



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Aplicación de luz UV-C y recubrimientos de nanocápsulas de aceite esencial
de limón en la conservación de pepino fresco cortado refrigerado a 4 °C**

TESIS

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

PRESENTA

José Iván Morales Paczka

ASESORES:

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza

I.A Alfredo Álvarez Cárdenas

Cuatitlán Izcalli, Estado de México 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

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

Aplicación de luz UC-V y recubrimientos de nanocápsulas de aceite esencial de limón en la conservación de pepino fresco cortado refrigerado a 4°C.

Que presenta el pasante: José Iván Morales Paczka
Con número de cuenta: 413100191 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 26 de Abril de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz	
VOCAL	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
1er. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
2do. SUPLENTE	M.N.H. Juana Gutiérrez Bautista	

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

LMCF/cga*

AGRADECIMIENTOS

- El PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos 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).
- El proyecto PAPIME: PE103915 “Diseño y Construcción de Equipo Didáctico para Mejorar la Enseñanza de los Procesos y Sistemas Frigoríficos”. de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).
- Agradecimiento a la beca otorgada por el proyecto PAPIIT IT200814 “Desarrollo de sistemas nanoparticulados alimenticios para incrementar la vida útil y nutraceútica de frutas frescas cortadas y bebidas de frutas” de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).

A Dios primeramente por darme un lugar en esta tierra y permitirme crecer física y espiritualmente durante estos 23 años, agradecerle por bendecirme con una familia, salud, y la capacidad de decisión que me ha hecho llegar hasta este punto de mi vida, agradecerle por darme conciencia y razonamiento que me han permitido aceptar mis errores y aciertos en la vida aprendiendo de las fallas y fortaleciéndome en mis victorias.

A mis padres Ivonne y Tomás que, desde el momento de concepción, han dedicado esfuerzo y entrega destinados a mi crecimiento como ser humano en la sociedad, sin su apoyo el llegar hasta aquí hubiera sido imposible, su aliento, aceptación, y sustento me han convertido en un hombre seguro, decidido y entregado a lo que ama hacer, pero también entregado a sus convicciones y valores con el objetivo de transformar mi entorno con el amor y la bondad.

A mi hermana Michele que, desde pequeño, me ha sostenido y abrazado como el hermano menor, que me ha escuchado y se ha convertido en mi confidente durante toda mi vida, que me ha fortalecido en momentos de inseguridad, que la mutua competencia mientras crecíamos nos ha convertido en excelentes estudiantes y que jamás pensare en la posibilidad de haber vivido sin ella porque su existencia hizo perfecta mi realidad.

A mis asesores de tesis la Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza y al I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas que, desde el comienzo de esta travesía para finalizar mis estudios universitarios, me ayudaron a crecer a través de su experiencia y conocimiento, además de siempre contar con su apoyo y dedicación a mi formación profesional como ingeniero, siempre fue un honor aprender de ellos y los respeto en demasía por su trayectoria y excelencia como seres humanos. Un placer conocerlos y mantenerlos en mi vida como dos figuras de ejemplo, los quiero mucho.

A mis sinodales Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz, I.A. Miriam Álvarez Velasco, M. en C. Araceli Ulloa Saavedra y M.N.H. Juana Gutiérrez Bautista por su apoyo, conocimiento y dedicación en mi proyecto y formación profesional, y un agradecimiento especial a la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas por lo anterior y además por el apoyo técnico en la realización de la parte experimental de este trabajo.

A aquellos profesores que marcaron mi vida por admiración y gratitud de los conocimientos y experiencia que adquirí gracias a su esfuerzo y vocación, Laura Margarita Cortázar Figueroa, Yolanda López Gutiérrez, Rafael Sampere Morales, Leticia Figueroa Villareal, Guicela Ramírez Bernal, Miriam Edith Fuentes Guerrero, Maritza Rocandio Pineda, Elsa Gutiérrez Cortez, Virginia Agustina Delgado Reyes, Fátima Abigail Galván Ballesteros, José Jaime Flores Minutti y Ricardo Moisés González Reza.

A mi tío Roberto y a su familia por ser partícipes en mi vida familiar y académica al brindarme su amor, apoyo incondicional y celebrando mis logros, que hoy declaro que también son los suyos, ya que me han fortalecido y permitido crecer personal y profesionalmente y que sin su presencia otro sería mi presente.

A mi familia Morales y familia Paczka por brindarme su amor y apoyo a lo largo de mi vida en cualquier situación, que su vida junto a mí ha sido un gran ejemplo y deseo que estén conmigo durante mucho tiempo, los amo.

A mi novio Carlos que durante mis últimos años en la universidad estuvo presente para apoyarme en momentos adversos, agradezco el amor que me ha demostrado, la motivación que me brinda, paciencia, atención y cuidado. Agradezco que, por su ejemplo, hoy me visualizo no solo como un profesionista promedio si no como aquel que puede hacer la diferencia y destacar considerando a los demás y decidiendo por el bienestar en común aspirando a convertirme en un excelente líder.

A mi mejor amiga Brenda que desde el momento que la conocí se ha encargado de ser otra hermana para mí, agradezco su tiempo, amor, y entrega con nuestra amistad que después de 13 años disfruto como si fuera el primer día.

A mis amigos que de no ser por su motivación y apoyo no me encontraría finalizando mis estudios, aquellos que dedicaron tiempo, esfuerzo y entrega a finalizar exitosamente los proyectos que pudimos compartir y también agradezco a aquellos que me alejaban momentáneamente de mis responsabilidades para respirar y recomenzar con ánimo y dedicación. En especial agradezco a Laura, Fernanda, Alejandra, Jessica, Melina, Yenifer, Alicia, Karen, Samantha, Elda, Aideht, Elihu, Alejandra, Jose, Florencia, Mitzy, Noemí, Norma, Bibiana, David y Jesús por ser mi apoyo académico y emocional cuando pensaba que no había solución y quería darme por vencido, gracias por los momentos de alegría y por convertirse en uno de mis grandes tesoros durante esta etapa de mi vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a mi amada Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán incluyendo a todo su personal que en conjunto me permitieron desarrollarme, crecer y formarme como ingeniero en alimentos, dispuesto a poner en alto en nombre de mi universidad y alma máter, un orgullo tener sangre azul y piel dorada.

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1 Pepino	1
1.1.1 Morfología del pepino	2
1.1.2 Parámetros de calidad	4
1.1.3 Valor nutricional del pepino	4
1.1.4 Importancia comercial del pepino	5
1.1.5 Deterioro del pepino	6
1.2 Actividad enzimática de peroxidasas	10
1.3 Alimentos mínimamente procesados	12
1.4 Tecnologías de conservación	13
1.4.1 Luz ultravioleta	13
1.4.2 Atmósferas modificadas	15
1.4.2.1 Dióxido de carbono	16
1.4.2.2 Oxígeno	16
1.4.2.3 Nitrógeno	17
1.4.3 Recubrimientos comestibles	17
1.4.4 Nanotecnología	19
1.4.4.1 Nanopartículas	19
1.4.4.2 Nanocápsulas	20
1.4.4.3 Aceite esencial de limón	21
1.4.5 Aplicación del frío en alimentos	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	26
2.4.1 Caracterización cámara refrigeración	26
2.4.2 Caracterización cámara luz ultravioleta	27
2.4.3 Selección de materia prima	28
2.4.4 Determinación de rendimiento másico	29
2.4.5 Selección del polisacárido para elaboración de recubrimiento	29
2.4.6 Selección del reforzador de textura	30
2.5 Preparación de dispersión formadora de película	30

2.6 Variables y diseño experimental	30
2.7 Preparación de muestras	31
2.8 Evaluación de parámetros de calidad, enzimáticos y sensoriales.	33
2.8.1 Medición de gases, concentración de oxígeno y dióxido de carbono	33
2.8.2 Pérdida de peso	33
2.8.3 Determinación de color	34
2.8.4 Determinación sólidos solubles	34
2.8.5 Determinación pH	35
2.8.6 Determinación propiedades texturales	35
2.8.7 Determinación ácido ascórbico	37
2.8.8 Determinación actividad enzimática	38
2.8.9 Evaluación propiedades sensoriales	39
2.9 Análisis estadístico	39

CAPÍTULO III TRATAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados actividades preliminares	40
3.1.1 Caracterización cámara de refrigeración	40
3.1.2 Caracterización cámara luz ultravioleta	41
3.1.3 Determinación rendimiento másico	42
3.1.4 Selección polisacárido recubrimiento	42
3.1.5 Selección agente reforzador de textura	43
3.2 Resultados experimentales	44
3.2.1 Evaluación concentración de oxígeno y dióxido de carbono	44
3.2.2 Evaluación peso perdido	48
3.2.3 Evaluación color	49
3.2.3.1 Evaluación de luminosidad	49
3.2.3.2 Evaluación ángulo tono	52
3.2.3.3 Evaluación cromaticidad	54
3.2.3.4 Evaluación del Índice de oscurecimiento	56
3.2.4 Evaluación sólidos solubles	57
3.2.5 Evaluación pH	59
3.2.6 Evaluación parámetros texturales	61
3.2.6.1 Evaluación de firmeza	61
3.2.6.2 Análisis de perfil de textura	64
3.2.7 Evaluación análisis sensorial	68
3.2.8 Evaluación contenido ácido ascórbico	69
3.2.9 Evaluación actividad enzimática peroxidasas	72
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Cámara de refrigeración, rejilla interna posicionada horizontalmente y posiciones de medición	27
2	Termopar digital <i>LASCAR USB-2®</i>	27
3	Cámara aislada y lámpara luz ultravioleta	28
4	Medidor de luz ultravioleta <i>LUTRON®</i>	28
5	Lámpara luz ultravioleta <i>UVP XX-15S®</i>	28
6	Pepinos (<i>Cucumis sativus L.</i>)	29
7	Inmersión, escurrido y envasado de pepinos	32
8	Almacenamiento de pepinos a 4°C	32
9	Medidor de gases <i>QUANTEK® Instruments</i>	33
10	Balanza digital <i>SOUTH Pro-Ohaus®</i>	34
11	Agro-colorímetro <i>APOLLINAIRE®</i>	34
12	Refractómetro <i>HANNA®</i>	35
13	Potenciómetro <i>HANNA PH213®</i>	35
14	Texturómetro <i>Brookfield CT3®</i>	37
15	Titulación para determinación de ácido ascórbico	37
16	Espectrofotómetro <i>GENESYS 10S®</i>	38
17	Reacción colorimétrica para determinación de peroxidasas	39
18	Encuesta hedónica (evaluación sensorial)	39
19	Gráfica de temperatura y humedad relativa de la cámara de refrigeración	40
20	Irradiación de luz UV-C distancias e incidencias	41
21	Comportamiento del oxígeno presente por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	45
22	Comportamiento de CO ₂ por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	47
23	Comportamiento de la luminosidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	50
24	Esfera de cromaticidad	52
25	Comportamiento en el ángulo de tono por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	53
26	Comportamiento en cromaticidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	55
27	Comportamiento del índice de oscurecimiento por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	56

28	Comportamiento de pH por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	60
29	Comportamiento en la firmeza por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	63
30	Comportamiento de la dureza en el primer ciclo de compresión por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	65
31	Comportamiento del segundo ciclo de dureza durante en análisis de perfil de textura por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C	66
32	Comportamiento de la masticabilidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	68
33	Evaluación análisis sensorial	68
34	Comportamiento del ácido ascórbico por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	71
35	Comportamiento en la actividad enzimática de peroxidasas por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	73

ÍNDICE DE TABLAS

1	Composición química del pepino	5
2	Factores experimentales y de respuesta durante el almacenamiento refrigerado de pepino fresco cortado	31
3	Rendimiento másico del pepino	42
4	Parámetros texturales de polisacáridos	43
5	Dureza de modificadores de textura	43
6	Propiedades texturales de CMC y HPMC con modificador de textura	43
7	Porcentaje de pérdida de peso	49
8	Comportamiento de sólidos solubles por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C	59

RESUMEN

Actualmente, existe un gran interés en el desarrollo de nuevos productos que consideren en su preparación aditivos naturales y productos agrícolas orgánicos que promuevan un beneficio nutrimental y funcional para proteger al organismo de enfermedades crónico degenerativas; además, de que de preferencia estos deben de estar listos para su consumo “*ready to eat*”, en el caso de frutas como sucede con el pepino, es necesario que el producto sea pelado y cortado lo que produce a su vez daños estructurales que promueven la acción enzimática y microbiana que reducen considerablemente la vida útil de los productos. La desinfección empleando luz UV-C ha sido una alternativa para disminuir la carga microbiana inicial, sin embargo, dependiendo de la dosis y condiciones de aplicación ésta también provoca la degradación de compuestos bioactivos y la modificación de la acción enzimática, razón por la que es factible que junto con el tratamiento UV-C se empleen sistemas nanoestructurados con componentes antioxidantes que sean capaces de reforzar la acción antimicrobiana en el producto y promuevan un incremento en la vida útil durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C.

En este trabajo se evaluó el efecto del tratamiento de irradiación UV-C a 2 y 4.5 kJ/m² durante un tiempo de 5 minutos en una cámara de incidencia aislada que permitió la total irradiación de los pepinos lo cual fue analizado con relación a la aplicación de un recubrimiento comestible elaborado con HPMC como matriz polimérica y lactato de calcio como modificador de textura, el cual permitió estabilizar estructuralmente al recubrimiento con nanocápsulas de aceite esencial de limón en concentraciones de 100 y 200 mg/L de dispersión, mostrándose que el tratamiento con 4.5 kJ/m² y 200 mg de dispersión de nanocápsulas de aceite esencial de limón promovió el incremento de la vida útil del fruto hasta por 15 días; así como el mantenimiento y mejora de las características organolépticas y nutricionales de pepino fresco cortado.

INTRODUCCIÓN

La producción y consumo de frutas y hortalizas en el mundo se incrementado exponencialmente desde finales del siglo XX. La demanda de productos alimenticios de mayor valor unitario y/o procesado también se ha expandido debido al incremento del poder de compra, así como la tendencia en el consumo de productos saludables (Ferrato et al., 2008).

México es participante importante en el sector agrícola para la exportación de frutas y hortalizas considerado desde el 2001 el número uno en la venta de productos agrícolas en Latinoamérica (SIAP, 2015), el cual se posiciona en el octavo puesto en la exportación de pepino (FAO, 2015).

El pepino (*Cucumis sativus L.*) pertenece a la familia de las cucurbitáceas, plantas trepadoras herbáceas y geófitas que exponen sus frutos en forma de pepónide el cual madura desarrollándose en un fruto con corteza firme y agradable sabor (Kirkbride et al., 2012).

El pepino en el mundo constituye una de las principales cucurbitáceas consumidas seguidas del melón, sandía y calabazas por su contenido de ácido ascórbico y complejo vitamínico B, rico en calcio, cloro, potasio, hierro y aceites esenciales encontrados en sus semillas (León, 2000).

El pepino como cualquier otra fruta, presenta una problemática en la prolongación de la vida útil de este producto, debido a fenómenos naturales como la respiración, transpiración, actividad enzimática en el fruto, y producción de etileno (fitohormona responsable de los procesos de maduración y aceleración de la misma en frutas no climatéricas como el pepino). Su perecibilidad ha constituido el ingreso de

tecnologías que promueven su conservación permitiendo obtener un producto accesible e inocuo al público por más tiempo, tecnologías como el encurtido de pepinos con el uso de salmueras han evitado el crecimiento de microorganismos y lograr la deshidratación parcial del mismo permitiendo prolongar su conservación (SAGARPA, 2000). La fermentación de pepinos es la técnica más común y utilizada en el mínimo procesamiento del mismo, aunque prevalece la alta aceptación de dicho producto, la tendencia de su consumo en fresco ha crecido exponencialmente durante los últimos años.

La utilización de procesos de vanguardia en la conservación de los alimentos pretende no solo incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento si no conservar los atractivos nutricionales del fruto, aplicando técnicas que permiten la inhibición de procesos microbiológicos y enzimáticos que dan como resultado la modificación de las propiedades organolépticas deseables en los alimentos (Díaz et al., 2012).

Tecnologías como la irradiación ultravioleta, los recubrimientos comestibles y la nanotecnología han impactado positivamente el mercado con la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos manteniendo la calidad sensorial y nutrimental cumpliendo así las demandas actuales de mercado.

Considerada una tecnología óptima en el mínimo procesamiento de alimentos, la FDA aprobó la irradiación ultravioleta como un método adecuado que permite mantener y elevar la calidad de las frutas y hortalizas además de contar con un alto potencial en el tratamiento de frutos frescos cortados almacenados a bajas temperaturas (Ribeiro et al., 2012).

Los productos mínimamente procesados han elevado su demanda por la practicidad y accesibilidad, para su mantenimiento también ha sido utilizada la nanotecnología desarrollada como una tecnología para la mejora de la conservación de alimentos (Weiss et al., 2006), este desarrollo tecnológico hoy en día es aplicado en

recubrimientos comestibles elaborados a base de polisacáridos que sobre los alimentos actúan como una barrera protectora (Zambrano-Zaragoza et al., 2014).

La nanotecnología en la aplicación sobre alimentos, se ha dotado de un gran potencial revolucionando los métodos de conservación y prolongación de la vida útil de frutas y hortalizas, reconocidas como seguras ante la FDA promoviendo el desarrollo de productos y empaques funcionales (Lin & Zhao, 2007).

El almacenamiento en frío es ampliamente usado en la conservación de frutas y hortalizas, innovando durante años los diferentes tratamientos y equipos a fin de identificar las condiciones que permitan mantener los productos en buenas condiciones, así como la utilización de tecnologías que complementan los beneficios del uso de frío en el almacenamiento de alimentos de manera integral (Zhang et al., 2012).

Este trabajo de investigación promueve establecer el efecto que tiene la radiación con luz ultravioleta, así como recubrimientos en base de nanocápsulas con aceite esencial de limón aplicados sobre pepinos frescos cortados colocados en envases plásticos de poliestireno cristal y posteriormente almacenados a 4°C a fin de prevenir los cambios fisiológicos a causa de la maduración del fruto y la pérdida de calidad a causa de actividad microbiológica y enzimática en el pepino.

Evaluando los cambios durante el almacenamiento y los diferentes tratamientos a partir de parámetros de calidad como la medición de parámetros texturales, pH, concentración de gases en el envase, parámetros de color, concentración de sólidos solubles, concentración de ácido ascórbico, y actividad enzimática de la peroxidasa.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Pepino

El pepino pertenece a la familia de las cucurbitáceas y su nombre científico es *Cucumis sativus L.* Es originario de las regiones tropicales de Asia (Sur de Asia), siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años. Dentro de las características generales de la especie tenemos que es anual, herbácea de crecimiento rastrero e indeterminado (SIAP, 2016).

Raíz: El sistema radicular consiste en una fuerte raíz principal que alcanza de 1.0-1.20 m de largo, ramificándose en todas las direcciones principalmente entre los primeros 25 a 30 cm del suelo.

Tallo: Sus tallos son rastreros, postrados y con zarcillos, con un eje principal que da origen a varias ramas laterales principalmente en la base, entre los 20 y 30 primeros centímetros. Son trepadores, llegando a alcanzar de longitud hasta 3.5 m en condiciones normales.

Hoja: Las hojas son simples, acorazonadas, alternas, pero opuestas a los zarcillos. Posee de 3 a 5 lóbulos angulados y triangulares, de epidermis con cutícula delgada, por lo que no resiste evaporación excesiva.

Flor: Es una planta monoica, dos sexos en la misma planta, de polinización cruzada. Algunas variedades presentan flores hermafroditas. Las flores se sitúan en las axilas de las hojas en racimos y sus pétalos son de color amarillo. Estos tres tipos de flores ocurren en diferentes proporciones, dependiendo del cultivar, al inicio de la floración, normalmente se presentan sólo flores masculinas; a continuación, en la parte media

de la planta están en igual proporción, flores masculinas y femeninas y en la parte superior de la planta existen predominantemente flores femeninas (Villaseñor, 1998).

En líneas generales, los días cortos, temperaturas bajas y suficiente agua, inducen la formación de mayor número de flores femeninas y los días largos, altas temperaturas, sequía, llevan a la formación de flores masculinas. La polinización se efectúa a nivel de campo principalmente a través de insectos (abejas). En los cultivares híbridos de tendencia ginoica, al haber cruce por abejas, pero insuficiente polinización, se producen deformaciones de los frutos, volviéndose no comercializables (Chávez, 2001).

1.1.1. Morfología del pepino

Se considera como una baya falsa (pepónide), alargado, mide aproximadamente entre 15 y 35 cm de longitud. Además, es un fruto carnoso, cilíndrico, exteriormente de color verde, amarillo o blanco e interiormente de carne blanca. Contiene numerosas semillas ovaladas de color blanco amarillento. En estadios jóvenes, los frutos presentan en su superficie abultamientos de color blanco o negro (Yaguana, 1993).

El pepino, por ser una especie de origen tropical, exige temperaturas elevadas y una humedad relativa alta; Sin embargo, el pepino se adapta a climas cálidos y templados y se cultiva desde las zonas costeras hasta los 1,200 m sobre el nivel del mar. Sobre 40°C el crecimiento se detiene, con temperaturas inferiores a 14°C, el crecimiento cesa y en caso de prolongarse esta temperatura, se caen las flores femeninas. La planta muere cuando la temperatura desciende a menos de 1°C, comenzando con un marchitamiento general de muy difícil recuperación (Yaguana, 1993).

Las variedades de pepinos se pueden clasificar en función de diversas características como su tamaño, forma y color de piel:

- **Pepino corto o pepinillo (tipo español):** estas variedades son de pequeño tamaño, con una longitud máxima de 15 cm y un peso medio de unos 125 g.

Presentan piel verde con rayas de color amarillo o blanco y se utilizan para consumo en fresco o para la elaboración de encurtidos.

- **Pepino medio largo (tipo francés):** son frutos con una longitud de 20 a 25 cm. Dentro de este grupo se diferencian dos variedades: el pepino con espinas y el de piel lisa.
- **Pepino largo (tipo holandés):** alcanzan hasta 25 cm de longitud y su piel es lisa y más o menos surcada.

Otra clasificación de los pepinos hace referencia a su forma de consumo:

- **Pepino de consumo fresco:** son ejemplares grandes, de corteza verde o amarilla.
- **Pepinillos:** son de menor tamaño y generalmente se consumen encurtidos. Dentro de este grupo se encuentran variedades de superficie lisa o con verrugas. Así mismo, existe una clasificación que atiende al tipo de cultivo y se habla entonces de pepinos de invernadero y los de tipo caballón.
- **Pepinos de invernadero:** poseen una forma alargada y recta, piel fina y pocas semillas.
- **Pepinos de caballón:** contienen menos semillas que los anteriores y su piel es verde oscura y dura, por lo que se deben pelar antes de su consumo (Kristotkova et al., 2003)

1.1.2. Parámetros de calidad en el pepino.

Se considera un fruto en óptimas condiciones de consumo cuando es cosechado en un estado inmaduro entre los 70-90 días después de la siembra, se encuentra entre los 20 -30 cm de longitud y un diámetro de 3-6 cm, con exterior firme libre de daños mecánicos y fisiológicos con el exterior brillante y la coloración, aunque depende del cultivar debe aproximarse a un verde oscuro sin signos de amarillamiento. Debe observarse con la presencia de abultamientos o el vestigio de los mismos sobre la piel del fruto (Cortes et al., 2011).

Debe ser firme al corte y el anillo interno deberá presentar mayor proporción de pulpa color blanco y semillas de tamaño no mayor de 3 mm de largo, mostrando humedad en su interior. Cuando se quiebra manualmente este debe emitir un ligero sonido de resistencia.

En lo referente al pepino de encurtir, los frutos son más cortos y su relación largo diámetro debe ser entre 2.9 a 3.1, los pepinillos deberán ser no más largos de 8 cm, de un color medianamente verde con un fondo claro uniforme. Al corte transversal deberá tener forma triangular y una ligera aparición de las semillas. Su piel no debe mostrar daño mecánico, enfermedades, insectos o cortaduras (SAGARPA, 2014).

1.1.3. Valor nutricional del pepino

Por su contenido de ácido ascórbico y vitamina B, además de sales importantes, el pepino es una fruta de bajo aporte calórico además de estar compuesta 95% de agua y su alto porcentaje en fibra además de ser rico en aceites esenciales encontrados en las semillas.

Medicamente este fruto es utilizado por sus cualidades emolientes, calmantes y alcalinizantes. En su composición se pueden encontrar fitoesteroles, terpenos, polifenoles y cucurbitáceas considerados como sustancias que previenen el cáncer además y otros desordenes fisiológicos (Cortes et al., 2011).

Se ha identificado que estos frutos contienen compuestos específicos como la fisetina que parece desempeñar un papel importante en la salud cerebral protegiendo a las neuronas del envejecimiento natural (Mercola, 2004).

Tabla 1. Composición química del pepino (INFOAGRO 2002)

Composición por 100 gramos de porción comestible

Energía (kcal)	12
Agua (ml)	97
Proteínas (g)	0.7
Hidratos carbono (g)	1.9
Fibra (g)	0.5
Potasio (mg)	140
Fósforo (mg)	20
Magnesio (mg)	9
Folatos (mg)	13
Vitamina C (mg)	5-20

1.1.4. Importancia comercial del pepino

La producción mundial de pepino considera a México como el 8° lugar en venta de exportación de esta fruta, desde el 2002 la demanda de este producto permitió a México elevar su productividad a un 72 % convirtiéndose en el principal competidor de Norteamérica respecto a la producción total del continente americano.

En México, el pepino es la cuarta fruta en importancia económica del país encabezando la lista el tomate, referido a la cantidad exportada y producida. En 2015, la superficie cultivada de pepino representó 3.1% de la superficie destinada al cultivo de frutas y su producción en ese año significó el 5.8% del total de la producción de frutos (SIAP, 2016).

Sinaloa es el principal productor de pepino, ahí se producen cuatro de cada 10 toneladas de pepinos mexicanos que en 2015 se produjeron 359,910 toneladas, equivalente a 43.4% del total nacional, también aparece Sonora con una producción de 113, 970 toneladas durante el 2015 y Michoacán con una producción de 80, 374 toneladas, logrando para 2015 un total nacional de 817, 800 toneladas de pepino (SIAP, 2016).

El valor de la producción de pepino se ha incrementado desde 1992, con el inicio de la exportación masiva. Estos valores tomaron su máximo en 2015 con un monto de crecimiento de 736 millones de pesos y la generación de 25,000 empleos directos y 20,000 empleos indirectos. Así como un alza en la evolución del comercio exterior que representa un crecimiento de 243, 314.4 millones de dólares para el 2015 (SIAP, 2016).

En la actualidad el principal consumidor de pepino mexicano es EUA que absorbe cerca del 98% de las exportaciones del país, seguido de Canadá y Australia (SIAP, 2016).

1.1.5. Deterioro del pepino

Existen múltiples factores en el deterioro de frutas, que pueden considerarse intrínsecos y extrínsecos de acuerdo a los fenómenos y mecanismos que se observan en el alimento.

a) Respiración

La respiración es la central energética que dirige las fuerzas celulares necesarias para la biosíntesis, el mantenimiento celular y el transporte activo en plantas, está acoplada a la producción de ATP, poder reductor, esqueletos de carbono y es el proceso que provee numerosos substratos para las reacciones de biosíntesis en el citoplasma. La demanda y oferta de estos metabolitos producidos a partir del proceso respiratorio varía dependiendo del tejido particular, el estado de desarrollo de la planta y de factores medio ambientales (Douce y Neuburger, 1989).

La medida de la respiración nos proporciona una ventana a través de la cual se puede determinar la actividad metabólica de los tejidos vegetales. La velocidad a la que transcurre la respiración de un fruto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos, además, es un parámetro eficaz para la predicción de la vida útil. Según la pauta respiratoria que siguen los frutos en las últimas fases de la maduración, pueden clasificarse como frutos climatéricos y no climatéricos (Biale, 1960; Biale y Young, 1981; Barceló, 1998).

Los frutos no climatéricos como el pepino, no pueden continuar madurando una vez recolectados, y no muestran cambios bruscos en la intensidad respiratoria; a medida que el fruto se va desarrollando, la intensidad respiratoria disminuye, no produciéndose en ningún momento el pico climatérico. Cuando cesa la actividad respiratoria se produce la senescencia (Ortolá, 2002). Sin embargo, existen factores externos a este proceso que pueden acelerar la maduración del fruto.

La tasa respiratoria (TR) de un fruto se define como la cantidad de dióxido de carbono emitido ($TRCO_2$) o la cantidad de oxígeno consumido (TRO_2), por unidad de peso fresco del fruto (kg) y unidad de tiempo (Fonseca et al., 2002). La TR de las células está íntimamente ligada a su nivel de metabolismo, ya que la energía obtenida en la respiración conduce a otras reacciones dentro de la célula. Así, la medida de la respiración proporciona una medida fácil e inequívoca para seguir el

estado metabólico y fisiológico de los tejidos vegetales. Por este motivo es clave conocer la fisiología post-cosecha de los frutos, donde los estados de maduración y senescencia se visualizan a menudo por cambios bruscos en el comportamiento respiratorio.

En los frutos climatéricos, el aumento de la respiración es debido más a la producción de CO₂ que al consumo de O₂, lo que se debe a la existencia de descarboxilaciones no oxidativas ligadas al metabolismo de los ácidos tricarbóxicos del ciclo de Krebs. Este aumento de la TR que caracteriza a los frutos climatéricos es irreversible, y viene promovido por un incremento de la concentración activa de etileno en los espacios intercelulares del mesocarpio.

Su cinética se inicia con un descenso lento, hasta valores relativamente bajos, inmediatamente antes del comienzo de la maduración y prosigue elevándose hasta alcanzar un máximo a medida que el fruto madura, para descender de nuevo durante la senescencia, en cambio para los frutos no climatéricos este proceso es reversible (Parker et al., 1994).

b) Producción de etileno

El etileno (C₂H₄) es un gas incoloro; una molécula orgánica con actividad biológica producida por todas las plantas, algunos hongos, levaduras y bacterias (Srivastava, 2002). La sencillez de su estructura química y su naturaleza gaseosa a temperatura y presión ambiente, le confieren ciertas ventajas especiales como regulador del desarrollo de las plantas. Su capacidad de difusión por los espacios intercelulares le permite, a diferencia de otras fitohormonas, alterar la concentración interna en los tejidos simplemente con cambios en la velocidad de síntesis. Esta característica le ofrecería la posibilidad de actuar como una señal ante una alteración externa impuesta en otros lugares de la planta, coordinando una respuesta rápida y uniforme en distintos tejidos, bien frente a un estímulo ambiental o a un determinado proceso de desarrollo (Zacarías et al., 2002).

El etileno tiene, entre otras, la propiedad de aumentar la actividad metabólica de los frutos, acelerando su maduración y senescencia. Su biosíntesis, por tanto, se incrementa en plantas sometidas a estrés y se asocia con procesos de senescencia y maduración. Dentro de las funciones fisiológicas más investigadas se encuentran las relacionadas con la abscisión de hojas, marchitamiento de flores, maduración de frutos y otros procesos relacionados con el envejecimiento, se plantea su participación en la degradación de clorofila y peroxidación de lípidos de las membranas celulares. Procesos como el reblandecimiento de la pulpa (Haji et al., 2003; Hiwasa et al., 2003), el cambio de color (Flores et al., 2002), y la producción de compuestos volátiles, responsables del aroma, dependen en gran medida de la producción de etileno (Alexander y Grierson, 2002; Kader, 2002).

El pepino es muy sensible al etileno, por lo que se debe tener cuidado de evitar la acumulación de este durante el almacenamiento. Las concentraciones bajas (1-5 ppm) aceleran los cambios en la coloración y la pudrición durante la distribución y el almacenamiento a corto plazo. No es recomendable su mezcla con productos tales como bananos (plátanos) y tomates ya que absorbe aromas y sabores. (Kader, 2002).

c) *Enfermedades fúngicas*

Durante el almacenamiento de los frutos pueden aparecer podredumbres negras, probablemente causadas por el hongo *Alternaria*. Normalmente comienzan por la zona cercana al pedúnculo, extendiéndose en forma de mancha circular. En el almacenaje también pueden aparecer otras podredumbres causadas por *Botrytis cinerea* y por *Penicillium* (Lizana y Levano, 1977).

El pepino también es susceptible a *Sclerotinia sclerotiorum* hongo polífago que ataca a todas las especies hortícolas, en planta produce una podredumbre blanda inodora y acuosa al principio que posteriormente se seca, cubriéndose de un abundante micelio algodonoso blanco.

d) *Enfermedades bacterianas*

Podredumbre blanda (*Erwinia carotovora*), penetra por heridas e invade tejidos medulares, provocando generalmente podredumbres acuosas y blandas que suelen desprender olores nauseabundos (FFLUGSA, 2003).

1.2. **Actividad enzimática de peroxidasas**

Las enzimas, los llamados catalizadores de la vida, son sustancias de alta especificidad que permiten que las reacciones biológicas normalmente poco probables se realicen y permiten el continuo movimiento y avance de las reacciones vitales (Voet, 2004).

Las enzimas que contienen los alimentos pueden provenir de diferentes fuentes:

- Enzimas endógenas, provenientes de los mismos tejidos alimentarios, las cuales son formadas durante el desarrollo de la planta o el animal.
- Aislados o concentrados enzimáticos adicionados al alimento durante su elaboración.
- Enzimas provenientes del metabolismo de microorganismos y los cuales pueden estar presentes en los alimentos, por contaminación o han sido adicionadas como cultivos.

Los efectos de las enzimas sobre los diferentes componentes de los alimentos son múltiples, la mayoría de dichos efectos en su mayoría son de tipo degradativo, lo cual puede enmascarar los efectos beneficiosos que han desarrollado otras enzimas. La industria de alimentos en sus etapas iniciales dedicó gran parte de sus esfuerzos al conocimiento de las enzimas endógenas de los diversos alimentos y a los factores que podrían utilizarse para controlar su actividad, con lo cual se buscaba

disminuir los efectos de degradación y aumentar la vida útil de los productos perecederos (Voet, 2004).

La mayoría de las enzimas endógenas pertenecen al grupo de las oxidoreductasas y al de las hidrolasas. Las enzimas endógenas pueden producir diversos cambios en los alimentos que se agrupan en tres clases.

Efectos altamente deseables: relacionados con los factores organolépticos que el consumidor espera al ingerir determinado producto, no solo en alimentos frescos como frutas y verduras, sino también en productos elaborados como el pan, en este grupo encontramos los cambios catalizados enzimáticamente durante: maduración de las frutas, cambios *posmortem* de la carne, desarrollo de sabores y panificación.

Efectos degradativos: que conducen al deterioro de los alimentos, tales como la rancidez oxidativa de los lípidos debido a la acción de las lipasas y la degradación de los vegetales debido a la acción de las peroxidasas.

Disminución en el valor nutricional: algunas enzimas producen la destrucción de nutrientes específicos, tales como: las tiaminasas, y la ácido ascórbico oxidasa.

Las enzimas intervienen en prácticamente todas las áreas involucradas en la tecnología de alimentos, por lo que el profesional en alimentos debe aprender a caracterizar y aplicar las enzimas exógenas, a activar o inhibir, dependiendo del alimento, enzimas endógenas, a aprovechar su termoestabilidad para asociar su desactivación con tratamientos térmicos y emplearlas como parámetros de control de calidad (Whitehurst, 2010).

La peroxidasa es una enzima tipo donador; peróxido de hidrógeno oxirreductasa, (POD) que pertenecen al grupo de oxidoreductasas. Las cuales descomponen peróxido de hidrógeno en presencia de un donador de hidrógeno, es una de las enzimas que controlan el crecimiento fisiológico de las plantas, su diferenciación y desarrollo. Es bien conocido, que esta enzima participa en la construcción y lignificación de la pared celular, la biosíntesis de etileno a partir del ácido 1-

aminociclopropanocarboxílico y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), la regulación de niveles de auxina, la protección contra el deterioro de tejidos e infección por microorganismos patógenos, la oxidación de ácido indolacético (Wong, 1995)

La peroxidasa cataliza cuatro tipos de reacción: (a) peroxidativas (b) oxidativas (c) catalíticas y (d) de hidroxilación. Una gran variedad de compuestos puede actuar como donadores de hidrógeno, incluyendo fenoles (p-cresol, guayacol, resorcinol) aminas aromáticas (anilina, bencidina, o-fenildiamina, o-dianisedina) nicotinamida-adenina dinucleotida reducida y nicotinamidaadenina dinucleotida fosfato reducida (Voet, 2003).

1.3. Alimentos mínimamente procesados (frescos cortados).

En el mercado actual es cada día mayor la tendencia de los consumidores, a adquirir alimentos con características sensoriales que reflejen una mínima intervención de procesos industriales, muy especialmente cuando el alimento comercializado es una fruta o un vegetal.

La posibilidad de desarrollar esquemas de procesamiento mínimo de frutas, que permitan generar productos con características sensoriales similares a la materia prima de origen y al mismo tiempo obtener una vida comercial razonable del producto, plantea hoy en día amplias perspectivas de aplicación industrial en la fabricación de materias primas pre procesadas, para su posterior suministro a la industria procesadora de frutas y a la industria relacionada con los servicios de alimentación institucionalizados (Trujillo et al., 2001).

El propósito de los alimentos mínimamente procesados refrigerados o de la cuarta gama, es proporcionar al consumidor un producto hortícola muy parecido al fresco, con una vida útil prolongada y al mismo tiempo garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial (Montiel, 2009).

Los alimentos mínimamente procesados tienen como ventajas la reducción del espacio durante el transporte y almacenamiento, menor tiempo de preparación de

las comidas, calidad uniforme y constante de los productos durante todo el año, posibilidad de inspeccionar la calidad del producto en la recepción y antes del uso y a menudo son más económicos para el usuario debido a la reducción de desperdicios (Rotondo et al., 2008).

Los frutos y vegetales frescos cortados deben poseer las características de calidad de los productos recién cosechados. Por definición se trata de productos alterados físicamente para obtener productos listos para el consumo, pero permaneciendo en su estado natural, es decir, sin tratamientos severos que alteren sus características intrínsecas (Garrett, 1998). Entre estos productos se incluyen las frutas y hortalizas peladas, troceadas, lavadas, rebanadas y almacenadas en refrigeración.

1.4. Tecnologías de conservación

Cada día existe un aumento en la demanda de nuevas tecnologías en el mantenimiento de la calidad y la inhibición de microorganismos y deterioro enzimático, en todas las etapas de la cadena de producción, distribución y almacenamiento (Allende et al., 2006). Tecnologías propositivas como la combinación de sanitizantes, el uso de luz ultravioleta, atmósferas modificadas, recubrimientos comestibles, nanotecnología y tratamientos con ozono.

La eficacia de estos métodos depende principalmente del cuidado de la higiene durante el proceso productivo, siendo su objetivo disminuir la carga microbiana y evitar su desarrollo.

1.4.1. Luz ultravioleta

Las aplicaciones de este método comenzaron alrededor de 1901 cuando se logró producir luz artificialmente. La luz ultravioleta ha sido utilizada como un agente germicida en el tratamiento de agua y superficies a razón de su capacidad de afectar el ADN de los microorganismos presentes en el medio. Se ha demostrado hoy en día, que bajas dosis de esta luz pueden favorecer reacciones benéficas en frutas y hortalizas siendo una de las tecnologías en vanguardia aplicada a frutos

mínimamente procesados. Su capacidad desinfectante al eliminar a los microorganismos protege las características sensoriales y texturales del fruto.

Se ha reportado que la luz UV-C afecta a ciertos procesos fisiológicos en los tejidos, pero más importante, interviene dañando ADN (Kuo et al., 1997; Domínguez y Parzanese (2011)). Lado y Yousef (2002) reportaron que la luz UV-C que considera de los 0.5 a los 20 kJ/m² inhibe el crecimiento de microorganismos.

La radiación UV produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte. La radiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre tiamina y citosina (nucleótidos de bases pirimidínicas) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros ciclobutil pirimidina. Esto produce distorsiones en la forma del ADN interfiriendo en el apareamiento normal de las bases. Como resultado se bloquea la síntesis de ADN y consecuentemente quedan afectadas las funciones celulares pudiendo provocar la muerte. Los efectos en los enlaces cruzados son proporcionales al tiempo de exposición e intensidad de la luz UV (Snowball y Hornsey, 1988; Sastry et al., 2000).

Una de las hipótesis es que los tratamientos de estrés abiótico, como la irradiación UV-C, pueden afectar el metabolismo secundario de los productos frescos e incrementar la síntesis de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante. En este sentido los carotenoides, el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos podrían ser incrementados (Artes-Hernández et al., 2010).

La irradiación UV-C induce la resistencia a microorganismos patógenos, supuestamente, debido a la activación de mecanismos de defensa. En este sentido, estos tratamientos pueden activar una respuesta de defensa natural de la planta induciendo a la biosíntesis de fitoalexinas como escopoletina y escoparona,

compuestos antifúngicos (fenoles y poliamidas), incrementando la producción de enzimas como fenilalanina amonioliasa y la actividad de quitinasa. Se sugiere que las dosis subletales de irradiación podrían estimular procesos vitales dentro de las células, produciendo cambios positivos en la homeostasis de las plantas (González-Aguilar, 2007; Sgroppo y Sosa, 2009; Beltrán et al., 2010).

1.4.2. Atmósferas modificadas (AM)

La técnica de conservación en atmósfera modificada (AM) consiste en envasar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto. Esta técnica tuvo sus orígenes en los años 30 cuando las embarcaciones que transportaban carne y mariscos desde Australia y Nueva Zelanda a Inglaterra, utilizaron gases en la preservación de los productos (Glowacz et al., 2015)

Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO₂ y pobres en O₂, que reducen el proceso de respiración en los productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo, y en función de ésta, se elegirá el envase o película de protección que también tendrá que ofrecer una transparencia que permita visualizar los productos y que brinde resistencia mecánica (Glowacz et al., 2015)

El envasado en AM es un proceso que implica la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases, la mezcla de gases a emplear depende el tipo de producto. La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase (Meneses et al., 2008).

1.4.2.1. Dióxido de carbono

El efecto del CO₂ se fundamenta en que desplaza el O₂, gas vital para muchos microorganismos que puede cambiar las condiciones de pH en la superficie del alimento. Actúa principalmente frente a los microorganismos aerobios obligados, los mohos son muy resistentes al CO₂ y su crecimiento no puede ser totalmente detenido mediante tratamiento de CO₂ a presión normal (Montero, 2008).

El CO₂ ejerce un efecto inhibitorio sobre el crecimiento bacterial y fúngico, aunque su acción depende de factores como concentración en la atmósfera y la temperatura de almacenamiento ya que temperaturas bajas aumentan la solubilidad del gas tanto intra como intercelularmente. Las altas concentraciones de gas (superiores al 20%) inducen reacciones anoxigénicas (Meneses et al., 2008).

1.4.2.2. Oxígeno

Concentraciones de O₂ inferiores a la normal existentes en el aire ambiente (21%) provocan una reducción de la intensidad respiratoria (IR), un retraso en la maduración y un aumento de la vida comercial de los productos vegetales, siendo la respuesta más o menos pronunciada según el producto y variedad de que se trate. Concentraciones superiores a la normal del aire, pueden o no, elevar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración. En el caso de los limones se registra una inducción a la aparición de un pseudoclimaterio, caracterizado por un aumento sensible en la producción de anhídrido carbónico y un amagullamiento de los frutos.

Concentraciones de O₂ inferiores al 2,5% aumentan la producción de anhídrido carbónico y generan sabores y olores anormales como consecuencia del establecimiento del proceso fermentativo por falta de O₂. A niveles del 1% de O₂ se han detectado sabores alcohólicos en manzanas, plátanos, aguacates, alcachofas y pimientos. Todo esto hace que en casos excepcionales no se recomienda el empleo prolongado de atmósferas con concentraciones de O₂ inferiores al 2%.

1.4.2.3. Nitrógeno

El N₂ es un gas totalmente inerte y muy poco soluble en agua y grasas lo que le convierte en un producto ideal para la conservación de alimentos y bebidas. Por sus características fisicoquímicas el N₂ es utilizado en el empaque en AM para reemplazar el O₂ del interior del envase y evitar problemas oxidativos en productos de alto contenido de grasa; otra de sus funciones es actuar como gas de relleno evitando el “colapso de envase” cuando se utilizan altas concentraciones de CO₂.

Es efectivo contra los microorganismos, pero es inoperante contra las bacterias anaerobias. Para garantizar que dichas bacterias no se desarrollen en el empaque se utiliza una pequeña cantidad de O₂ (Meneses et al., 2008).

1.4.3. Recubrimientos Comestibles

Los recubrimientos comestibles se han utilizado desde hace tiempo para mantener la calidad y extender la vida útil de algunas frutas y hortalizas, tales como cítricos, manzanas y pepinos. Las frutas y hortalizas son frecuentemente cubiertas al sumergir o asperjar un variado número de materiales comestibles. De esta manera, se forma una membrana semipermeable en la superficie para reducir la respiración, controlar la pérdida de humedad y proporcionar otras funciones (Eissa, 2007).

Una variedad de materiales comestibles, incluyendo lípidos polisacáridos, y proteínas, solos o en combinaciones, se han formulado para producir recubrimientos comestibles (Famá et al., 2004). Los recubrimientos a base de lípidos hechos de monoglicéridos acetilados, ceras (cera de abeja, carnauba, candelilla, parafina, y salvado de arroz) y surfactantes se han utilizado exitosamente en frutas y hortalizas enteras, para reducir la superficie de abrasión durante el manejo y como barrera ante la pérdida de humedad.

Los recubrimientos formulados apropiadamente pueden ser utilizados en la mayoría de los alimentos para responder a los retos asociados con la estabilidad de la

calidad, seguridad comercial, valor nutrimental y los costos económicos de producción, a reserva de la industria de productos frescos, los beneficios potenciales de utilizar recubrimientos comestibles incluyen:

1. Proporcionar una barrera contra la pérdida de humedad en la superficie del producto. La pérdida de humedad durante el almacenamiento postcosecha de productos frescos lleva a la pérdida de peso y a cambios de textura, sabor, y apariencia.
2. Proporcionar una barrera de gases suficiente para controlar el intercambio gaseoso entre el producto fresco y la atmósfera que lo rodea, lo que retardará la respiración y el proceso de deterioro. La función como barrera gaseosa podría retardar la oxidación enzimática y proteger a los productos frescos de los cambios de color por oscurecimiento enzimático y ablandamiento del tejido durante el almacenamiento.
3. Restringir el intercambio de compuestos volátiles entre el producto fresco y el ambiente que lo rodea al proporcionar barreras gaseosas, que previenen la pérdida natural de compuestos volátiles de sabor, color de productos frescos y la adquisición de olores extraños.
4. Proteger de daño físico causado por impacto mecánico, presión, vibraciones y otros factores mecánicos.
5. Actuar como acarreadores de otros ingredientes funcionales, tales como agentes antimicrobianos, antioxidantes, nutraceuticos, pigmentos y saborizantes para reducir la carga microbiana, retardar la oxidación y decoloración mejorando la calidad (Falguera et al., 2011).

1.4.4. Nanotecnología

La nanotecnología es la ciencia que trabaja a escala nanométrica, es decir, a niveles tan pequeños como moléculas y átomos. Es el diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de estructuras y materiales que tienen generalmente un tamaño de 1 y 100 nm y su interés radica en que el pequeño tamaño de las partículas conlleva propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala (Mora et al., 2010).

La aplicación de la nanotecnología en la agricultura y en la industria alimentaria, se trató por primera vez en el Departamento de Agricultura de EEUU (USDA) en septiembre de 2003.

La nanotecnología en la Industria alimentaria está teniendo un gran avance, a pesar de estar aún en fase de despegue. Sus principales aplicaciones destacan en áreas como el envasado (envases activos y envases inteligentes) el desarrollo de nuevos productos (nanoalimentos funcionales, nanocápsulas) la calidad y la seguridad alimentaria (biosensores) la mejora de los procesos de los alimentos (gelatinización, espumas y emulsiones).

1.4.4.1. Nanopartículas

Una nanopartícula se define como una estructura que actúa como una unidad completa en términos de transporte y propiedades. Se clasifican de acuerdo a sus características, tamaño y estructura (Rajamalar et al., 2011). Su tamaño subcelular permite una mayor penetración en las superficies, son capaces de mejorar la estabilidad de las sustancias activas y pueden ser biocompatibles con tejidos y células cuando se sintetizan con materiales que son biodegradables (Mora Huertas et al., 2010).

1.4.4.2. Nanocápsulas

Hoy en día los sistemas de nanocápsulas juegan un papel importante en el sector de la transformación y propiedades funcionales encapsulando soluciones simples, coloides, emulsiones, y biopolímeros dentro de los alimentos (Abbas et al., 2009).

Desde un nivel general, son definidas como sistemas nanovesiculares en las que una sustancia activa esta confinada en una cavidad rodeada por una membrana polimérica o recubrimiento; la cavidad puede contener la sustancia en fase líquida o sólida, o como una dispersión molecular. Ese reservorio lipofílico o hidrofóbico de acuerdo al método de preparación y materia prima utilizada.

La encapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de impedir su pérdida (Sozer, 2009).

El término de nanoencapsulación o microencapsulación es utilizado en otras áreas de las ciencias biológicas en donde es definido como sustancias de bajo peso molecular con la característica fundamental de un tamaño aproximado de 1-500 nm con un límite superior de tamaño de 1000 nm (Quintanar-Guerrero et al.,1998).

La tecnología de encapsulación se utiliza en muchos productos alimenticios diferentes para proteger sistemas nutracéuticos inicialmente aplicada en fármacos (Sozer, 2009).

Actualmente la encapsulación sirve para controlar la liberación y la estabilidad de sabores y colorantes. La calidad de frutas frescas cortadas puede ser prolongada con la incorporación de sistemas nanoencápsulados (Zambrano-Zaragoza et al., 2011).

1.4.4.3. Aceite esencial de limón

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles, que pueden ser alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos, y que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas. Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos; En general son los responsables del olor de las plantas (Viuda-Martos, 2008).

Son definidos como productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre con vapor, bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o bien por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición (AFNOR, 1998).

Los aceites esenciales en la industria de alimentos se emplean para condimentar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. Los aceites más empleados por esta industria son el cilantro, naranja, limón y menta. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.

El aceite esencial de limón se define como el aceite extraído sin calentar, mediante el tratamiento mecánico, del pericarpio fresco del fruto de citrus limón (Linneo). Se considera como un compuesto benéfico para la salud por participar como un agente antihistamínico, antiinflamatorio, y diurético (Bakkali et al., 2008).

Hoy en día existen investigaciones que comprueban que el aceite de limón como otros aceites extraídos naturalmente tienen capacidades antifúngicas y antimicrobianas si son aplicados en alimentos. En este sentido, la incorporación de agentes antimicrobianos de origen natural en la formulación de recubrimientos biodegradables o como agentes activos en la nanotecnología; constituyen una

alternativa al uso de estos químicos de síntesis más acorde con las actuales tendencias del consumo alimentario. Estudios recientes ponen de manifiesto las propiedades antifúngicas de productos naturales procedentes de plantas, organismos marinos, insectos o microorganismos (Cowan, 1999; Tripathi et al., 2008).

Los mecanismos de acción de los aceites esenciales aún no están bien definidos, pero se relacionan con la actividad antimicrobiana con el carácter lipófilo del aceite esencial. Numerosos autores señalan la acción combinada de los diferentes componentes de los aceites esenciales sobre las membranas celulares y mitocondriales, aumentando de esta forma la permeabilidad de estas estructuras (Burt, 2004; Bakkali et al., 2008).

1.4.5. Aplicación del frío en alimentos

La conservación refrigerada bajo condiciones óptimas permite reducir las pérdidas cualitativas y cuantitativas debidas a desórdenes fisiológicos, así como podredumbres, retrasar la maduración y senescencia para prolongar la vida comercial de los productos hortofrutícolas en general, con calidad idónea para consumo en fresco o industrial (Artés, 1987; Martínez-Jávega, 1995).

La frigoconservación persigue entre otros fines, el uso de tratamientos cuarentenarios para el control de insectos en frutos exportados a determinados países que lo exigen, como Estados Unidos y Japón (Martínez-Jávega, 1995).

Se conoce que la temperatura suele ser el factor ambiental más importante que afecta a la vida post-cosecha de frutas y verduras, especialmente a bajas temperaturas, es un medio eficaz para mantener los productos hortícolas en alta calidad post-almacenamiento (Hong et al., 2013).

La conservación por frío consiste en someter los alimentos a temperaturas bajas en el caso de refrigeración temperaturas menores a los 12 °C y para la congelación

temperaturas por debajo de 0 °C. Sus objetivos son preservar el alimento mediante el intercambio de calor inhibiendo el desarrollo microbiano disminuir la tasa respiratoria, la actividad enzimática y la putrefacción por contaminación microbiana de las superficies cortadas. Si la conservación refrigerada se realiza en las condiciones óptimas, permite reducir las pérdidas cualitativas y cuantitativas debidas a desórdenes fisiológicos y podredumbres, retrasar la maduración y deterioro, así como prolongar la vida comercial de los productos hortofrutícolas en general, con calidad idónea para consumo en fresco o industrial (Cáceres et al., 2014).

El almacenamiento en frío de frutas y hortalizas y en específico de cucurbitáceas es un área compleja de la refrigeración, ya que la sensibilidad de los frutos en sus diferentes composiciones no permite el uso de temperaturas, humedades relativas, estibado y tiempo de almacenamiento de forma general si no que existen recomendaciones claras para cada tipo de fruta (Liu et al., 2016).

La refrigeración de cucurbitáceas como el pepino se inicia con un preenfriamiento el cual enfría el producto por la inmersión o el riego del mismo con agua fría, en aparatos denominados *hydrocooler*, los cuales no deshidratan el producto. Puede usarse si el producto tolera humedecimiento y el empaque no es dañado por el escurrimiento de agua o desinfectantes que pueden incorporarse en aguas recirculadas. La refrigeración de estos frutos consiste en ubicar del producto en un cuarto equipado con unidades de refrigeración, donde se insufla aire con ciertas características. Puede ser usado en la mayoría de los productos, pero es muy lento cuando se requiere un enfriamiento rápido, es muy útil cuando ya se utilizó un método de preenfriamiento (FAO, 2001).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1. Problema

El consumo de productos agrícolas frescos cortados es una tendencia que se encuentra en gran expansión. Siendo productos que se procesan mínimamente con el objetivo de proveer al consumidor de un alimento listo para su consumo y sin la pérdida de características deseables en ellos. A pesar de ser una excelente opción de mercado, los daños que suelen ocasionarse en frutos y hortalizas comprometen la vida útil de los productos. Algunas frutas populares como el pepino presentan una gran pérdida de la calidad cuando es almacenado a bajas temperaturas a razón de la disminución de humedad y turgencia durante el corte, así como el deterioro de las propiedades organolépticas a causa de la actividad enzimática de las peroxidasas y crecimiento microbiano. Es importante desarrollar la implementación de tecnologías como la luz ultravioleta (UV-C), recubrimientos comestibles y nanotecnología que permitan a los productos mínimamente procesados prolongar su vida útil y en consecuencia elevar la aceptación comercial.

2.2. Objetivo general

Establecer el efecto de la irradiación de UV-C y la aplicación de recubrimientos con base en hidroxipropil metil celulosa incorporadas con nanocápsulas de aceite esencial de limón en pepino fresco cortado monitoreando los cambios físicos, mecánicos y fisicoquímicos que determinen su vida útil durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C.

2.3. Objetivos particulares

1. Analizar los cambios en la tasa de respiración en pepino fresco cortado por acción de los tratamientos de luz UV-C y/o recubrimientos con nanocápsulas de aceite esencial de limón a través de la medición de la concentración de O₂ y CO₂ durante su almacenamiento correlacionando sus modificaciones a los tratamientos realizados.
2. Determinar los cambios físicos y fisicoquímicos en pepino fresco cortado por efecto del tratamiento con luz UV-C y/o aplicación de recubrimientos con nanocápsulas de aceite esencial de limón a través de los parámetros de pérdida de peso, color, pH y sólidos solubles, que permitan el establecimiento de las cinéticas de deterioro durante el almacenamiento refrigerado.
3. Analizar los cambios texturales en pepino fresco cortado por efecto de luz UV-C y/o aplicación de recubrimientos con nanocápsulas de aceite esencial de limón a través de pruebas de punción y análisis de perfil de textura (TPA), determinando la efectividad de los tratamientos y almacenamiento refrigerado.
4. Evaluar los cambios en la concentración de ácido ascórbico en pepino fresco cortado por acción de los tratamientos de luz UV-C y/o recubrimientos con nanocápsulas de aceite esencial de limón, estableciendo las condiciones que contribuyan a disminuir la degradación de vitamina C.
5. Contrastar los cambios en actividad de la peroxidasa en el pepino fresco cortado por efecto del tratamiento con luz UV-C y/o recubrimientos con nanocápsulas de aceite esencial de limón a través de la prueba espectrofotométrica con guayacol, identificando el impacto de dichas tecnologías en la preservación de la calidad y conservación del pepino.

2.4. Actividades preliminares

2.4.1. Caracterización de la cámara de refrigeración.

Previo al almacenamiento de los pepinos, fue caracterizada la cámara de refrigeración (refrigerador comercial) ubicado en el laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se acondicionó hasta mantener una temperatura constante de 4°C y una humedad relativa sobre el 80%.

Con la finalidad de establecer las condiciones y áreas de trabajo, se monitorearon 6 posiciones para establecer el comportamiento de la temperatura y humedad relativa, y se obtuvo el comportamiento promedio de la cámara de almacenamiento.

La figura 1 muestra la forma en la que se dividió la cámara para su caracterización, 3 secciones correspondientes a la rejilla superior (1), rejilla intermedia (2) y parte inferior de la cámara. Por otro lado, la figura 2 muestra las características del termohigrometro digital marca *Lasca Electronics Modelo USB-2 Data Logger* utilizado para registrar la distribución de las temperaturas de la cámara que se empleó en el almacenamiento del pepino.

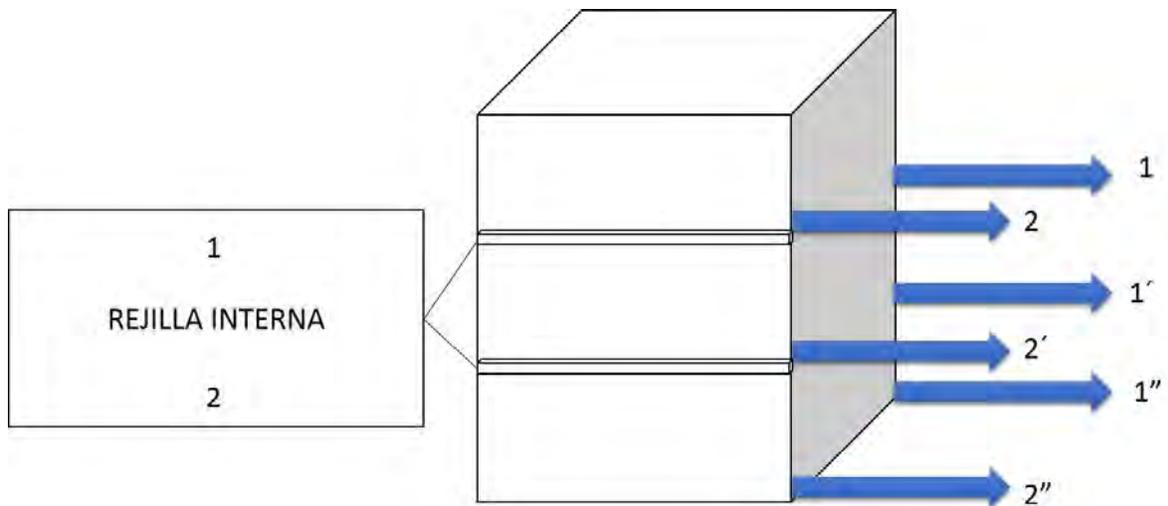


Figura 1. Cámara de refrigeración, rejilla interna posicionada horizontalmente y posiciones de medición



Figura 2. Termopar digital *LASCAR USB-2*®

2.4.2. Caracterización de la cámara de luz ultravioleta

Con la finalidad de llevar a cabo la irradiación de pepino cortado, se empleó una cámara de refrigeración aislada recubierta con material reflejante (aluminio), en la parte superior se colocó una lámpara de luz UV-C (352 nm) de 15 W de emisión marca UVP modelo XX-15S, y la medición de la intensidad de luz ultravioleta a las

diferentes alturas en la cámara se evaluó con medidor de luz ultravioleta marca *DIGITAL INSTRUMENTS* modelo *LUTRON SP-82UV*.



Figura 3. Cámara aislada y lámpara luz ultravioleta



Figura 4. Medidor de luz ultravioleta LUTRON®



Figura 5. Lámpara luz ultravioleta UVP XX-15S®

2.4.3. Selección de la materia prima

Se adquirió un lote de 30 kg de pepinos en estado de madurez fisiológica (aquellos que presentan indicios de protuberancias en el pericarpio y un color verde uniforme), en la central de abastos de Atizapán de Zaragoza del estado de México, estos se seleccionaron con base a su tamaño, uniformes, de textura firme, libres de daños mecánicos, fisiológicos y microbianos visibles. Previo al pelado y cortado, estos

fueron lavados y desinfectados empleando plata coloidal (1 mL/L). La figura 6 muestra las características generales del pepino al momento de su selección.

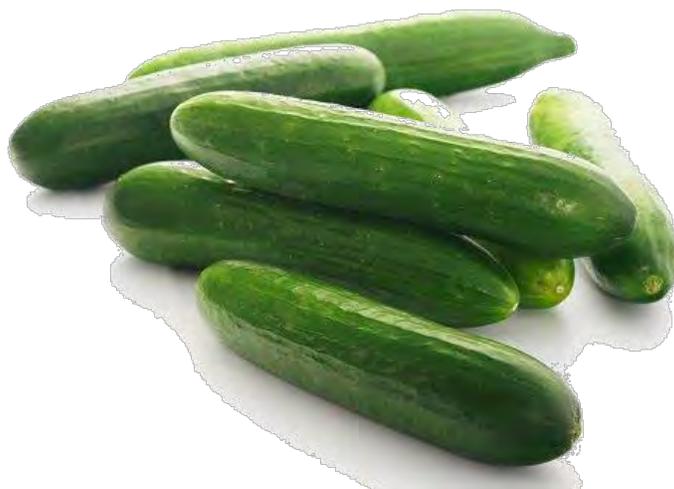


Figura 6. Pepinos (*Cucumis sativus* L.)

2.4.4. Determinación del rendimiento másico del producto.

Con la finalidad de establecer el rendimiento del fruto en relación a las puntas y piel, el pepino fue medido y pesado para considerar una constante respecto al tamaño y peso del fruto. Una vez pesado, el pepino se peló y se pesó la cáscara, así como los extremos que eran eliminados para lograr el corte de bloques.

2.4.5. Selección del polisacárido para elaboración de recubrimiento

Previo al desarrollo del recubrimiento, se realizaron pruebas de compatibilidad entre el polisacárido y el pepino fresco cortado, los polisacáridos o gomas a emplear se seleccionaron con base en una revisión bibliográfica y fueron seleccionados, Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) al 0.3 %, Carboximetilcelulosa (CMC) al 0.3 % y Pectina de bajo metoxilo al 1 %.

Para su selección, los pepinos fueron cortados y recubiertos de cada uno de los polisacáridos mencionados durante 3 min y escurridos por el mismo tiempo para

posteriormente ser envasados a fin de determinar su comportamiento tras el almacenamiento a 4°C. Los criterios de selección a considerar fueron : adhesión, humectación, compatibilidad, y penetración los cuales fueron elegidos respecto a parámetros texturales y de apreciación.

2.4.6. Selección del reforzador de textura

Los modificadores de textura probados fueron cloruro de calcio (1 %) y lactato de calcio (1 %), para la realización de la prueba fue necesario pelar 3 pepinos seleccionados con base en los criterios antes mencionados, una vez pelados y cortados se sumergieron en la dispersión correspondiente durante 3 min y un escurrido de 3 min, se envasaron en charola de polipropileno cristal a 4 °C y se evaluó la adhesión, firmeza y aspecto del producto durante 1 semana.

2.5. Preparación de dispersiones formadoras de película

La preparación de las dispersiones formadoras de película se llevó a cabo con los polisacáridos seleccionados y con agentes modificadores de textura, además, se adicionó propilenglicol al 1% como agente plastificante. La dispersión de los polisacáridos se realizó a 80°C hasta lograr su completa dispersión y después fue adicionado el propilenglicol a la misma solución. Dichas soluciones fueron almacenadas a 4°C controlando así la temperatura para la posterior inmersión de los pepinos.

2.6. Variables y diseño experimental

En la Tabla 2, se especifican las variables experimentales consideradas durante la experimentación, así como las variables de respuesta que fueron determinadas cada tercer día durante la experimentación por al menos 15 días. Cabe mencionar que las determinaciones se llevaron a cabo por triplicado, y un mayor número de determinaciones para el color y textura.

Tabla 2. Factores experimentales y de respuesta durante el almacenamiento refrigerado de pepino fresco cortado.

Factores Variación	Factores Dependientes	Factores Respuesta	Técnica/ Instrumento
Nanocápsulas (200 y 100 mg/L de aceite esencial de limón) Irradiación luz ultravioleta (2.2 y 4.5 kJ/m ²).	Pérdida peso pH °Bx		Balanza Digital SouthPro OHAU Potenciómetro HANNA PH213 Refractómetro HANNA HI 96801
	Pruebas de punción	Firmeza	Texturómetro Brookfield CT3
	Absorbancia	Actividad POD	Espectrofotómetro GENESYS 10S UV-VIS
	RGB	L*, a*, b*	Agro-colorímetro APOLLINAIRE
	Concentración de Ácido ascórbico		Titulación 2,6-Diclorofenol indofenol
	Concentración CO ₂ y O ₂		Analizador de gases QUANTEK INSTRUMENTS 902D

2.7. Preparación de las muestras

El pepino fue lavado y desinfectado con plata coloidal a una concentración del 0.01%, se eliminó el pericarpio y retiró cualquier indicio de la corteza exterior, posteriormente se procedió al corte obteniendo bloques de aproximadamente 23 mm de largo y 20 mm de ancho y profundidad. Previamente seleccionado el polisacárido y agente modificador de textura, fueron sumergidos en ambas soluciones durante 3 min y escurridos durante el mismo tiempo para posteriormente

envasarlos. El envasado se llevó a cabo empleando charolas de poliestireno cristal con capacidad de 150g en los que se colocaron 140 g de muestra, como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Inmersión (polisacárido y modificador de textura respectivamente), escurrido, y envasado de pepinos.

Las muestras una vez envasadas, fueron irradiadas con luz UV-C de acuerdo a los parámetros de selección de la concentración que correspondían con los criterios bibliográficos en cucurbitáceas irradiadas con luz ultravioleta. Se colocaron 6 envases en las rejillas debajo de la lámpara de incidencia consiguiendo la irradiación uniforme considerada en la caracterización de la cámara de luz ultravioleta además de ser envases completamente transparentes por lo que se permitía el paso de luz a través de los pepinos. Posteriormente, fueron colocados en la cámara de almacenamiento a 4°C hasta su correspondiente muestreo (3,6,9,12,15 días) como lo muestra la figura 8.



Figura 8. Almacenamiento de pepinos a 4°C

2.8. Evaluación de parámetro de calidad, enzimáticos y sensoriales.

2.8.1. Medición de gases en el espacio libre de cabeza (O₂ y CO₂)

La concentración de gases en los envases de pepino se midió con un analizador de gases marca *QUANTEK® Instruments* modelo 902D *DualTrack* (+/- 0.1), previo al envasado se colocó en cada envase un septo con la finalidad de evitar fugas de gases debido a la perforación realizada, los gases analizados en el equipo con principio de medición láser para CO₂ y O₂, obteniendo la composición en estos gases en el espacio libre de cabeza del envase.



Figura 9. Medidor de Gases *QUANTEK® Instruments*

2.8.2. Pérdida de peso

El peso perdido se determinó por diferencia de pesos al registrar el peso inicial previo al almacenamiento y posteriormente en cada muestreo cada tercer día de almacenamiento a 4 °C con una balanza digital como lo muestra la figura 10. El cálculo de pérdida de peso se determinó de acuerdo con la siguiente ecuación, todas las determinaciones se realizaron por triplicado.



Figura 10. Balanza digital *SoutPro-Ohaus*[®] (+/- 0.01)

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial}(g) - \text{peso final}(g)}{\text{peso inicial}(g)} * 100 \quad (1)$$

2.8.3. Cambios de color

Las variaciones de color en el pepino a razón de observar los cambios físicos que expresaran el deterioro de la calidad del producto, se midieron con el agro-colorímetro marca *APOLLINAIRE* (+/- 0.01), (basado en análisis de imagen) y que muestra los resultados en escala RGB, los que fueron transformados en términos de Lab* con la finalidad de poder realizar comparaciones en relación a otros estudios realizados y evaluar el índice de oscurecimiento del producto.



Figura 11. Agro-colorímetro *APOLLINAIRE*[®]

2.8.4. Determinación de sólidos solubles

Para la determinación de sólidos solubles se utilizó un refractómetro digital marca *Hanna*, modelo HI 96801(+/- 0.1), posterior a la calibración del equipo con agua

destilada, la muestra de pepino homogeneizada se colocó sobre el lente del refractómetro y la lectura se obtuvo de manera directa en °Brix.



Figura 12. Refractómetro HANNA®

2.8.5. Determinación de pH

La medición de pH se realizó a través de un potenciómetro marca HANNA® modelo PH213 (+/- 0.01), posterior a la calibración con los Buffer 4 y 7, la muestra de pepino previamente homogeneizada, se evaluó de forma directa colocándose dentro de esta el electrodo.



Figura 13. Potenciómetro HANNA PH213®

2.8.6. Evaluación de propiedades texturales

Las pruebas texturales, son un parámetro importante para el consumidor ya que reflejan la integridad del producto y la facilidad para consumirlo. Las propiedades elásticas de tejidos de frutas y vegetales se han estudiado en un esfuerzo por definir

su relación con la textura y estudiar los cambios en la textura durante el crecimiento, desarrollo, maduración y envejecimiento.

De acuerdo a las características fisiológicas de la muestra pueden ser seleccionados diferentes accesorios como placas, cilindros, puntas entre otros que simulan la deformación de la misma para conocer las características básicas texturales y así definir posibles cambios en el alimento.

a) Prueba de punción

Se llevó a cabo empleando un texturómetro Brookfield modelo CT-3 (USA) (+/- 0.01), con celda de carga de 25 kgf, empleando una sonda de punción plana de 6 mm de diámetro (TA41), la punción se llevó a cabo hasta 3 mm de la superficie de la muestra, con una carga de activación de 0.1 N, la velocidad del ensayo fue de 1.5 mm/s, los resultados fueron expresados en relación a la carga máxima (firmeza) en Newtons (N).

b) Análisis de Perfil de Textura

El ensayo de perfil de textura se llevó a cabo con la finalidad de establecer los cambios en propiedades texturales relacionadas con el comportamiento a la masticación empleando un texturómetro Brookfield CT3 con celda de carga de 25 kgf, se empleó un cilindro de 3.5 cm de diámetro (TA25/1000), para el ensayo se consideró una deformación del 15 % con dos ciclos de compresión y tiempo de recuperación de 5 s, la carga de activación fue de 0.1 N y la velocidad del ensayo de 1.5 mm/s. Se obtuvo la dureza, masticabilidad, adhesividad y fracturabilidad. La figura 14 muestra el texturómetro con el que se llevaron a cabo los ensayos.



Figura 14. Texturómetro *Brookfield CT3*[®]

2.8.7. Ácido ascórbico

La determinación del contenido de ácido ascórbico en el pepino se determinó con el método estandarizado de titulación con 2,6 Diclorofenol Indofenol (AOAC, 967.21). En donde los mL gastados de colorante representaran de acuerdo a la ecuación presentada los mg de Ácido ascórbico presentes en la muestra.

$$\text{mg ácido} \frac{\text{ascorbico}}{100} \text{ g de muestra} = \frac{\text{mL gastados} * \text{factor de tinción} * \text{volumen de muestra}}{\text{Alicuota} * \text{peso de muestra}} \quad (2)$$



Figura 15. Titulación para determinación de ácido ascórbico por el método 2,6-diclorofenol indofenol.

El factor de tinción fue determinado con un estándar de ácido ascórbico considerando un volumen no mayor a 5 mL de tinte. Factor de tinción = 0.5/mL solución de estandarización de ácido ascórbico gastados.

2.8.8. Determinación de actividad peroxidasa

La determinación de la actividad enzimática de la peroxidasa, se obtuvo de acuerdo al método descrito por Amako et al., (1994) utilizando como polifenol a oxidar guayacol en medio de peróxido de hidrogeno contabilizando el cambio de color a razón de la oxidación a través de la medición de la absorbancia. La muestra fue previamente homogenizada con NaCl 1 molar, para obtener el extracto enzimático, posteriormente se llevó a cabo la reacción de oxidación en la determinación de la actividad enzimática en medio de peróxido de hidrogeno al 1% necesario para la activación de las enzimas y la adición de guayacol al 1% el cual se oxido mostrando un cambio de color que fue medido por medio de la absorbancia a 470 nm. La determinación se llevó a cabo en un espectrofotómetro marca Genesys modelo 10S UV-Vis (+/- 0.01), que corresponde al observado en la figura 16. En la figura 17 se muestran las características de la prueba colorimétrica realizada.



Figura 16. Espectrofotómetro Genesys 10S

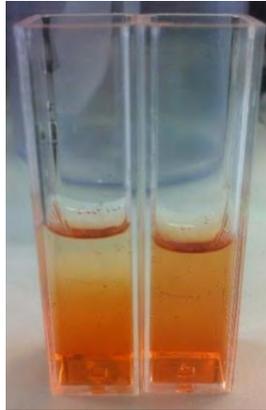


Figura 17. Reacción colorimétrica para determinación de peroxidasas

2.8.9. Evaluación sensorial.

La evaluación de las propiedades organolépticas del pepino se llevó a cabo a partir de una evaluación sensorial que corresponde a una escala hedónica donde por medio de apreciación se juzgaron los atributos del pepino considerando el color, el olor, textura, y sabor. La población que evaluó las características mencionadas fue de 10 personas

Pepino	Muestra				Muestra				Muestra			
	Color	Olor	Textura	Sabor	Color	Olor	Textura	Sabor	Color	Olor	Textura	Sabor
Me gusta mucho												
Me gusta moderadamente												
Me gusta poco												
No me gusta ni me disgusta												
Me disgusta poco												
Me disgusta moderadamente												
Me disgusta mucho												

Figura 18. Encuesta hedónica por atributos empleada para la evaluación sensorial

2.9. Análisis estadístico.

Con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos se llevó a cabo el análisis estadístico de los resultados empleando el software MINITAB®17, realizando los análisis de varianza correspondientes en función a los factores (análisis de dos vías) o bien para contrastar tratamiento mediante análisis de varianza y contrastación de medias por pruebas de Tukey.

CAPITULO III

TRATAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISI DE RESULTADOS

3.1. Resultados de actividades preliminares

3.1.1. Caracterización de la cámara de almacenamiento.

La figura 19 muestra la fluctuación de temperaturas dentro de la cámara de almacenamiento, obteniéndose una mínima de 1°C y máxima 5.5°C encontrándose en el intervalo de temperatura adecuado que considera a los 4°C, y una humedad relativa de 70 a 95 % la cual en condiciones frescas podría representar la deshidratación del alimento sin embargo el producto se mantuvo envasado en charolas de polipropileno cristal e impidiendo la influencia de dicha variable de forma considerable.

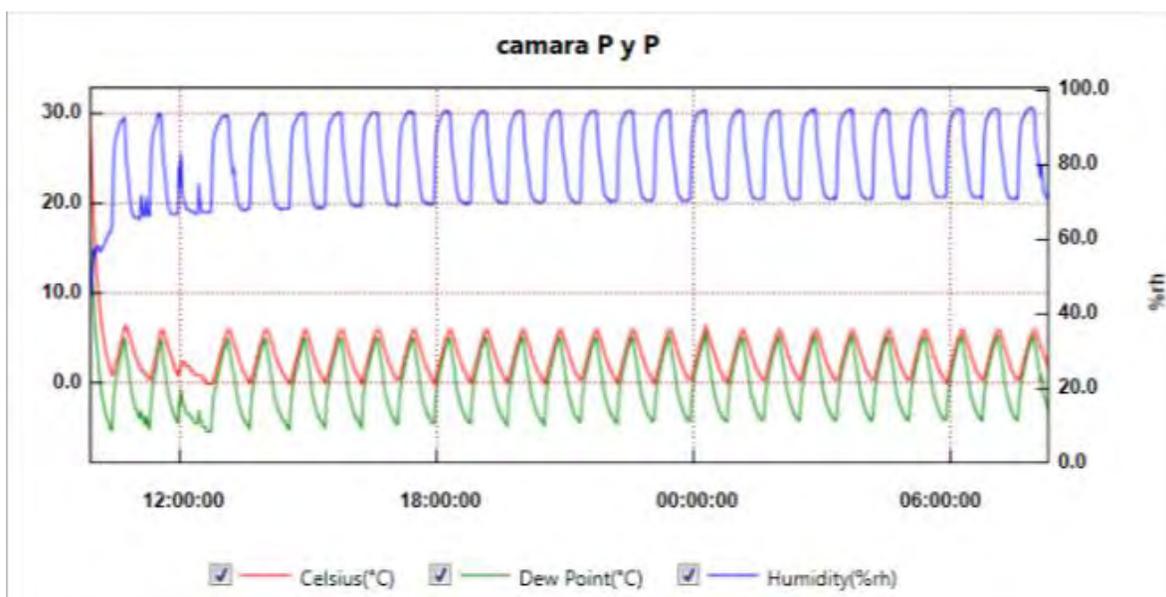


Figura 19. Gráfica de temperatura y humedad relativa de la cámara de refrigeración

3.1.2. Caracterización de la cámara de luz UV-C.

De acuerdo a investigaciones recientes valores entre los 4-5 kJ/m² representaban para alimentos y en específico cucurbitáceas mejoras en el uso de la luz ultravioleta por lo que se modificó la posición de las rejillas hasta obtener una medida similar y una medida menor para futuras contrastaciones de acuerdo al diseño experimental seleccionado, todo lo anterior basándose en los resultados obtenidos en las investigaciones de (Chisari et al., 2011; Fang et al., 2015; Erkan et al., 2007) los cuales trataron frutos mínimamente procesados con irradiaciones de luz ultravioleta. Los valores y distancias seleccionadas corresponden a los señalados en la figura 20.

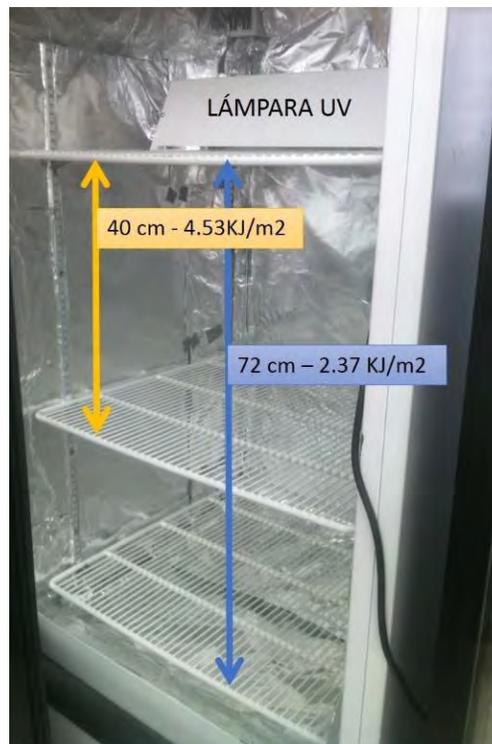


Figura 20. Irradiación de luz UV-C distancias e incidencias

3.1.3. Determinación del rendimiento másico

En la tabla 3, se muestran los resultados obtenidos para el rendimiento de pepino una vez pelado y eliminado los extremos axiales del mismo, mostrándose que de 4 pepinos seleccionados el rendimiento promedio fue de 75 %, lo que es excelente ya que, en muchas de las frutas mínimamente procesadas, la merma excede hasta el 45% del peso total de la fruta, el pepino con un rendimiento promedio de 75% se considera apropiado para su mínimo tratamiento respecto a la relación costo, producción y venta (Cruz, 2001).

Tabla 3. Rendimiento másico del pepino

Muestra	Medida(cm)	Peso entero (g)	Peso cáscara (g)	Peso cortado (g)	Rendimiento %
1	26	445.8	79.2	306.6	68.775
2	25	384.5	67.8	298.1	77.529
3	24	348.1	61.9	271.8	78.081
4	27	433.2	73.9	334.5	77.216
Media	25.5 ± 1.29	402.9 ± 45.1	70.7 ± 7.49	302.75 ± 25.8	75.143 ± 4.43

3.1.4. Selección del polisacárido para recubrimiento

En la tabla 4, se muestran los resultados de la prueba de perfil de textura correspondientes a los 3 polisacáridos probados (Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), Carboximetilcelulosa (CMC) y pectina), considerando únicamente la dureza de la muestra y la adhesividad, mostrando que la mayor dureza fue mostrada por la HPMC y la menor adhesividad, además visualmente se observó que la pectina no se adhería a la superficie del pepino, razón por la que con base en la dureza de la muestra se seleccionó la HPMC al 0.3 % para preparar la dispersión formadora de película.

Tabla 4. Parámetros texturales de polisacáridos

	HPMC 0.3%	CMC 0.3%	Pectina 1%
Dureza (N)	112.36	76.98	68.88
Adhesividad (mJ)	0	0.2	0.5

3.1.5. Selección del agente reforzador de textura

En la tabla 5 se muestran los resultados para el análisis de perfil de textura llevadas a cabo a pepino inmerso en las dos soluciones propuestas, no encontrándose diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos ($\alpha = 0.05$) para el lactato de calcio y el cloruro de calcio empleados en las pruebas. Puesto que el polisacárido seleccionado fue el HPMC, se procedió a tratar ver el comportamiento del tratamiento con calcio y el HPMC. En la tabla 6, se especifica el comportamiento del pepino mostrándose que el pepino con lactato de calcio/HPCM presentó mayor dureza por lo que considerando los aspectos visuales y los resultados se seleccionó el lactato para llevar a cabo el tratamiento de pepino fresco cortado.

Tabla 5. Dureza de modificadores de textura

	Lactato calcio	Cloruro calcio
Dureza	127.65	126.89

Tabla 6. Propiedades texturales de HPMC y HPMC con modificador de textura

	HPMC 0.3%	HPMC-Lc
Dureza	112.36	140.22
Adhesividad	0	0

3.2. Resultados experimentales

3.2.1. Cambios de O₂ y CO₂ en el espacio libre de cabeza

En la figura 21 se observa el gráfico en la concentración de oxígeno para los 6 lotes, incluido el lote control. El análisis de varianza con $\alpha = 0.05$, mostró que existió diferencia estadísticamente significativa entre los lotes de tratamiento y los días de almacenamiento, sin embargo, la prueba de Tukey para diferenciación de medias en relación al comportamiento de los lotes mostró que las medias de los tratamientos HPMC, y 4.5 kJ/m² tuvieron un comportamiento similar no existiendo diferencias estadísticamente significativas, para los lotes 4.5 kJ/m², HPMC, control y 200 mg de nanocápsulas con o sin tratamiento con UV-C mostraron un comportamiento similar de disminución paulatina en relación al oxígeno presente en el espacio libre de cabeza durante el almacenamiento refrigerado del producto. Las muestras tratadas con 2.2 kJ/m² y que contenían 100 mg de nanocápsulas de aceite esencial de limón, fueron las que mostraron un comportamiento diferente exhibiendo una concentración constante de oxígeno durante el almacenamiento.

Al comparar el comportamiento en función al tiempo mediante un ANOVA y posteriormente un análisis de medias de los tratamientos, fue posible establecer que conforme transcurre el tiempo de almacenamiento disminuye la concentración de oxígeno, debido principalmente a la absorción de este gas por el alimento con la finalidad de lograr mantener sus funciones metabólicas. Las muestras control fueron las que disminuyeron en mayor medida la concentración de O₂ a partir del noveno día de almacenamiento. La tendencia de una disminución lenta del oxígeno presente también es relacionada con el uso de un envase poco permeable que permite la acumulación temporal del gas en el espacio libre de cabeza el cual es liberado poco a poco mientras el envase permanezca cerrado.

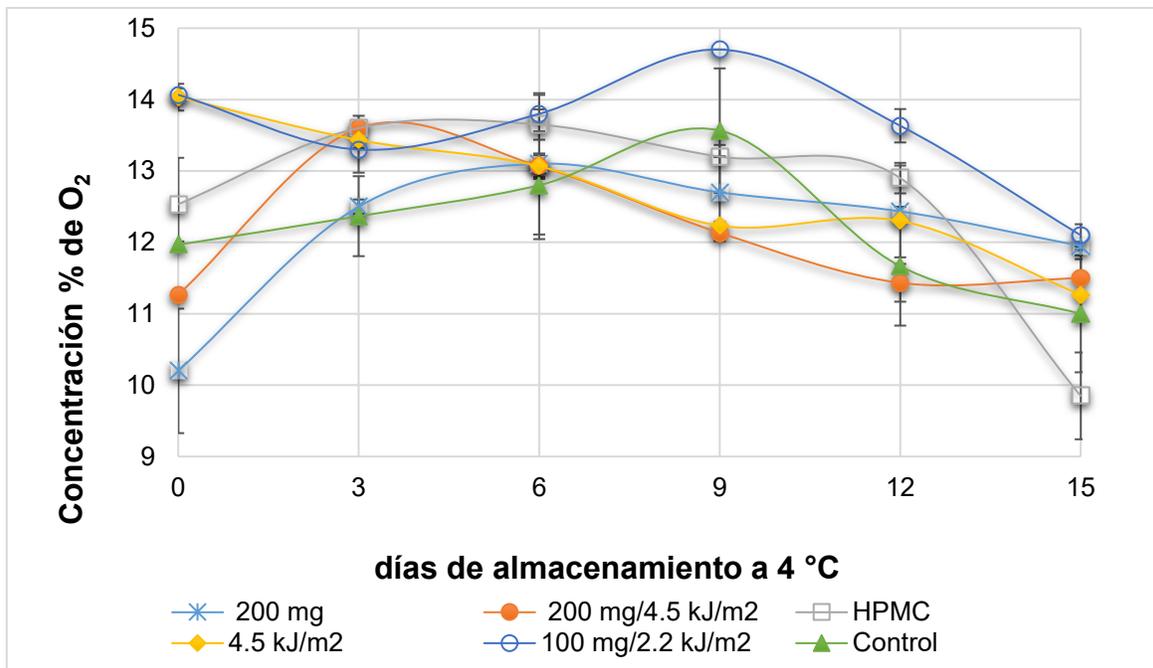


Figura 21. Comportamiento del oxígeno presente por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C, los mg hacen referencia a la concentración de aceite esencial de limón nanoencapsulado; los kJ/m² representan la emisión de luz UV-C recibida en la superficie del producto durante el tratamiento.

En la figura 22, se muestran los cambios en la producción de CO₂ durante el almacenamiento refrigerado de pepino fresco cortado, mostrando que existió diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y un comportamiento de aumento generalizado para los tratamientos y el lote control, siendo evidente a partir del noveno día de almacenamiento alcanzado valores de entre 3 y 13 % de concentración tras dos semanas en refrigeración.

Hoy en día el uso de CO₂ y O₂ en la modificación de la atmósfera al interior de un envase son utilizados como un método práctico y favorable en la conservación de productos mínimamente procesados (Meneses et al., 2008). Cuando un producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto permitiendo la acumulación de gases y la permeación de los gases a través de la película plástica del envase, por lo que tanto el alimento como el envase

participan en la formación de una atmósfera adecuada que conservará o acelerará la degradación del alimento en su interior (Meneses et al., 2008).

Al interior del envase, la velocidad de consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono cuando se requiere la modificación atmosférica, debe ser acompañada con un buen intercambio gaseoso de la película plástica del envase que contiene al producto, por lo que es posible tener una atmósfera modificada adecuada para el alimento cuando además de la utilización de gases se presenta un envase adecuado que permee lo necesario para alcanzar un equilibrio. El equilibrio se logra después de determinado tiempo dependiendo de los requerimientos únicos del producto vegetal, durante estos procesos, el CO₂ actúa benéficamente retardando la fase lag del crecimiento microbiano, aunque éste efecto depende de la temperatura y concentración de dicho gas (Al-Ati y Hotchkiss, 2002; Rodríguez-Félix et al., 2005; Caleb et al., 2012).

Algunos investigadores coinciden en que la acumulación excesiva de CO₂ genera daño en la membrana celular y en la fisiología del alimento vegetal, ocasionando pérdida de firmeza y permitiendo la acción de enzimas que degradan el producto, (Kader, 1986; Yahia, 2006; Sandhya, 2010), por lo que el almacenamiento de pepino fresco sin modificación atmosférica promueve el aumento y acumulación de dióxido de carbono provocando una evidente disminución en la calidad sensorial del pepino.

La atmósfera modificada generada en el almacenamiento de los pepinos actúa principalmente en contra de la conservación del fruto al no poseer las concentraciones reportadas con valores efectivos en una relación de 3.5% para CO₂ y O₂ con posibles variaciones del hasta 3 % para ambos gases (Meneses et al., 2008) pero nunca tan elevado como lo experimentaron los pepinos en su almacenamiento por lo que se propició el efecto inverso, acelerando la descomposición del alimento.

El lote control y aquel únicamente recubierto con HPMC fueron los que mostraron el mayor incremento en la concentración de este gas a lo largo del almacenamiento, alcanzando valores de hasta 13% en su concentración tras las dos semanas de almacenamiento.

De acuerdo con Rojas-Graü et al., (2008) el empleo de polisacáridos con sustancias antioxidantes tiende a generar una atmósfera modificada reforzada en el perímetro próximo del fruto cortado la cual puede prevenir el daño por aumento de la concentración de gases e incluso favorecer la conservación del alimento como aquellos pepinos tratados con nanocápsulas a una concentración de 200 mg de aceite esencial de limón con y sin tratamiento de luz ultravioleta los cuales presentaron la menor acumulación de CO₂ con valores de 3.5% tras las dos semanas de almacenamiento, valor que corresponde a los recomendados al generarse una atmósfera modificada que impactó positivamente la conservación de los pepinos.

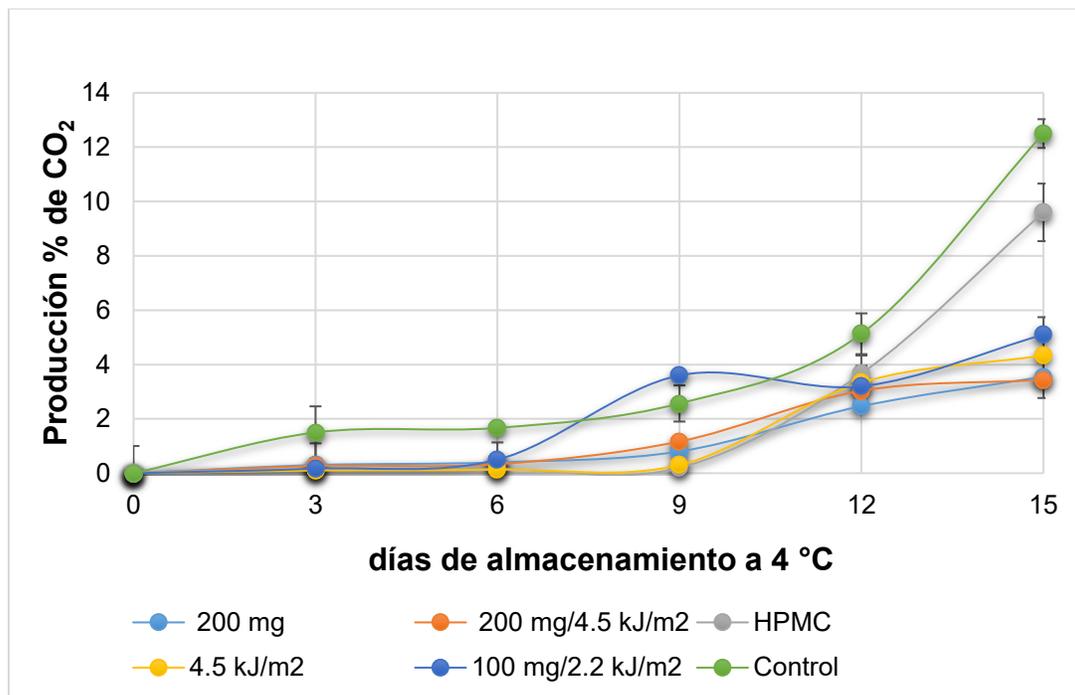


Figura 22. Comportamiento en la concentración de CO₂ por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C, los mg hacen referencia a la concentración de aceite esencial de limón nanoencapsulado; los kJ/m² representan la emisión de luz UV-C recibida en la superficie del producto durante el tratamiento.

3.2.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso en el almacenamiento de frutas a bajas temperaturas, suele ser un problema importante, la temperatura y humedad relativa ejercen una fuerte influencia sobre la conservación de alimentos almacenados en frío. La pérdida de peso por evaporación ocurre con frecuencia en alimentos almacenados en frío sin alguna barrera que permee la humedad y contrarreste las altas velocidades de circulación del aire (Catalá, 2009).

Los problemas en el almacenamiento a bajas temperaturas de productos frescos comprometen de la misma forma la calidad de los mismos por lo que hoy en día para los alimentos mínimamente procesados se utilizan envases que encapsulen al alimento. Los dos tipos de envases más utilizados son los preformados y los que se forman, llenan y sellan (*form-fill-seal*). Un factor importante en la elección del material de envase es su permeabilidad, ya que éste determinará cómo se modificará la atmósfera en el interior del envase.

Cuando un alimento es envasado y refrigerado, existe un tiempo crítico de adecuación a las condiciones de la cámara de refrigeración, así como fluctuaciones de temperatura, humedad relativa del aire y permeabilidad de la membrana en los alimentos lo cual contribuyen para alcanzar el equilibrio necesario durante el almacenamiento (FAO, 2003).

Hoy en día las pérdidas de peso en productos frescos almacenados a bajas temperaturas provocan disminuciones en porcentaje del 5-10% para hojas frescas, 2-5% para frutos y hortalizas con cortezas permeables y del 1-2 % para alimentos envasados o dotados de cortezas gruesas e impermeables (Zhang et al., 2015)

La utilización de un envase poco permeable y el control adecuado de la temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento de los pepinos mínimamente procesados, permitieron la obtención de porcentajes de pérdida de peso inferiores al 1 % lo cual no comprometió la calidad de los pepinos como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de pérdida de peso

Lote	Días de almacenamiento					
	0	3	6	9	12	15
Nanocápsulas 200 mg	0 ± 0.0	0.52 ± 0.13	0.3 ± 0.08	0.14 ± 0.01	0.44 ± 0.12	0.37 ± 0.12
Nanocápsulas 200 mg / 4.5 kJ/m ² UV-C	0 ± 0.0	0.31 ± 0.10	0.18 ± 0.02	0.16 ± 0.04	0.16 ± 0.05	0.25 ± 0.08
HPMC	0 ± 0.0	0.07 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.21 ± 0.08	0.16 ± 0.04
kJ/m ² UV-C	0 ± 0.0	0.04 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.5 ± 0.14	0.09 ± 0.01	0.64 ± 0.14
Nanocápsulas 100mg/ 2.2 kJ/m ² UV-C	0 ± 0.0	0.16 ± 0.05	0.68 ± 0.1	0 ± 0.0	0.04 ± 0.01	0.46 ± 0.18
CONTROL	0 ± 0.0	0.37 ± 0.11	0.02 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.11 ± 0.04	0.54 ± 0.12

3.2.3. Cambios de color

En el análisis del color de los frutos se han utilizado criterios desarrollados por la *Commission Internationale d'Eclairage* (Comisión Internacional de la Iluminación) la cual destinó en éste modelo cromático tres parámetros que determinan aquello que el ojo humano puede detectar.

El cambio de color es uno de los parámetros más importantes en fruta fresca cortada durante su almacenamiento, el cual afecta directamente la percepción de la calidad en los consumidores (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005). Los cambios de color en las frutas se pueden asociar a múltiples factores desde la maduración, concentración de sólidos y actividad microbiana y enzimática. (González-Aguilar et al., 2004).

3.2.3.1. Luminosidad

L*, es considerada la luminosidad expresada en que tanto rendimiento de negro o blanco existe en un color relacionándose con la capacidad de refracción de la luz de un cuerpo, también es definida como la cantidad de luz emitida o reflejada por

un objeto representando su claridad u oscuridad y en propiedades fotométricas también es definida como el flujo luminoso que atraviesa una superficie (Rettig et al., 2014).

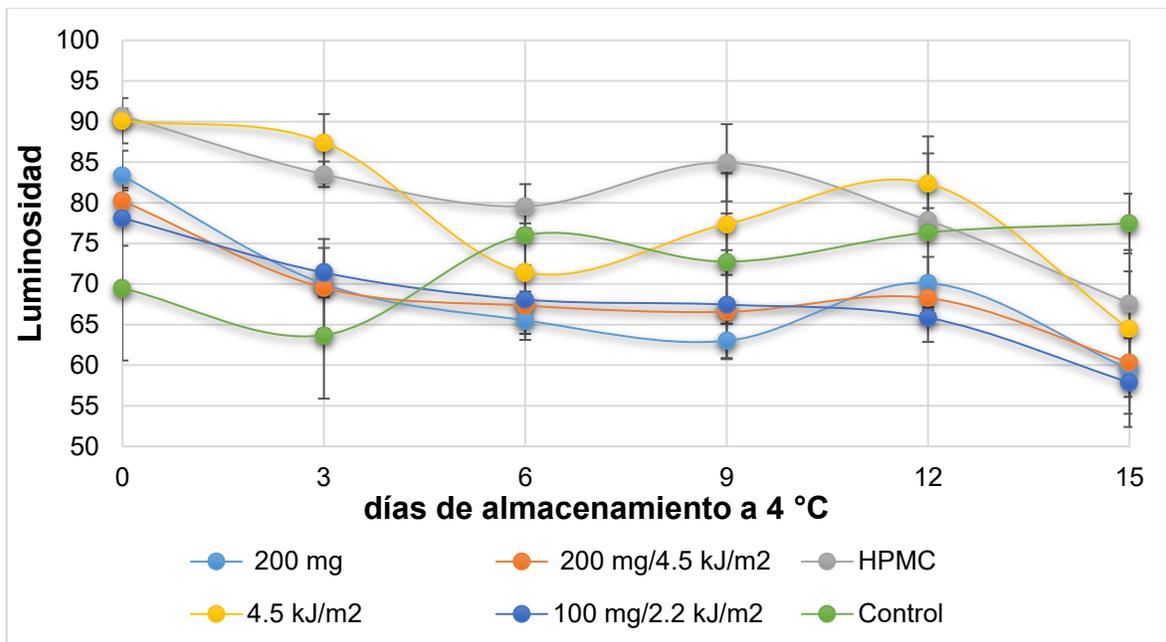


Figura 23. Comportamiento de la luminosidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C

Como muestra la figura 23, existe diferencia significativa entre los tratamientos utilizados respecto a la luminosidad durante el almacenamiento de los pepinos, existiendo un comportamiento evidente de disminución en la luminosidad de manera generalizada, ya que en alimentos de la cuarta gama este efecto se describe a razón del incremento de actividad enzimática la cual ocasiona oscurecimiento que se incrementa al paso del tiempo y por ende intervienen con la cantidad de luz reflejada al ser un alimento más oscuro (González-Aguilar et al., 2004).

Los tres tratamientos con nanocápsulas de aceite esencial de limón exhibieron un comportamiento similar entre sí con una tendencia de disminución paulatina en la luminosidad considerando valores de 80 hasta 60, al comparar los valores con los obtenidos en el tratamiento de los pepinos recubiertos únicamente con HPMC, los valores de luminosidad son mayores indicando que la concentración de

nanocápsulas interviene en la modificación de la blancura o claridad debido a la luz reflejada en función a los sólidos concentrados en el recubrimiento.

Para el tratamiento con luz ultravioleta a 4.5 kJ/m^2 no existió una tendencia en el comportamiento de la luminosidad al exhibirse una disminución seguida de un aumento de la misma tras el sexto día de almacenamiento y una disminución al finalizar las dos semanas de almacenamiento, atribuido esto a la ruptura celular y descomposición del tejido provocando variaciones en la refracción de la luz por efecto de los cambios internos. Artés-Hernández et al., (2010) mencionaron que cubos de sandía mínimamente procesada tratados con irradiación UV-C ($1.6 - 7.2 \text{ kJ/m}^2$) denotaron mayores valores de luminosidad a partir 11 días de almacenamiento a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ tras la disminución de la misma al inicio del almacenamiento.

Manzocco et al., (2011) indicaron que rodajas de manzana mínimamente procesada tratadas con irradiación UV-C ($1.2 - 24.0 \text{ kJ/m}^2$) tuvieron mayores valores de luminosidad a partir de los 15 días de almacenamiento a $6 \text{ }^\circ\text{C}$. Por lo que el aumento de dicha variable para el tratamiento con luz ultravioleta corresponde con lo reportado en alimentos irradiados y almacenados a bajas temperaturas. De acuerdo a lo anterior es notable que el comportamiento de la luminosidad con respecto al tiempo de almacenamiento se modifica considerando únicamente que existe una tendencia al disminuir la misma tras los primeros días y posteriormente elevarse.

Los tratamientos mostraron una tendencia similar al finalizar las dos semanas de almacenamiento en el comportamiento de la luminosidad, sin embargo, el lote control presentó un ligero aumento mostrando valores de los 70 hasta su valor máximo de 77. De acuerdo a investigaciones, el comportamiento de la luminosidad para productos frescos disminuye en mayor medida que aquellos productos tratados con luz ultravioleta, recubrimientos nanoencapsulados o atmósferas modificadas; las variaciones en la luminosidad pueden verse modificadas por factores como la velocidad de difusión de agua y solutos a través de las membranas del fruto, cambios en la permeabilidad y diferencias de presión osmótica al interior del envase

(Montero et al., 2008). El aumento en la luminosidad del lote control es justificado también por la apariencia y condición de las muestras al finalizar el almacenamiento, su tamaño y forma se habían modificado por la pérdida de tejido a causa de la degradación por lo que, al ser atravesadas por un haz de luz para medir la luminosidad, la variación entre volúmenes permitía una relación de aumento al permitir que un mayor flujo luminoso atravesara su superficie al ser menos densa.

3.2.3.2. Ángulo tono

La figura 24, muestra la esfera de cromaticidad correspondiente a los cambios en ángulo de tono. Los valores expresados en grados corresponden a la tonalidad del cuerpo analizado los cuales se presentan desde 0°(rojo), 30° (rojo-naranja), 60°(amarillo), 90° (amarillo-verde), 120°(verde), 150° (turquesa), 180° (cyan), 210° (azul cobalto), 240° (azul), 270°(violeta), 300° (magenta) y 330° (carmesí) (CIE, 1931).

Con este tipo de gráficos es posible ubicar cual es la modificación de color que tiene el producto con respecto al tiempo de almacenamiento o por efecto del pelado cortado y almacenamiento refrigerado.

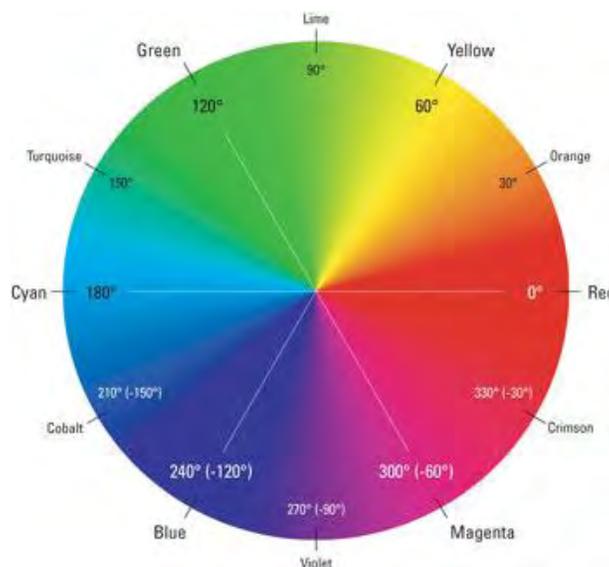


Figura 24. Esfera de cromaticidad

El ángulo de tono, permite diferenciar el color preciso de la muestra analizada, en la figura 25, se muestra el comportamiento del ángulo de tono en función a los tratamientos realizados al pepino fresco cortado.

Para los tratamientos con una concentración de 200mg/L de aceite esencial de limón nanoencapsulado con y sin tratamiento de luz ultravioleta, no existió diferencia estadísticamente significativa en los datos obtenidos los cuales disminuyeron paulatinamente a lo largo del almacenamiento con valores que van de los 100° hasta los 95° exhibiendo matices amarillo-verde tendiendo ligeramente a amarillo, aunque característico de el pepino fresco cortado por lo que su ligera modificación se justifica de la variación del color característico del pepino entre muestras, la tonalidad de los pepinos se vio favorecida para estos tratamientos al conservar dicha característica a lo largo del almacenamiento

Para el tratamiento con HPMC como recubrimiento, existió un ligero aumento en el ángulo de tono de los pepinos y posteriormente una disminución del mismo. Así mismo con el tratamiento de 100mg/L de nanocápsulas de aceite esencial de limón e irradiación ultravioleta, ya que presentó la misma tendencia al existir un ligero aumento del matiz hacia las tonalidades verdes desde el inicio del almacenamiento hasta el sexto día, seguido de una disminución hasta valores cercanos a los iniciales.

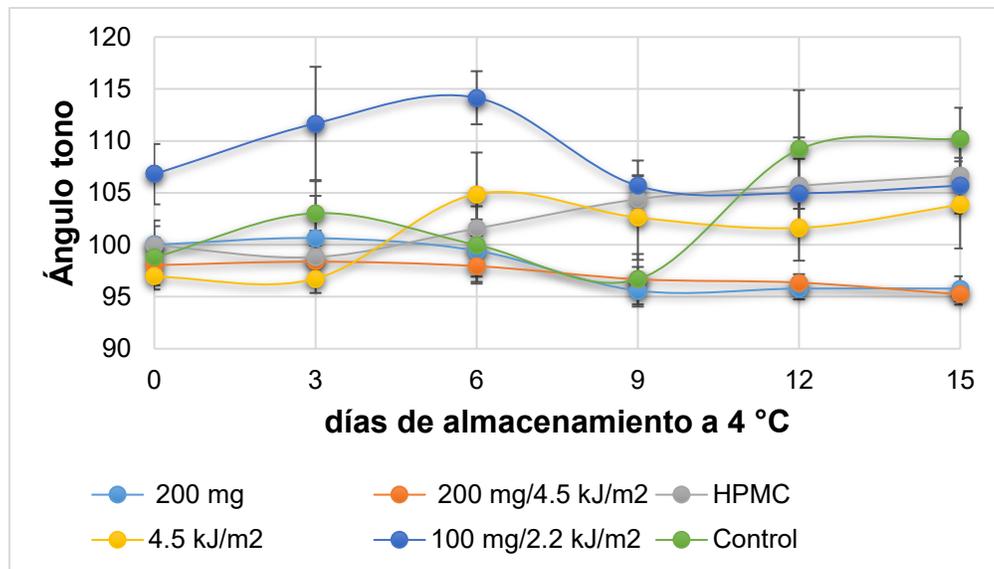


Figura 25. Comportamiento en el ángulo de tono por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C

El tratamiento de 4.5 kJ/m² presentó un incremento del 8.3 % en el ángulo de tono hasta el sexto día de almacenamiento, no desarrollando cambio de tono aparente hasta finalizar los 15 días de almacenamiento, para el lote control existió una variación notable en los valores obtenidos al disminuir el ángulo tono durante los primeros nueve días de almacenamiento, comportamiento que se justifica de acuerdo a las investigaciones en frutos no climatéricos por acción del etileno al degradarse la clorofila y comúnmente llamado desverdecimiento, sin embargo para los últimos 2 muestreos en los días 12 y 15 el valor del ángulo tono se elevó drásticamente contrastando con los valores de luminosidad los cuales también se modificaron de esta forma para los muestreos finales, por lo que la condición de las muestras posiblemente modificó la tendencia al ser muestras muy reblandecidas y no uniformes por la avanzada descomposición de las mismas.

De acuerdo a Erkan et al., (2001) se irradiaron calabazas zucchini con el fin de conocer el efecto de la irradiación sobre los atributos sensoriales de las mismas. No se observó ningún cambio inmediatamente, pero tras el almacenamiento de una

semana en refrigeración se observaron cambios de coloración que atribuyeron a la luz ultravioleta.

Pombo et al en el 2011, estudiaron el efecto en la inhibición enzimática de luz ultravioleta sobre piña y fresa, durante la investigación determinaron que los atributos sensoriales como el color, se modifican por cientos de factores propios del fruto por lo cual concluyeron que el determinante para la modificación de las características sensoriales es la naturaleza del alimento.

3.2.3.3. Cromaticidad

El parámetro croma, indica el grado de saturación del tono o intensidad del mismo en la superficie analizada (McGuire, 1992). En la figura 26, se muestra el comportamiento de la cromaticidad, referentes a los cambios en la intensidad de color en pepino fresco cortado.

De acuerdo con lo mostrado en la figura 26, existió diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos aplicados a los pepinos, con un comportamiento similar al exhibir un aumento en el valor de cromaticidad tras el noveno día y exhibir una ligera disminución en los valores hasta finalizar las dos semanas de almacenamiento. Para los últimos 3 muestreos, es decir, de los días 9-15 los envases con los pepinos presentaban el drenado de líquido del fruto por lo que cuando los alimentos sufren la deshidratación paulatina o pérdida de líquidos, estos tienden a observarse de un color característico más intenso debido a la concentración de solutos en el alimento por la pérdida de humedad, así mismo la pérdida de intensidad en los colores de frutos pelados o cortados puede atribuirse a al pardeamiento enzimático a razón del tiempo de almacenamiento, oscureciendo el fruto y presentándose menos brillante o colorido(González-Aguilar et al., 2001).

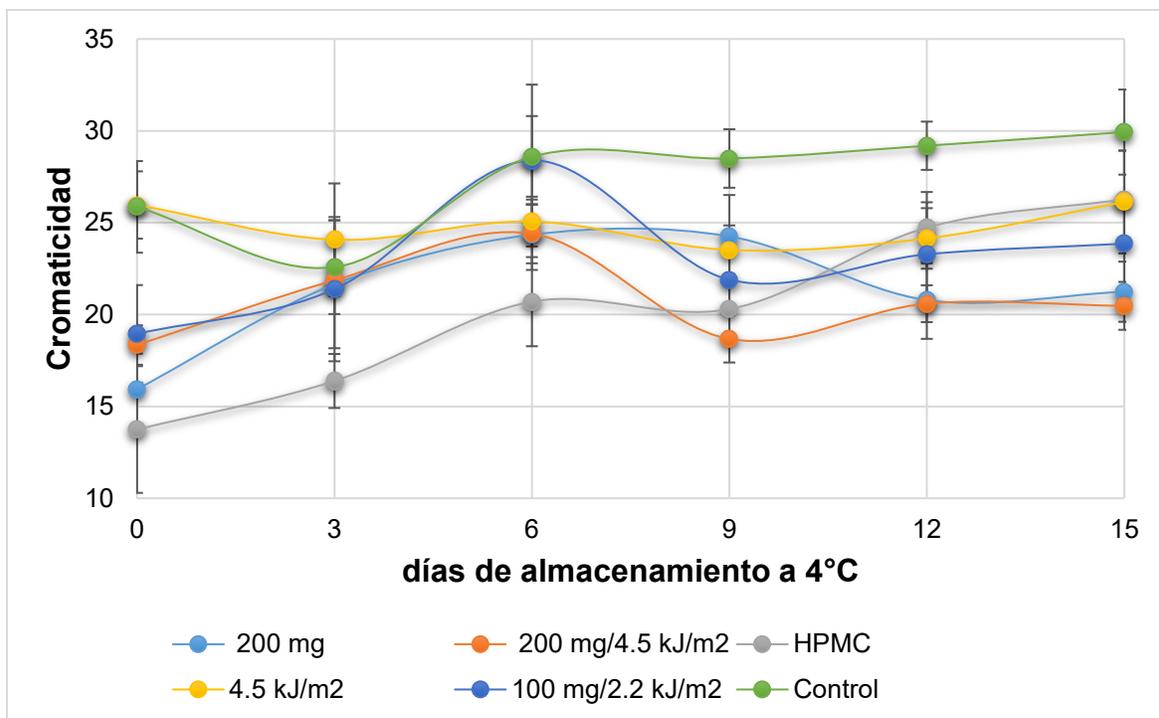


Figura 26. Comportamiento en cromaticidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C.

El tratamiento de radiación con luz ultravioleta a 4.5 kJ/m² se mantuvo constante en contraste con el resto de los tratamientos a lo largo del almacenamiento modificando un par de unidades la intensidad del color durante las dos semanas de monitoreo.

Lemoine et al., (2010) determinaron el efecto de la luz ultravioleta sobre brócoli fresco y tras el monitoreo correspondiente en su almacenamiento, concluyeron que esta tecnología puede reducir la senescencia y pardeamiento enzimático por acción de la radiación y por lo tanto ayudar a mantener íntegros y constantes los atributos sensoriales propios del alimento.

3.2.3.4. Índice de Oscurecimiento

El índice de oscurecimiento representa la pureza del color marrón sobre colores previos analizados en un alimento y se ha reportado como un importante parámetro en procesos donde el oscurecimiento enzimático y no enzimático tiene lugar (Palou et al., 1999).

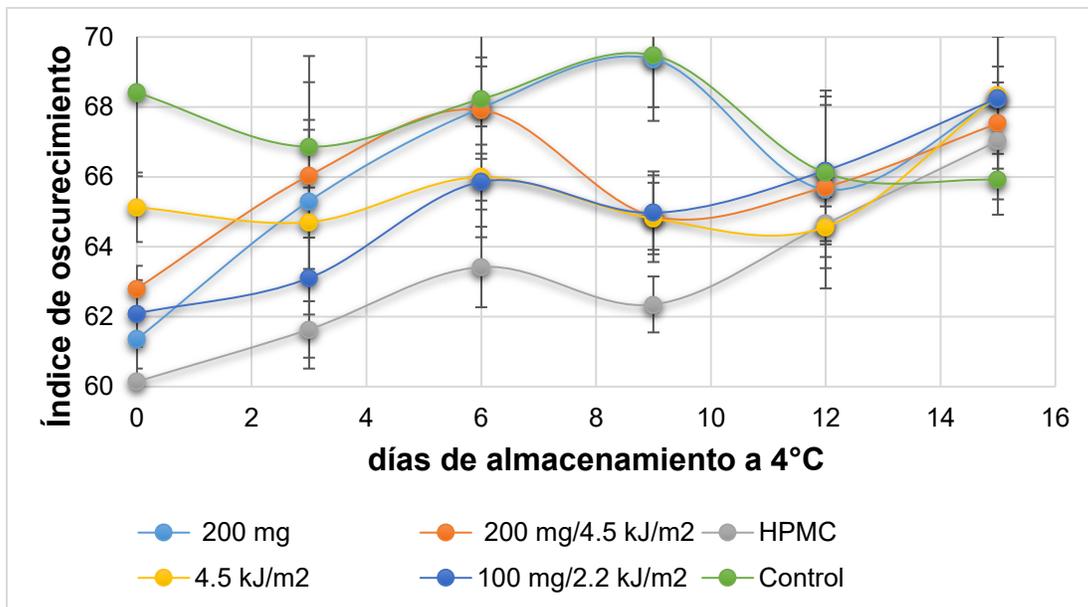


Figura 27. Comportamiento del índice de oscurecimiento por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C.

El comportamiento del índice de oscurecimiento denotó variaciones para los diferentes tratamientos tras las dos semanas de almacenamiento, Aquino-Bolaños, (2004) evaluó las posibles causas en el oscurecimiento de frutos y hortalizas y determinó que durante el almacenamiento de un fruto u hortaliza mínimamente procesado deben existir etapas de aumento o disminución del índice de oscurecimiento, inicialmente a la presencia de ligninas sintetizadas como proceso natural de reparación del tejido natural y posteriormente a la acción enzimática.

Para los lotes nanoencapsulados e irradiados, se exhibió un comportamiento similar al existir un aumento paulatino durante el almacenamiento, a diferencia del comportamiento únicamente con nanocápsulas el cual exhibió un evidente aumento para el noveno día de almacenamiento seguido de su disminución y aumento tras el mismo. El lote correspondiente a la mayor irradiación, presentó un aumento en el oscurecimiento tras el doceavo día de almacenamiento, de acuerdo a Mercado Silva (2004), el oscurecimiento en frutos se debe principalmente a las reacciones enzimáticas por lo que la luz UV-C en dicha concentración permitió retardar la

actividad enzimática permitiendo conservar las características sensoriales del pepino durante más tiempo.

Los valores de oscurecimiento en el pepino se contrastaron con los parámetros de luminosidad, el cuál presenta el comportamiento opuesto a dicha variable en donde la disminución de la luminosidad en el fruto es representa por lo tanto en el aumento del índice de oscurecimiento como medida de la pérdida de claridad del fruto exhibiendo por lo tanto tonalidades opacas y más oscuras.

3.2.4. Evaluación de sólidos solubles

La tabla 9, describe el comportamiento de los diferentes tratamientos aplicados a los pepinos sobre los cambios en los sólidos solubles del fruto correspondiendo a lo mencionado por Cortes et al., (2011) reportando un valor medio de 3.3 °Bx en pepino fresco almacenado hasta tres semanas. Los pepinos son frutos no climatéricos que se caracterizan por presentar valores bajos de °Bx una vez recolectados (Musmade y Desai, 1998).

No existió diferencia significativa entre los tratamientos y el contenido de sólidos solubles durante las dos semanas de almacenamiento, sin embargo, los tratamientos exhibieron un comportamiento específico de acuerdo a los resultados obtenidos. Los tratamientos con nanocápsulas irradiados y sin irradiación UV-C, presentaron un ligero aumento en la concentración de sólidos solubles en los pepinos analizados. Para el tratamiento con HPMC se observó una ligera disminución en el valor de la concentración de sólidos solubles, aunque no tan drástica como lo sucedido para el lote control y los pepinos irradiados con luz ultravioleta a 4.5 kJ/m² los cuales presentaron las mayores variaciones de dicho parámetro.

El cambio de los sólidos solubles durante el almacenamiento de las frutas mínimamente procesadas suele mostrar una ligera tendencia a elevarse, lo cual

podría estar influenciado por la baja temperatura de almacenamiento (Pan y Zu, 2012).

Kleinhenz et al., (2013) determinaron que la concentración de sólidos solubles debe corresponder al intervalo reportado para cada tipo de alimento, las ligeras variaciones en su concentración se deben a diversas causas entre ellas la distribución de los mismos en toda la extensión del fruto o vegetal, otra de las importantes causas en la variación de los mismos es la concentración de agua que permite la dilución o concentración de los sólidos solubles en el fruto y por último dentro de las causas probables es la disminución de los mismos a razón de la degradación de los azúcares consumidos si el fruto o vegetal es contaminado por microorganismos que utilizan este recurso como alimento.

Tabla 8. Comportamiento de los sólidos solubles por el efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C

LOTE	Días de almacenamiento					
	0	3	6	9	12	15
Nanocápsulas 200mg	2.93±0.32	3.45± 0.11	3.56±0.11	3.43±0.32	3.23±0.20	3.4±0.1
Nanocápsulas 200mg / 4.5 kJ/m ² UVC	2.57±0.21	3.43±0.25	3.43±0.15	3.4±0.26	3.23±0.15	3.06±0.30
Únicamente recubrimiento polimérico HPMC	3.4±0.2	3.33±0.05	3.23±0.05	3.83±0.28	3.26±0.41	3±0.1
4.5 kJ/m ² UVC	3.4±0.10	3.6±0.3	3.4±0.45	3.83±0.15	3.6±0.3	2.73±0.35
Nanocápsulas 100mg/ 2.2 kJ/m ² UVC	3.16±0.20	2.96±0.05	3.23±0.05	2.83±0.25	3.3±0.17	2.8±0.1
Control	3.33±0.31	3.27±0.15	3.16±0.15	3.13±0.15	3.16±0.05	2.86±0.05

3.2.5. Evaluación del pH

El pH es en el caso en frutos un parámetro muy importante que impacta en la calidad final del producto, siendo el principal factor que influye en la composición de su

micro flora y determinante para controlar el crecimiento bacteriano, debido a que la mayoría de las levaduras y mohos crecen en condiciones ácidas.

En la figura 28, se muestran los cambios de pH de pepino fresco cortado durante el tiempo de almacenamiento refrigerado en relación al tratamiento realizado al producto previo a la refrigeración.

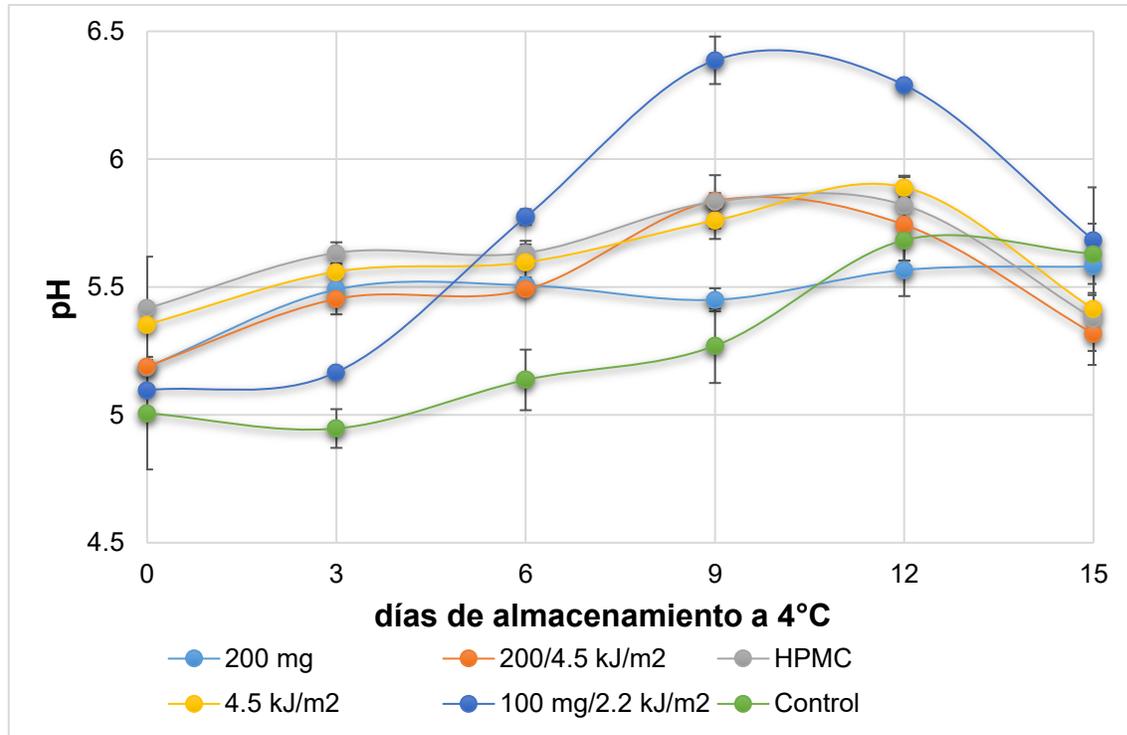


Figura 28. Comportamiento de pH por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C, los mg representan la cantidad de aceite de limón nanoencapsulados y kJ/m² la dosis de UV-C empleada.

Para los diferentes tratamientos, existió una tendencia en el comportamiento de los cambios de pH a lo largo del almacenamiento de los pepinos exhibiendo un aumento al inicio del almacenamiento y hasta el noveno y doceavo día, seguido de una disminución de dicho parámetro excepto para el lote control el cual mantuvo un aumento paulatino de dicho parámetro tras las dos semanas de almacenamiento.

El comportamiento del pH en un vegetal cosechado es determinado por la senescencia natural la cual provoca la liberación de ácidos contenidos en la vacuola de las células vegetales lo cual desencadena el aumento o disminución de este parámetro cuando se presenta la etapa de empobrecimiento de ácidos en el alimento, además la modificación del pH en los frutos también puede deberse a la acción de microorganismos que han proliferado en el alimento así como actividad enzimática que al catalizar diferentes reacciones en el alimento desencadena la liberación de productos que pueden modificar el pH (Corrales-García et al., 2004).

Para los diferentes tratamientos aplicados en los pepinos, el comportamiento presentó una tendencia de elevarse y posteriormente disminuir ligeramente, si bien pudo deberse a la senescencia natural del pepino, la acción de microorganismos como mohos o levaduras que se presentan como microflora natural en las hortalizas y bacterias fermentativas las cuales acidificaran el medio y aquellas putrefactivas que permiten la alcalinización del medio, los cuales pudieron manifestarse a razón de que las condiciones de asepsia durante el envasado no fueron estrictamente adecuadas, y también la posible acción enzimática que permitió la modificación de este parámetro.

3.2.6. Evaluación de los parámetros texturales

3.2.6.1. Cambios en Firmeza por punción

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

La figura 29 muestra el comportamiento de la firmeza durante el almacenamiento refrigerado de pepino, existió un comportamiento similar para los tratamientos y el lote control los cuales tienden a la disminución de la firmeza tras el almacenamiento, al analizar la transformación de dicho parámetro desde su origen, los 6 lotes

presentaban valores similares de firmeza para el inicio del almacenamiento exhibiendo valores de 25 a 29 N.

Al determinar el valor final de la firmeza en los pepinos tratados y correspondiendo a la figura 29, no existe un comportamiento similar en los valores finales exhibiendo una diferencia mayor entre los tratamientos con una variación del 81% entre los valores.

El análisis individual de los tratamientos demuestran que las muestras tratadas con 200 mg de nanocápsulas/4.5 kJ/m² UV-C fueron las que tuvieron un mayor mantenimiento de la firmeza durante el almacenamiento refrigerado seguidas de los lotes igualmente nanoencapsulados, posteriormente aparecen las muestras con la mayor concentración de radiación de 4.5 kJ/m² y por último las muestras únicamente recubiertas y las muestras control las cuales no tenían ningún tipo de tratamiento que fungiera como protección o barrera ante la pérdida de dicho parámetro.

La firmeza, medida como la fuerza de penetración, fue disminuyendo con el paso de los días de almacenamiento para todos los tratamientos en el pepino como se muestra en la figura 29, los cambios de textura en frutas y hortalizas están relacionados a ciertos procesos que ocurren en el fruto, principalmente, la pectina es primero, parcialmente desmetilada por la enzima pectinmetilesterasa y, luego, despolimerizada por la poligalacturasa en ácido poligalacturónico causando la pérdida de firmeza; también está relacionada con la producción de radicales libres como resultado del avance en la senescencia lo cual afecta la pared celular de frutos y hortalizas provocando la pérdida de dicho parámetro (Lin y Zhao, 2007; Pan y Zu, 2012).

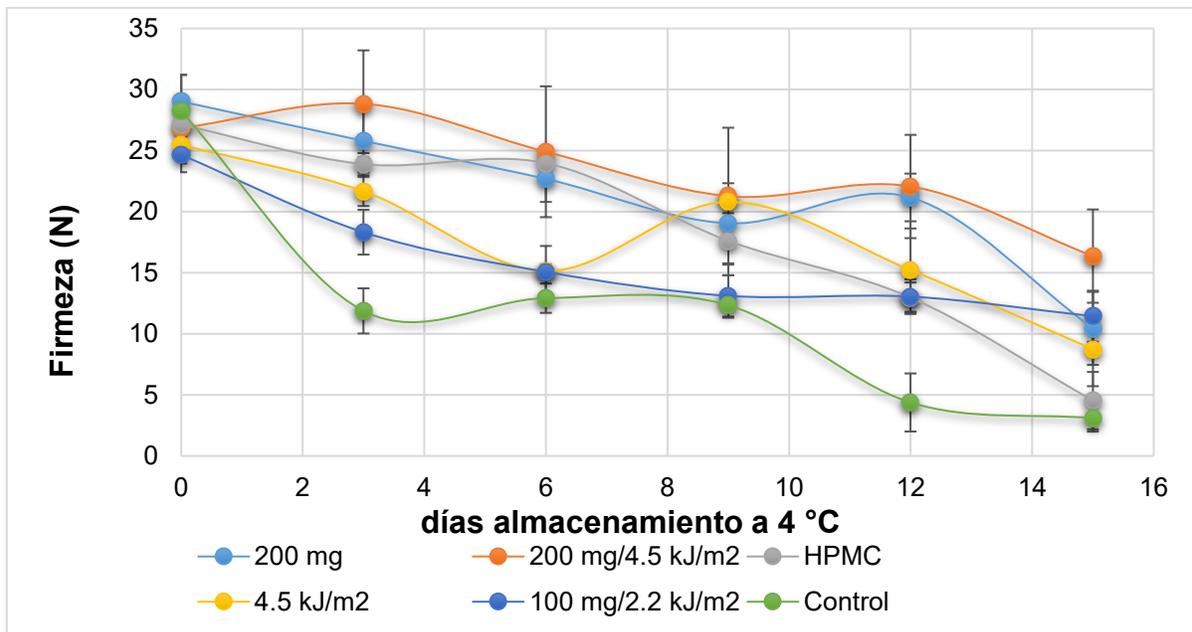


Figura 29. Comportamiento en la firmeza por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C.

La disminución de la firmeza también puede deberse a diversos factores como la actividad enzimática, actividad microbiológica y senescencia natural del fruto debilitando la estructura del pepino a causa de la pérdida de líquido en el interior del alimento y por lo tanto disminuir la fuerza de resistencia en una prueba de punción.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que inicialmente para los lotes adicionados con nanocápsulas y el recubrimiento polimérico, el fruto exhibe una mayor firmeza en comparación con los irradiados con luz ultravioleta y claramente el control. Esto se debe a que la irradiación de luz ultravioleta promueve además de factores benéficos, el posible rompimiento o daño del tejido vegetal a razón de la movilización violenta de las partículas internas al ser excitadas con la irradiación, por lo que exhiben una disminución parcial de la firmeza del fruto (Haro-Beltrán, 2013). En las frutas la firmeza está influenciada por factores estructurales y químicos: los constituyentes bioquímicos de los orgánulos celulares, el contenido de agua y la composición de la pared celular (Márquez et al., 2013).

Por tanto, cualquier agente externo que afecte a uno o varios de estos factores puede modificar la firmeza e inducir cambios que modifiquen la calidad final del producto (Martínez-Romero et al., 2007). Productos mínimamente procesados que mantienen la firmeza y turgencia del tejido son altamente deseables por los consumidores ya que son asociados con la frescura y salubridad; la apariencia de un producto blando puede dar lugar a su rechazo antes de ser consumido (Rico et al., 2007).

3.2.6.2. Análisis de perfil de textura (APT)

a) Cambios de dureza

En la figura 30, se muestran los cambios en dureza (N), relacionados con el primer ciclo de compresión, observándose que los tratamientos con HPMC y 100 mg de aceite esencial de limón nanoencapsulado, no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) en relación a este comportamiento durante los primeros 6 días de almacenamiento, es decir, que el incorporar nanocápsulas a la dispersión de HPMC no produjo mejora en el comportamiento al almacenamiento refrigerado de pepino fresco cortado para el parámetro de dureza, sin embargo, después de transcurridos 9 días la velocidad de cambio en la dureza fue mayor para las muestras que solo fueron tratadas con HPMC, produciéndose un retraso de 3 días en el cambio en este parámetro al final del almacenamiento.

Para el tratamiento de 4.5 kJ/m^2 , durante los primeros 6 días de almacenamiento contribuyó de manera efectiva a mantener la dureza de los pepinos, en cambio tras el sexto día la disminución en la dureza se incrementó considerablemente en la relación de resistencia a la compresión para finalizar las dos semanas de almacenamiento con los menores valores de dureza junto con las muestras control. De acuerdo a Haro & Guerrero (2013), fueron irradiados trozos de brócoli, calabaza, y papa en dosis entre 2 y 10 kJ/m^2 primeramente, obteniendo una mejor integridad del tejido durante los primeros días de almacenamiento, pero tras los mismos presentaron la disminución en la calidad textural. Chisari et al (2011), mencionan

que en la irradiación con luz UV-C de melón fresco cortado, durante la primera semana de almacenamiento en general las características sensoriales se mantuvieron estables, pero tras la misma comenzó un deterioro general el cual lo adjudican a la permanencia de las muestras en irradiación tras el primer minuto, ya que es posible que aceleren o principien la oxidación del fruto y por lo tanto la modificación de las características organolépticas del mismo.

Por otro lado, la figura 30, muestra que los mejores valores obtenidos en el mantenimiento de la dureza fue el uso del tratamiento con nanocápsulas y nanocápsulas con luz ultravioleta en una concentración de 200mg/L que incorporadas a la dispersión con HPMC contribuyeron al mantenimiento de la dureza en el fruto, resaltando que la efectividad se vio un poco limitada al utilizar luz ultravioleta lo cual permite afirmar que la misma provoca la pérdida de textura tras su incidencia y almacenamiento.

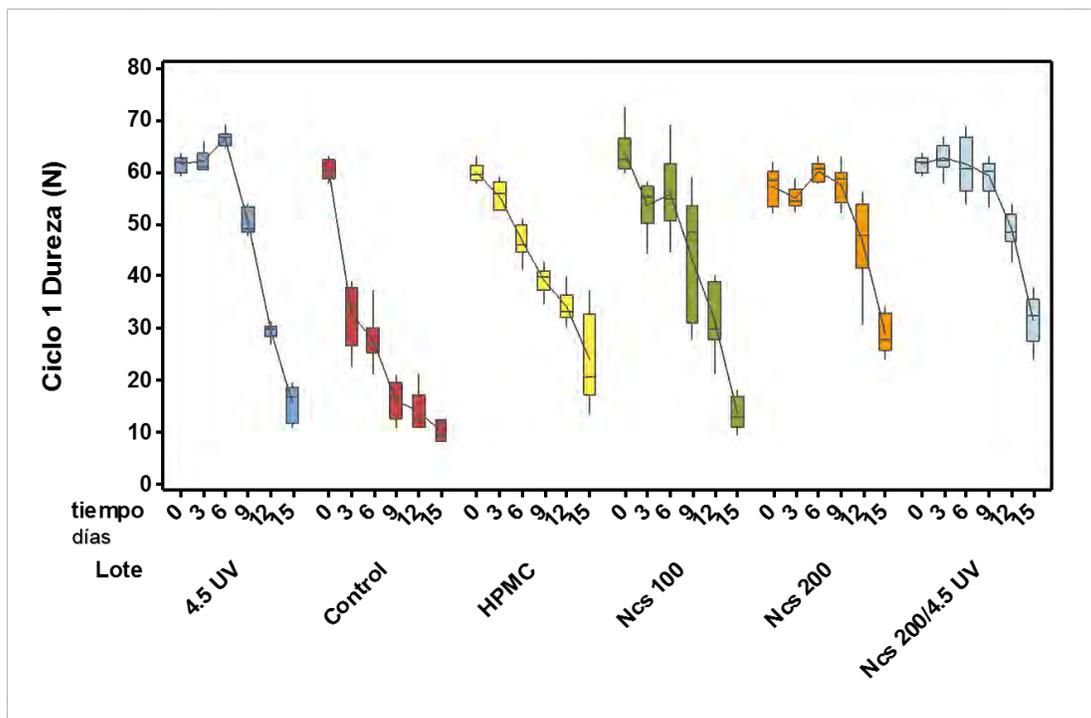


Figura 30. Comportamiento de la dureza en el primer ciclo de compresión por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortados almacenado a 4 °C.

La figura 31, muestra los cambios de dureza en el segundo ciclo de compresión, observándose que las menores variaciones en este parámetro lo presentaron las muestras sometidas a tratamiento de UV-C a 4.5 kJ/m², seguidas por aquellas que solo tenían nanocápsulas de aceite esencial de limón, razón por la que no existió diferencia estadísticamente significativa en relación con las muestras tratadas con UV-C y la misma concentración de nanocápsulas.

Las muestras control junto con las muestras tratadas con HPMC son las que mostraron la mayor pérdida de dureza durante el segundo ciclo de compresión mostrando que las estructuras perdieron su rigidez y por ende fueron menos estables durante el almacenamiento.

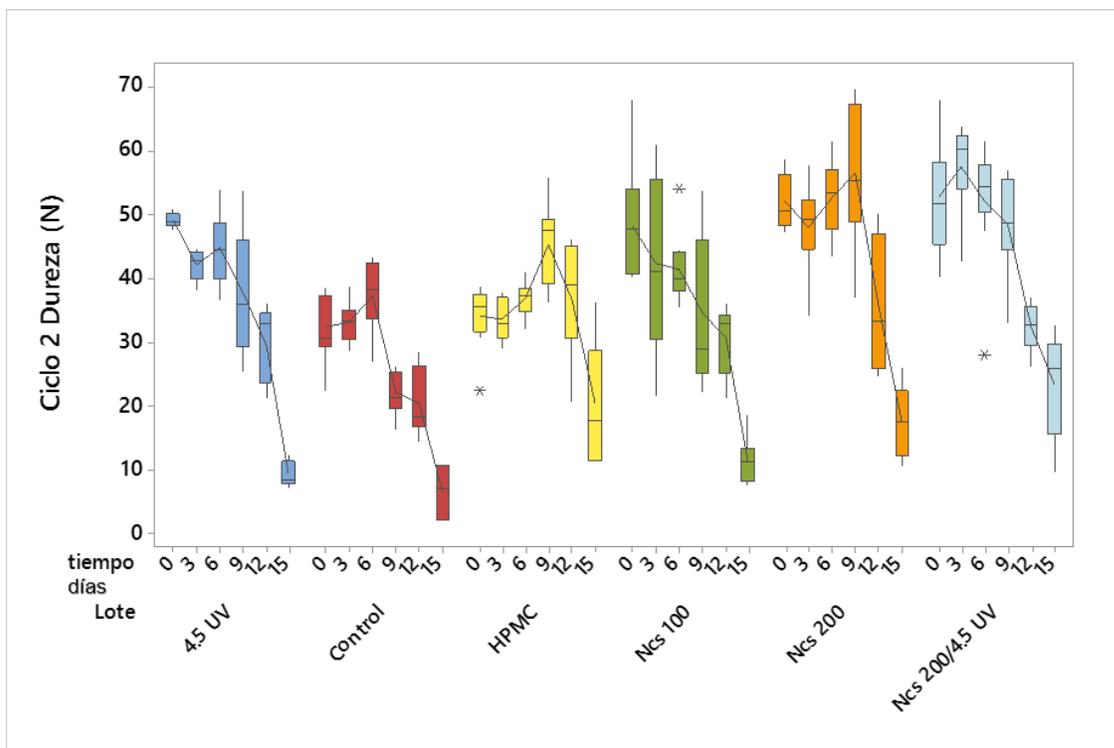


Figura 31. Comportamiento del segundo ciclo de dureza durante en análisis de perfil de textura por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C.

b) Cambios Masticabilidad

La figura 32, muestra el comportamiento de la masticabilidad propiedad que expresa la energía simulada necesaria para masticar un sólido, misma que se define de la relación entre la dureza como la fuerza requerida para comprimir un alimento, cohesividad que indica la habilidad de un sólido a soportar la compresión y elasticidad que determina de acuerdo a la estructura inicial del alimento cuanto se ha deformado tras la compresión (González et al., 2015), por lo cual nos permite relacionar dichos parámetros para considerar el estado en la calidad del fruto en las propiedades texturales del pepino siendo uno de los más importantes atributos considerados por el consumidor, observándose que la diferencia entre los tratamientos no es tan evidente únicamente lo fue para las muestras control que tuvieron la mayor pérdida de masticabilidad, atribuida al reblandecimiento del tejido y por lo tanto destrucción de las paredes celulares ocasionado la pérdida de estructura en el fruto.

De acuerdo a Domínguez et al., (2013), fueron recubiertas calabazas del tipo zucchini con una solución de HPMC y se contabilizaron los cambios texturales a través de un análisis de perfil de textura en el cual se resaltó que la disminución de los valores de dureza correspondían con modificaciones en la masticabilidad de las calabazas obteniendo valores de 150 mJ al inicio del almacenamiento y valores de 25 mJ para el término de 10 días de almacenamiento lo que contrasta los resultados obtenidos en el almacenamiento de pepinos.

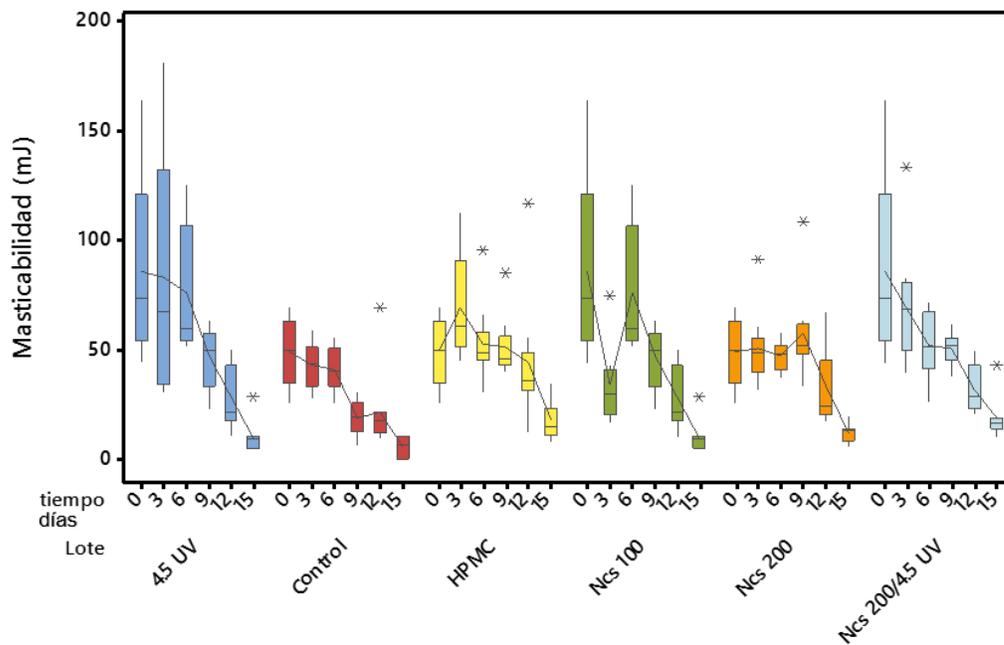


Figura 32. Comportamiento de la masticabilidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4°C

3.2.7. Evaluación del análisis sensorial

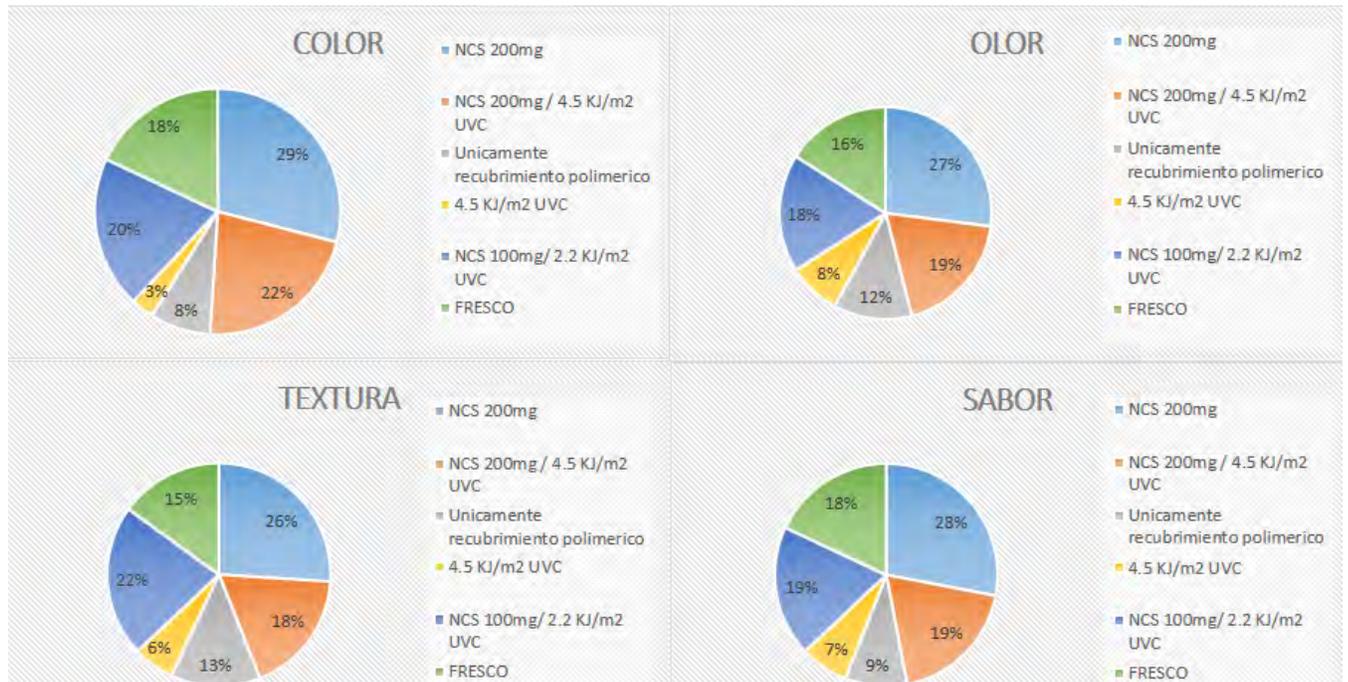


Figura 33. Evaluación análisis sensorial

La calidad sensorial de los pepinos sometidos a diferentes tratamientos es fundamental al considerar que los consumidores se encuentran en la búsqueda de un producto natural que a pesar del tiempo de almacenamiento les provea de aquellas características deseables del pepino considerando su color, olor, textura y sabor; por lo tanto en la evaluación sensorial se calificaron dichos atributos de acuerdo a una escala hedónica de aceptación o rechazo en una muestra poblacional de 10 individuos que se diferenciaban en sexo y edad.

Los resultados de la prueba sensorial exhibieron que las personas evaluadas prefirieron de forma general de acuerdo al color, olor, textura y sabor los pepinos con tratamiento de nanocápsulas con aceite esencial de limón, principalmente ya que el aceite de limón proveía de un sabor fresco y agradable que reducía los signos ligeros de amargura que exhibe el pepino fresco, para su comparación se les presento una muestra del pepino tratado y una muestra de pepino fresco recién pelado y cortado el cual se encontró por debajo de la aceptación de los lotes nanoencapsulados seguido de los pepinos tratados con luz ultravioleta y por último aquellos recubiertos con HPMC.

La mayor aceptación en los pepinos recubiertos con nanocápsulas permiten identificar que las sustancias activas nanoencapsuladas, no solo permiten el mantenimiento de las características propias del fruto, sino que es posible modificar o incrementar las características que hacen deseable a un alimento y por lo tanto lograr una mayor aceptación por los consumidores elevando su mercado.

3.2.8. Ácido ascórbico

La vitamina C o su enantiómero el ácido L-ascórbico, es un nutriente esencial para los mamíferos. La presencia de esta vitamina es requerida para un cierto número de reacciones metabólicas en todos los animales y plantas.

La vitamina C es un donador de electrones (agente reductor o antioxidante), y probablemente todas sus funciones bioquímicas y moleculares pueden deberse a esta función.

Es una vitamina hidrosoluble, y como tal puede perderse por lixiviación. En esta pérdida influye mucho la superficie de contacto, de modo que se pierde con mayor facilidad de los alimentos que más superficie relativa tienen, como los vegetales foliáceos o los alimentos troceados (Paoletti, 1998).

El ácido ascórbico es particularmente sensible a las reacciones de oxidación, destruyéndose con gran facilidad durante el procesado de los alimentos en presencia de oxígeno. La oxidación es dependiente del pH, ya que la forma ionizada es más sensible que la forma no ionizada (Boatella, 2004).

Por su importancia como nutrimento, el ácido ascórbico debe mantenerse en mayor proporción en el alimento, su degradación es inevitable por su labilidad a los cambios de temperatura y exhibición a la luz.

En la figura 33 se muestra el comportamiento del ácido ascórbico durante el almacenamiento refrigerado de pepino fresco cortado sometido a diferentes tratamientos y las muestras control, primeramente, debe resaltarse que la extrema labilidad de esta vitamina no permitió un comportamiento constante para alguno de los tratamientos. Es posible identificar tendencias en los tratamientos, primeramente el lote control fue aquel que disminuyó en mayor medida el contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento atribuido a que dichas muestras no presentaban ningún tipo de barrera o protección ante los agentes que degradan el ácido ascórbico, las muestras únicamente recubiertas con HPMC y las irradiadas 4.5 kJ/m^2 tuvieron inicialmente los menores índices de ácido ascórbico debido a que como el control las muestras recubiertas únicamente con un polímero no exhibieron al pepino de perder contenido de ácido ascórbico, y aquellas irradiadas

minimizaban la concentración de esta vitamina por la incidencia de la luz lo cual afecta de manera permanente el contenido de este compuesto.

Las muestras nanoencapsuladas y aquellas en combinación con 4.5 kJ/m² de irradiación fueron las que mantuvieron en mayor constancia la concentración de ácido ascórbico.

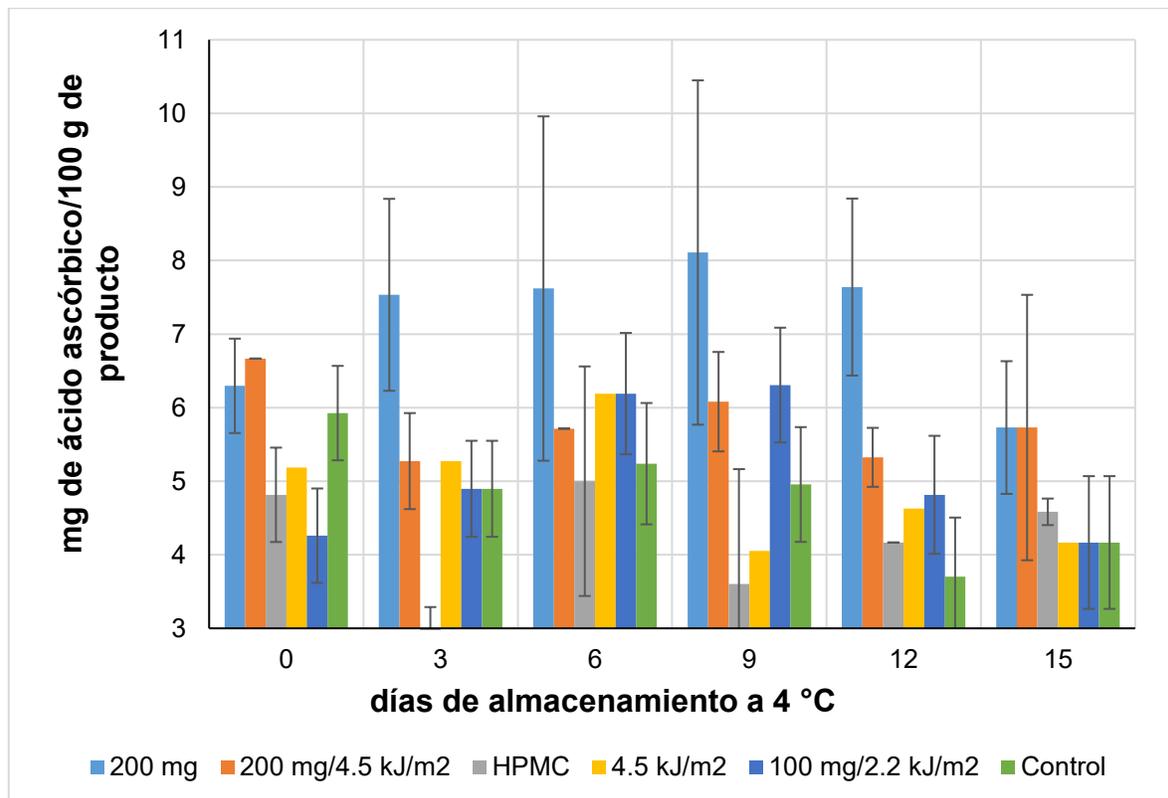


Figura 34. Comportamiento del ácido ascórbico por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C

Un estudio reciente sobre el efecto del tratamiento con irradiación UV-C en jugo de manzana, fue llevado a cabo para conocer la inactivación microbiana y las características fisicoquímicas del jugo tratado (Caminiti et al., 2012). De acuerdo con los resultados el tratamiento no afectó el pH o °Bx y únicamente se presentó la disminución del 8-20 % en la biodisponibilidad de ácido ascórbico considerado

aceptable en comparación con la pérdida de dicho nutriente para los tratamientos usuales con altas temperaturas.

Para el pepino de acuerdo a Hernández-González et al., (2014) se obtuvieron resultados de concentraciones de ácido ascórbico en pepino de 5-15 mg considerando los diferentes estados de madurez en la cosecha. Por lo que los resultados obtenidos se consideran dentro del intervalo mencionado considerándose apropiado para su consumo sin considerar su deterioro por las condiciones y variables experimentales en los distintos tratamientos.

3.2.9. Evaluación de la actividad enzimática de peroxidasas.

La radiación de luz ultravioleta, en dosis bajas ($0.25-8 \text{ kJ/m}^2$) afecta el ADN de los microorganismos a razón de una reacción fotoquímica ocasionada en las bases nitrogenadas del material genético ocasionando enlaces que ocasionan la nula replicación del ADN (Bolton y Cotton, 2001), por esta razón la luz ultravioleta es utilizada hoy en día como un agente germicida. Respecto a las dosis utilizadas, la luz ultravioleta interviene dosis letales y no letales para microorganismos, así como el daño a células vegetales en el caso de alimentos vegetales irradiados al dañar el tejido vegetal y la permeabilidad del mismo (Fredericks et al., 2011).

Hoy en día la luz ultravioleta es también utilizada en la inactivación de enzimas al afectar directamente sobre el material proteico como son las enzimas, las cuales estructuralmente se ven afectadas por un sin número de factores modificando su estructura y por lo tanto inactivando su acción específica (Serpen y Acar, 2005). Las cuales se caracterizan por reducir la calidad de los alimentos promoviendo cambios en las características deseables de los alimentos provocando la aceleración en su descomposición y disminuir de la calidad (González-Aguilar et al., 2007).

En la irradiación de los pepinos se exhibieron dos comportamientos como lo muestra la figura 34, en los lotes con nanocápsulas de 200 mg de aceite de limón y los lotes con la mayor irradiación de luz ultravioleta a 4.5 kJ/m^2 se exhibe una disminución en

la actividad enzimática a partir del tercer día de almacenamiento y desde valores de 1.6 Uabs/min hasta 0.4 Uabs/min, posteriormente para los días 12-15 existieron variaciones en el comportamiento de la actividad enzimática.

De acuerdo a Chisari et al., (2011), al ser irradiado melón fresco cortado con 5 tratamientos de irradiación el más efectivo en la disminución de la actividad enzimática fue el tratamiento con 4.8 kJ/m² el cual logró reducir la actividad enzimática hasta 0.2 Uabs/min siendo éste un valor cercano al obtenido con la mayor concentración de irradiación para el pepino y la mayor concentración aceite de limón en las nanocápsulas limitando la reacción enzimática.

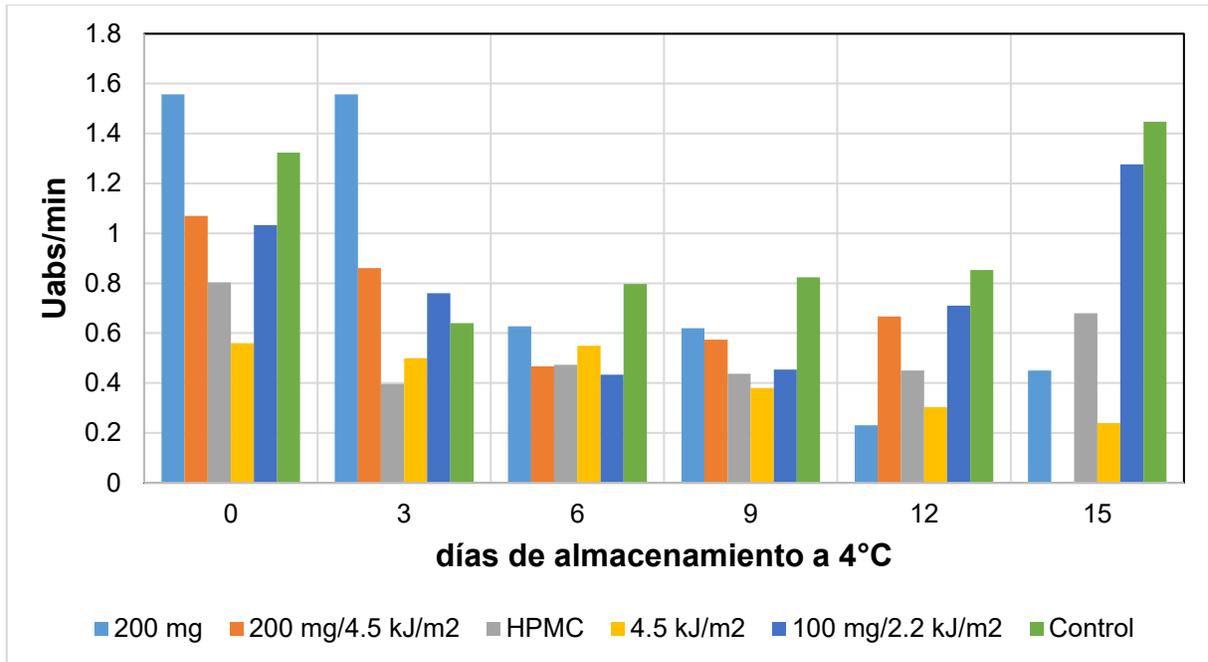


Figura 35. Actividad enzimática de peroxidasas por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de pepino fresco cortado almacenado a 4 °C

Para los tratamientos restantes en los pepinos, los lotes con la menor concentración de nanocápsulas, irradiación, únicamente recubrimiento polimérico y el lote control como se muestra en la figura 34, exhiben una ligera disminución de la actividad enzimática que va de valores aproximados de 1 Uabs/min a 0.4 Uabs/min para el

tercer día de almacenamiento, pero es seguido de un aumento de la actividad enzimática regresando a los valores iniciales de la misma logrando la degradación de las características organolépticas de los pepinos al finalizar el almacenamiento.

De acuerdo a investigaciones recientes, dosis muy bajas de irradiación de luz ultravioleta se manifiestan en un fenómeno conocido como hormesis, específicamente hormesis por radiación que proviene del griego estimular (Shama, 2007). Este fenómeno es definido como la estimulación por agentes dañinos durante un proceso o reacción al ser inducidos en dosis bajas, capaces de provocar efectos estimulantes tanto químicos como físicos (Luckey, 1980). Para la irradiación con luz ultravioleta, se postula la hipótesis que bajas dosis de la misma son benéficas estimulando mecanismos de reacción natural como las enzimas en el área química, sin embargo, para su uso como un agente que inactiva las enzimas en los alimentos, este fenómeno no refiere a algo benéfico si no al contrario, induce la activación y reacción de las enzimas provocando una aceleración en el deterioro de las características del producto.

Para los lotes restantes con únicamente recubrimiento con HPMC, la menor concentración de nanocápsulas y el lote control, no fueron tratamientos totalmente útiles en la inactivación o retardo de la actividad enzimática aunque en un inicio la actividad enzimática disminuyó, el aumento paulatino de la misma permitió la degradación del fruto; y para el lote control no existió tratamiento alguno por lo que se encontraba totalmente expuesto a reacciones de tipo enzimático ocasionando los mayores valores en su actividad a lo largo del almacenamiento.

CONCLUSIONES

La utilización de tecnologías emergentes como la nanotecnología y la luz ultravioleta en conjunto con la refrigeración para el tratamiento de alimentos mínimamente procesados, es una excelente alternativa de conservación la cual preserva las características propias deseables y la calidad en los productos, fortaleciendo la investigación y desarrollo de tratamientos especializados con el fin de obtener productos que conserven o incrementen sus propiedades físicas y nutricionales.

De acuerdo a los resultados obtenidos, fue determinante que una intensidad baja de luz ultravioleta no favorece la prolongación en la vida útil de los pepinos acelerando y activando las enzimas presentes por lo que concentraciones mayores, si favorecen la disminución en la actividad enzimática durante el almacenamiento.

Los parámetros medidos respecto a los objetivos establecidos, exhibieron de forma generalizada que el uso de nanocápsulas en la concentración de 200 mg/L de aceite esencial de limón promovió un efecto benéfico en la conservación de los pepinos, fortaleciendo la acción protectora de los recubrimientos con HPMC ,participando en el mantenimiento de las características que determinan la calidad en un alimento como lo son los parámetros texturales, color, e incluso mejorando el sabor del pepino respecto a su sabor natural.

El uso simultaneo de nanocápsulas y luz ultravioleta pueden distinguirse como un tratamiento integral en la conservación de frutos mínimamente procesados que en conjunto lograron conservar las características sensoriales gracias a las nanocápsulas y prevenir la pronta descomposición del fruto a causa de la actividad enzimática y/o bacteriana gracias a la irradiación ultravioleta.

El comportamiento en el contenido de ácido ascórbico durante la experimentación incluso con la irradiación, presento valores en intervalos aceptables. Sin embargo dicha vitamina representa gran porcentaje del valor nutricional del pepino, por lo que cual debe promoverse la investigación de dichas tecnologías en conjunto con variaciones que permitan distinguir la capacidad sinérgica en sus diferentes niveles de aplicación y la utilización de las mismas en conjunto o lo individual para diferentes tipos de alimentos mínimamente procesados conservando no solo sus características físicas deseables sino también sus características nutricionales que permitan la obtención de un producto accesible y nutritivo.

RECOMENDACIONES

La actividad microbiana durante el almacenamiento, no fue monitoreada, por lo que ciertos cambios en variables a lo largo de la experimentación pudieron deberse a la presencia de organismos que permitían la degradación o modificación de las características de las muestras, por lo que es necesario considerar el monitoreo de la carga microbiana previo al almacenado y durante el mismo para justificar los posibles cambios e incrementar la información que permita declarar si el producto que se presenta es seguro para su consumo.

La utilización de diferentes encapsulados y el uso de diferentes concentraciones del mismo, así como la variación en tiempo de incidencia, distancia e irradiación de la luz UV-C evaluando su efecto sobre las propiedades del fruto.

La utilización de diferentes frutos para observar el comportamiento del recubrimiento, y de los tratamientos sobre el mantenimiento de las características del fruto, posibilitando el generalizar dicha utilización de tratamientos (nanocápsulas y luz ultravioleta) en conjunto.

El uso de las nanocápsulas y la luz ultravioleta, permitieron el mantenimiento y mejora de las características de los pepinos, la interrogante respecto al proyecto es conocer la viabilidad de su aplicación en diferentes alimentos para su venta y producción masiva por lo que conocer la inversión y costo de ambos tratamientos y en conjunto permitiría una idea más clara de si realmente puede considerarse un tratamiento integral y competitivo considerando que hoy en día los alimentos mínimamente procesados si se presentan como un mercado en crecimiento y con gran potencial de venta alrededor del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

Abbas, K.A., Saleh, A.M., Mohamed,A., Mohdazhan, N. (2009). The recent advances in the nanotechnology ans its applications in food processing. *Journal of Food Agricultural Environment*. 7:14-17.

AFNOR (Association française de Normalisation). *Essential Oils* XPx 31-210.

Al-Altı, T., Hotchkiss, H. (2002). Application of packaging and modified atmosphere to fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Lamikanra (Ed.). *Fresh cut fruits and vegetables: Science, Technology and Market*.CRC Press: Boca Raton, FL, EE.UU. 305-338.

Alexander, L., Grierson, D. (2002) Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* 53:2039-2055.

Amako, K., Chen, G. X, Asadd, K. (1994). Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase. *Plant Cell Phisiology* 35:497-504.

Amako, K., Chen, G.X., Asada, K. (1994). Separate assay specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. *Plant Cell Physiol*. 35:497–504.

AOAC. 967.21. Determinación de ácido ascórbico por método de titulación. (1990). *Official Method of analysis*. 15th edition.

- Aquino-Bolaños, E.N., Mercado-Silva, E. (2004). Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. *Postharvest Biology and Technology* 33:275-283.
- Artés, F. (1987). *Refrigeración y comercialización hortifrutícolas*. Murcia, II Edición. CEBAS-CSIC.
- Artés, H.F., Robles, P., Gomez, P., Callejas, A. (2010) Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon postharvest *Journal of Biology and Technology*. 55(2): 114-120.
- Baile, J., Young, R. (1989). Biochemical and biophysical parameters coinciding with initiation of fruit ripening and with seasonal changes in freezing stress resistance of the cranberry plant. University of Wisconsin, MADISON, 367p.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Adaomar, I. (2008). Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 446-475.
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., Sánchez -Tamés, R. (2000). *Fisiología vegetal*. Barcelona. Pirámide.
- Barreiro, P., Ruiz-Altisent, M. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos, definiciones y medidas instrumentales. *Revista de Fruticultura Profesional*. 77:48-59.
- Basaran, P. (2009). Irradiation on hazelnut surface by UV treatment. *International Journal of Food Science*. 72(4): 272-281.
- Beltran, J.A., Velti-Chanes, J., Barbosa-Canovas, G.V. (2009). Ultraviolet light processing advantages and limitations. *Food Science and Technology International* 10(3): 137-147.

- Biale, J.B. (1960) Respiration of fruits. Ruhland W., Handbuch der Pflanzenphysiologie (12,2). Berlin. Springer Verlag. 536-586.
- Boatella, J. R. (2004). Química y Bioquímica de los alimentos. (1ª ed). Universidad de Barcelona, España.
- Bolton, J.r., Cotton, C. (2001). Ultraviolet applications Handbook. (2da ed). American Water Works Association, EE.UU. 168p.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. International Journal of Food Microbiology .94:223-253.
- Caleb, O. J., Opara, U. L., Witthuhun, C. R. (2012). Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils. Food Bioprocess Technology.5 (1):15-30.
- Caminiti, F., Noci, A., Munoz, P., Whyte, D.J., Morgan, D.A., Cronin, J.G. (2011). LyngImpact of Selected Combinations of Non-Thermal Processing Technologies on the Quality of an Apple and Cranberry Juice. Blend Food Chemistry.124:1387-1392.
- Caminiti, I.M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci. F., Whyte, P., Morgan, D.J., Cronin,D.Y., Lyng, J.G. (2012). The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of Apple juice. Food Bioprocess Technology. 5:680-686.
- Catalá, R. (2009). Controlled atmosphere storage of wild strawberry fruit (*Fragaria vesca L.*) Journal of Agricultural and Food Chemistry 54:86-91.
- 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.

Corrales-García, J., Peña-Valdivia, C.B., Razo-Martínez, Y., Sánchez-Hernández, M. (2004). Acidity modification associated to hour of the day of cut and elapsed time since harvest, and pH-buffer capacity in nopalitos (*Opuntiaspp.*). *Postharvest Biology and Technology*. 32: 169-174.

Cowan, M.M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*. 2(4): 564-582.

Díaz, J., Malo, A. (2012). Aplicación de tecnologías emergentes en el tratamiento de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. 3: 59-73.

Dominguez. L., Parzanese, M. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Revista de Alimentos Argentinos*. 52:71-76.

Douce, R., Neuburger, M. (1989) The uniqueness of plant Mitochondria. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 40:371-414.

Eissa Hesham, A. A. (2007). Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut mushroom. *Journal of Food Quality* 30:623-645.

Erkan, M., Wang, C.Y., Krizek, D.T. (2001) UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*. 45:1-9.

Erkan, M., Wang, S. Y., Wang, C. Y. (2008). Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 48(2): 163-171.

- Falguera V., Quintero. P., Jiménez A., Muñoz J. A., Ibarz A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active function and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*. 22:292-303.
- Famá L., Rojas A. M., Goyanes S., Gerschenson L. (2003). Películas comestibles de aplicación industrial. *Jornadas SAM/CONAMET/SIMPOSIO MATERIA*. <http://www.materialessam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloche/Trabajos/A10/1021.PDF> Consultado en septiembre 2016.
- Fangxu, X., Shenghou, W., Jie, X., Shiyang, L., Guode Li. (2015). Effects of combined aqueous chlorine dioxide and UV-C on shelf-life quality of blueberries. *Postharvest Biology and Technology*. 117:125–131.
- FAO (2016). Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas - Las frutas y hortalizas frescas como productos perecibles. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm> Consultado 18 oct. 2016.
- FAO. Agricultural Department. (2001). *Fruits and Vegetables processing manual*. 144:175.
- FAO. Caceres, I., Murkay, T., Rodriguez, J., Paumier, A. (2014). Conservación de productos hotifrutícolas. *Instituto de Investigaciones en fruticultura tropical*. 127.
- FAO. Camelo, A. (2003). Manual para la conservación de frutas y hortalizas en la industria *Departamento de Agricultura*. 151:1-14.
- FAO. Nuez, F. Ruiz, J.J. (1996). *El pepino y su cultivo*. 136p.

FDA (Food and Drug Administration) Demirci, A., Ngadi, O.M. (2012). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies – Ultraviolet Light [En Línea] Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas/SafePracticesforFoodProcesses/ucm103137.htm> Consultado octubre 2016.

Ferrato, M. C., Mondino, R. (2008). Producción, consumo y comercialización de hortalizas el mundo. *Revista Agromensajes*. 24:11.

FFLUGSA. (2003). El Cultivo de Pepino. [En Línea] FFLUGSA Disponible en: <http://fflugsa.tripod.com/pepino.htm> Consultado 14 de octubre de 2016.

Flores, F., El-Yahyaoui, F., De Billerbeck, G., Romojaro, F., Latché, A., Bouzayen, M., Pech, J.C., Ambid, C. (2002) Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. *Journal of Experimental Botany*. 53:201-206.

Fonseca, S.C., Oliveira, F.R.A., Bretcht, J.K. (2002) Modeling Respiration Rate of Fresh Fruits and Vegetables for Modified Atmosphere Packages. *Journal of Food Engineering*. 52:99-119.

Fredericks, I.N., Dutoit, M. Krugel, M. (2011). Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *Food Microbiology*. 28(3): 510-517.

Garrett, F.F. (1998). Outbreaks associated with fresh produce and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2:78-141.

Glowacz, C., Colgan, R., Rees, D. (2015). Influence continuous exposure to gaseous on the quality of red bel peppers, cucumber, and zucchini. *Journal of Postharvest Biology and Technology*. 99: 1-8.

- Gómez-Cruz, A., Shewentesisus-Rinderman, R. (1997). Competitividad de la hortaliza mexicana en el mercado norteamericano. Loan American Students Association. 2(19).
- Gómez-Díaz., Palou, E., López-Malo. A. (2009). Aplicaciones de nuevas técnicas en el tratamiento de alimentos. Temas Selectos de Ingeniería. 59-73.
- González, C. (2001). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. [En Línea] Ambiental Socoter Disponible en: <http://www.ambientalsocoter.cl/008> Consultado en octubre de 2016.
- González-Aguilar, G., Villegas-Ochoa, M., Martínez-Tellez, M., Gardea, A., Ayala-Zavala, J. (2007). Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. Journal of Food Science. 72(3):197-202.
- González-Aguilar, G.A., Ruíz-Cruz, S., Cruz-Valenzuela, R., Rodríguez-Felix, A. Wang, C.Y. (2004). Physiological and quality changes of fresh-cut fruits treated with UV-C as an antibrowning agent. Food Science and Technology. 37:369-373.
- Haji, T., Yaegaki, H., Yamaguchi, M. (2003) Softening of stony hard peach by ethylene and the induction of endogenous ethylene by 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC). Journal Japan Society Horticultural Science. 72:212-217.
- Haro-Maza, J.F., Guerrero-Beltrán, J.A. (2013). Efecto de la Radiación UV-C en frutas y verduras. Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos, 7(1):68-77.

- Hernández-González, Z., Sahagun-Castellanos, J., Espinosa-Robles, P. Colinas - León, M. (2014). Effect of rootstock on yield and fruit size in grafted cucumber. *Revista Fitotecnica Mexicana* 37(1):41-47.
- Hiwasa, K., Kinugas. Y., Amano, S., Hashimoto, A., Nakano, R., Inaba, A., Kubo, Y. (2003). Ethylene as requirement of initiation and progression of softening in pear (*Pyros communis L.*) fruit. *Journal Experimental Botanical* 54: 771-779.
- Hong. K., Xu, H., Wang, J., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., Gu, H., He, Q., Gong, D. (2013). Quality changes and internal browning developments of fruit during storage at different temperaturas. *Scientia Horticulturae*. 151:68-74.
- INFOAGRO. El cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) y su producción. www.infoagro.com consultado el 24 de octubre de 2016.
- Kader, A. (2002). Ethylene in postharvest Technology. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 311:149-162.
- Kader, A. A. (1986). Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*.40 (5):99-104.
- Kirkbride, J. H., Dallwitz, M. J. Floral. (2012). *Products Cucurbitaceae*. United States Department of Agriculture [En Línea] Disponible en: <http://nt.ars-grin.gov/seedsfruits/keys/cucumis/index.cfm>. Consultado en octubre 2016.
- Kleinhenz, M. D., Bumgarner, N. R. (2013). Using Brix as an Indicator of vegetable quality. *Journal of Ohio University*. 38: 92-95.

- Kuo, F., S. Ricke and J. Carey. (1997). Shell egg sanitation: UV radiation and egg rotation to effectively reduce populations of aerobes, yeasts, and molds. *Journal of Food Protect.* 60:694- 697.
- Lado, B., Yousef. A. (2002). Alternative food preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Journal of Microbiology.* 4:433-440.
- Lado, B.H., Yousef, A.E. (2002). Alternative food preservation technologies efficacy and mechanisms. *Journal of Microbiology and Infections.* 4:433-440.
- Lemoine, L., Civello, M., Chavez, R., Martinez, A. (2010). Influence of a combined hot air and uv-c treatment on quality parameters of fresh-cut broccoli florets at 0°C. *International Journal of Food Science and Technology* 45:1212-1218.
- León, A. (2000). Botánica de cultivos tropicales. *Revista Agroamericana de Costa Rica.* 17:24-32.
- Lin, D., Zhao, Y. (2007). Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Food Science and Food Safety.* 6:60-75.
- Liu, J., Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., Adeyeye, O., Kabwe, M.K., Pusey, P.L., Chalutz, E., Sultana, T., Droby, S. (1993). Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection.* 56:868-872.
- Liu, Y., Eroll, E.A, Yazawa, K., Kurturos, O. (2016). Theoretical analysis of energy performance of refrigeration in food processing. *International Journal of Refrigeration.* 65:129-141.

- Lizana, L. A., Levano, B. (1977). Caracterización y comportamiento de post-cosecha del pepino dulce *Solanum muricatum*, Ait. Proc. Tropical Región A.S.H.S. 21:11-15.
- López Díaz, E. Palou, A. López Malo. (2012). Radiación Ultravioleta en jugos de frutas. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*.6(15).
- Luckey, T.D. (1980). *Hormesis with ionizing radiation*, CRC press, Boca Raton.
- Magaña, W., Sauri, E., Corrales, J. (2013). Variaciones Bioquímicas- fisiológicas y físicas de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente controlado refrigerado. *Iberoamericana de Tecnología y Postcosecha*. 14:21-30.
- Marquez L., Pretell C. (2013). UV-C Irradiation in tropical fruits minimally processed. *Scientia Agropecuaria*. 4:147-161.
- Martínez-Hernández, G.; Gómez, P.; Pradas, I; Artés, F.; Artés-Hernández, F. (2011). Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi broccoli. *Postharvest Biology and Technology*. 62: 327-337.
- Martínez-Jávega, J.M. (1995). Tendencias en la conservación de frutas refrigeradas como marcadores de calidad SEN Lérida II: 111-114.
- Martínez-Romero, D., Bailén, G., Serrano, M., Guillén, F., Valverde, J.M., Zapata, P., Castillo, S., Valero, D. (2007). Tools to maintain postharvest fruit and vegetables quality through the inhibition of ethylene action, *Food Science and Nutrition*. 47:6.

- Meneses, O.S., Régulo, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de alimentos. *Revista La Sallista de Investigación*. 5(2):312-325.
- Mercola, J. (2004). Total Health Program. *Journal of British Medical*. 1138-1145.
- Mertelo, Y.J., Rogriguez, E. (2011). Valoración de atributos de calidad en el pepino (*Cucumis sativus L.*) en el sector agropecuario y agroindustrial. *Revista de Biotecnología Agropecuaria*. 9(1): 24-34.
- Millan-Trujillo, F.R., López-Pla, S., Roa-Tavera, V., Tapia-Soledad, M. (2001). Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (*Cucumis melo L*) mínimamente procesado por impregnación al vacío. *Revista Latinoamericana de Nutrición*. 51(7).
- Montero, C.M., Rojas, G.M., Martín, B.O. (2008). Effect of packing conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple. *Journal of Postharvest Biology and Technology*. 50:182-189.
- Montiel, C. (2009). Desarrollo de productos frutícolas mínimamente procesados en fresco como estrategia para aumentar el consumo. *Agencia Argentina de Seguridad Alimentaria y Nutrición*.
- Mora, H., Fessi, H., Elaissari, A. (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*. 385:113-142.
- Musmade, A. M. and Desai, U. T. 1998. Cucumber and melon. *Handbook of vegetables science and technology*. Salunke, B. K. and Kadam, S. S. (Eds.). Marcel Dekker, Inc. New York. 245-253.

- Olivas, G.I., Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). Edible Coatings for fresh-cut fruits Food Science and Nutrition. 45 (7): 65-76.
- Ortolá, M. D. (2002). Tecnología Postrecolección de frutas y hortalizas: Conservación a bajas temperaturas. Revista de la Universidad de Ingeniería Agronómica de Castilla.
- Palou, E., López-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.N., Welti-Chanes, J. Swanson, B. G. (1999). Polypehnoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. Journal of Food Science. 64:42-45.
- Pan, Y., Zu, H. (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. Procedia Engineering. 37: 113-119.
- Paoletti, R., Helmut, S. (1998). Vitamin C. (1ª ed). Springer, 133p.
- Parker, M., Wardoswki, W., Dewey, D. (1984). A Damage Test for Oranges in a Commercial Packing House Line. Florida State Agricultural Proceedings. 94:136 – 137.
- Pombo, H. G., Rosli, G. A., Martínez-Civello, P. M. (2011). UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria ananassa*). Phostharvest Biology and Technology. 59:94-102.
- Quintanar-Guerrero, D., Allemann, E., Fressi, H., Doelker, E. (1998). Preparation techniques and mechanisms of formation of biodegradable nanoparticles from perfomed polymers. Pharmaceutical Research. 15:1056-1062.

- Rajamlar, C.G., Chandrika, M., Chellaram, C. (2011). Chemical synthesis and structural elucidation of novel compounds-schiff bases. *Journal International of Biometrics and Bioinformatics*. 3(10): 468-477.
- Retting. M, Ah-Ke. K. (2014). Color in food as a measurable quality criterion. *Agro Sur*: 4(10).
- Riberiro, C., Canada, J., Alvarenga, B. (2012). Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *Journal of Food Agriculture*. 24:586-597.
- Rico, D., Martin-Diana, A. B., Barry-Ryan, C., Frías, J. M., Henehan, G. T. M., Barat, J. M. (2007). Use of neutral electrolysed water (EW) for quality maintenance and shelf-life extension of minimally processed lettuce. *Innovative Food Science & Technologies*.
- Rodríguez-Félix, A., Rivera-Domínguez, M. y González-Aguilar, G. (2005). Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: G. A. González-Aguilar, A. A. Gardea, F. Cuamea-Navarro (Eds.). *Nuevas tecnologías de Conservación de productos vegetales frescos cortados*. CIAD, A.C. México. 447-474.
- Rojas-Graü, M.A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. Martín-Belloso, O. (2008). The use of packing techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*. 44:875-889.
- Rotondo, R., Ferrato, J. A., Firpo, T. I. (2008). Hortalizas mínimamente procesadas o de IV Gama. *Revista Agromensajes*. 26(12).
- SAGARPA. (2014). Programa Integral de Desarrollo Rural 2014 Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio. [En Línea] Asociación

Nacional de egresados de Chapingo Disponible en: <http://www.bionica.info/biblioteca/pepino%20guia%20tecnica.pdf>. Consultado el 12 de octubre de 2016.

Sandhya, S. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*. 43 (3):381-392.

Sastry, S.K., Datta, A.K., Worobo, R.W. (2000). Ultraviolet light. *Journal of Food Science and Technology* 65(58): 90-92.

Sgroppo, S.C., Sosa, C.A., (2009). Zapallo anco (*Cucurbita moschata D.*) fresco cortado tratado con luz ultravioleta. *Facena*. 25:7-19.

Shama, G. (2007). Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. *Postharvest Biology and Technology*. 44:1-8.

SIAP (Servicio de Información agroalimentaria y pesquera de México) 2016.

Snowball, M.R. y Horshey, I.S. (1998). Purification of water supplies using ultraviolet light. *Developments in Food Microbiology*. 171-191.

Sozer, N., Kokini, J. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Journal of Biotechnology*. 27(2):82-89.

Srivastava, L. (2002) Plant growth and development. Hormones and environment. Academic Press Elsevier science. London. 772.

- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M.A., Rodríguez, F. J., Ramírez, J., Carmona, A., Martín-Belloso, O. (2007). Alginate and gellan-based ediblefilms for probiotic coatings on fresh-cutfruits. *Journal of Food Science*. 72(4):190–196.
- Terry, I. A., Joyce, D. C. (2004). Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops. *Postharvest and Technology*. 32(1): 1-13.
- Tripathi, P., Dubey, N.K., Shukia, A.K. (2008). Use of some essential oils as postharvest botanical fungicides in the management of fruits. *World Journal Microbiology Biotechnology*. 24:39-46.
- Trujillo, A.J., Capellas, M., Salado, J. Gervilla, R., Guamis, G. (2001). Applications of new technology in food processing. *Innovation of Food Science Emerging Technology*. 3:295-307.
- USFDA United States Food and Drug Administration (2000). Ultraviolet Radiation for the Processing and Treatment of Food. Code of Federal Regulations (21 CFR 179 Section 179.39). *Federal Register* 65: 230.
- Vamos-Vigyazo, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *Food Science and Nutrition*. 15:49–127.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. (2008). Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon L.*), mandarin (*Citrus reticulata L.*), grapefruit (*Citrus paradisi L.*) and orange (*Citrus sinensis L.*) Essential Oils. *Food Control*. 19:1130-1138.
- Voet, D. (2004). *Bioquímica*. (3ra ed). USA. Jhon Wiley.
- Weiss, J., Takhistov, P., McClements, D. J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*. 71(9):107-116.

Whiterhust, R.J. (2010). *Enzymes in Food Technology*. (2da ed). NY. Jhon Wiley.

Yaguana, R. M. (1993). Cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) Universidad agraria de Ecuador, facultad de ciencias agrarias, 16.

Yahia, E.M. (2006). Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Journal Stewart Postharvest*. 5 (6):1-10.

Zacarias, L., Lafuente, M.T, Marcos, F.F., Saladdie, M., Dupille, E. (2002). Regulation of ethylene biosíntesis cold storage of the chilling-sensitive Fortune mandarine fruit. *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylen*. 3 :112-117.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Del Real L., A., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., Quintanar-Guerrero, D. (2014). The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut "red delicious" apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 22:188-196.

Zhang, Z., Huber, D. J., Qu, H., Yun, Z., Wang, H., Huang, Z., et al. (2015). Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. *Food Chemistry*.17:191–199.