., Lira-Vargas, A. A., & Pascual-Bustamante, S. (2015). Conservación de papaya maradol mínimamente procesada en atmósferas modificadas activas y pasivas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 287–292.

Rivera-Pastrana, D. M., Gardea, A. A., Yahia, E. M., Martínez-Téllez, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2014). Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3821–3829.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Atlas agroalimentario. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Primera Edición, México, 194 p.

Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings: A review. *Food Engineering Reviews*, 3(1), 1–16.

- Saran, P. L., Solanki, I. S., & Choudhary, R. (2016). *Papaya: Biology, cultivation, production and uses*. Florida, U.S.A.: CRC Press.
- Singh, S. P., & Sudhakar, D. V. (2011). Papaya (*Carica papaya* L.). En Yahia, E. M., *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 86–126). Cambridge, Reino Unido: Woodhead Publishing.
- Skurtys O., Acevedo C., Pedreschi F., Enrione J., Osorio F., Aguilera, J. M. (2010). Food hydrocolloid edible films and coating. En Hollingworth, C. S., *Food Hydrocolloids: Characteristics, Properties and Structures* (pp. 41-80). Nueva York, E.U.A.: Nova Science.
- Swain, T., Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica* L.- The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 10, 63-68.
- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Carmona, A., Rodríguez, F. J., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1493–1503.
- Tim, T. K. (2012a). *Carica papaya*. En *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (Vol. 1, pp. 693–717). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Tim, T. K. (2012b). *Citrus x limon*. En *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (Vol. 4, pp. 849–864). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Tirkey, B., Pal, U. S., Bal, L. M., Sahoo, N. R., Bakhara, C. K., & Panda, M. K. (2014). Evaluation of physico-chemical changes of fresh-cut unripe papaya during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(2), 190–197.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2009) USDA national nutrient database for standard reference, Release 22. Nutrient Data Laboratory Home Page. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>. Consultado el 10 de Agosto del 2018.
- Wani, S. M., Amin, S., Javaid, I., & Masoodi, F. A. (2017). Minimally processing of tropical and subtropical fruits, vegetables, nuts, and seed. En Yildiz, F., Wiley, R. C., *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (pp. 469-512). Boston, E.U.A.: Springer.

- Watada, A. E., Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Tecchnology*, 15, 201-205.
- Wiley, R. C., & Yildiz, F. (2017). Introduction to Minimally Processed Refrigerated (MPR) fruits and vegetables. En *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (pp. 3–15). Boston, E.U.A.: Springer.
- Yildiz, F. (2017). Initial preparation, handling, and distribution of minimally processed refrigerated fruits and vegetables. En Yildiz, F., Wiley, R. C., *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (pp. 53–92). Boston, E.U.A.: Springer.
- Yousuf, B., Qadri, O. S., & Srivastava, A. K. (2018). Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 198–209.