



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**Efecto de nanopartículas de aceite esencial de toronja y
tratamiento UV-C sobre los cambios de calidad en jitomate
mínimamente procesado.**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:
MELISSA CASTILLO RODRIGUEZ

ASESORA:
DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA
COASESORA:
DRA. MARÍA DE LOS ANGELES CORNEJO VILLEGAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

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

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

Efecto de nanopartículas de aceite esencial de toronja y tratamiento UV-C sobre los cambios de calidad en jitomate mínimamente procesado.

Que presenta la pasante: Melissa Castillo Rodriguez
Con número de cuenta: 415085993 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 22 de Noviembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
VOCAL	LA. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	M. en C. Ana Elvia Sánchez Mendoza	
1er. SUPLENTE	LA. Arturo Munguía Sánchez	
2do. SUPLENTE	Dr. Martín Ramón Porras Godínez	

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

LMCF/cga*

El presente proyecto fue financiado por:

- El proyecto PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos nanoparticulados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas.
- El Programa Interno de Apoyo a Proyectos de Investigación (PIAPI 1801) de la UNAM: Desarrollo y aplicación de nanocompuestos para la conservación de alimentos de origen vegetal refrigerados y/o congelados
- A la **M. en M. Josefina Moreno Lara** de la Unidad de Investigación de Granos y Semillas por el apoyo técnico y de interpretación del análisis de las pruebas microbiológicas.

Lugar de realización de la tesis:

Laboratorio de Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes en Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM.

AGRADECIMIENTOS

- A la **Universidad Nacional Autónoma de México**. Me siento orgullosa de pertenecer a la máxima casa de estudios de México, y egresar como Ingeniera en Alimentos de la FES Cuautitlán.
- A la **Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza** y a la **Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas**, por compartirme de su conocimiento y brindarme todo lo necesario para que pudiera realizar y finalizar este proyecto. Gracias por ayudarme a realizar el proyecto académico más importante en mi vida.
- A mis **sinodales**, agradezco el tiempo invertido, la disposición de enseñanza para poder mejorar y por el conocimiento que también he tomado de ustedes.
- Al **M. en C. Ricardo Moisés González Reza** por el apoyo técnico en el desarrollo metodológico de este trabajo de tesis en el Laboratorio de Transformación.
- A **Zianya Vega Araos** por aventurarte conmigo el día que decidimos hacer el servicio social, y no parar de experimentar hasta cumplir nuestro objetivo: tener todo para escribir nuestras tesis. Juntas empezamos y juntas acabamos... Te quiero.

DEDICATORIAS

- A mis padres, **María Isabel Rodríguez** y **Efraín Castillo**. Gracias por el amor, esfuerzo, dedicación y paciencia que me han dado toda la vida. Hoy, esta meta la he logrado gracias y para ustedes, son el motivo por el cual me esfuerzo para superarme día con día y hacerlos sentir siempre orgullosos. Sin ustedes, no hubiera sido posible lograrlo. ¡Los amo muchísimo!
- A mis tías, **Diana Rodríguez** y **Alejandra Rodríguez**. No tengo manera de agradecerles el apoyo y el cariño que me han dado desde que tengo memoria. Hoy en día, mucho de lo que soy es por el gran ejemplo que me han dado. Gracias por impulsarme, por motivarme y por ayudar a que lograra cumplir este sueño. ¡Las quiero mucho!
- A **Beto**. Siempre te has mostrado orgulloso de mí, y una de las motivaciones que tengo es poder ser un buen ejemplo para ti. Quiero verte triunfar en la vida, y siempre que me necesites ahí estaré contigo. ¡Te amo, hermano!
- A la familia **Castillo Garmendia**. Gracias por estar junto a mi familia en los momentos más importantes, sin importar la situación. Sé que siempre se han sentido orgullosos de mí. ¡Los quiero tanto!
- A mi tito, **Ignacio Rodríguez**. Uno de los motores que me impulsaron a terminar con este proyecto has sido tú, para cumplir tu sueño de verme terminar la universidad. Aunque no estés físicamente, te llevo siempre en mi mente y corazón. ¡Te quiero hasta el cielo!
- A mis amigos **Mahely, Ana, Zianya, Sebastián, Luis** e **Iván**. Hicieron de la universidad una etapa increíble, todos los momentos que pasamos juntos los recuerdo con mucho cariño, espero que nuestra amistad perdure a través del tiempo.

CONTENIDO

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	ii
CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 GENERALIDADES DEL JITOMATE	1
1.1.1 Historia y origen.....	1
1.1.2 Composición química y valor nutricional	1
1.1.3 Jitomate mínimamente procesado.	2
1.2 TECNOLOGIAS DE CONSERVACIÓN EN ALIMENTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS	9
1.2.1 Conservación por frío.....	9
1.2.2 Nanotecnología.....	10
1.2.3 Aceites esenciales.....	11
1.2.4 Reforzadores de textura.....	13
1.3 TRATAMIENTOS CON LUZ UV-C	14
1.3.1 Espectro de luz UV	14
1.3.2 Efecto germicida	14
1.3.3 Efecto de radiación UV-C sobre cambios fisicoquímicos.	15
1.2.4 Efecto hórmino de la UV-C.....	16
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1 PROBLEMA.....	17
2.2 OBJETIVOS	17
2.2.1 Objetivo general:	17
2.2.2 Objetivos particulares:.....	18
2.3 HIPÓTESIS	19

2.4 MATERIALES	19
2.4.1 Determinación del estado de madurez	20
2.4.2 Determinación de la dosis de irradiación en la cámara de tratamiento UV-C	21
2.4.3 Caracterización de la cámara de refrigeración.	21
2.5 MÉTODOS	22
2.5.1 Evaluación de propiedades fisicoquímicas	22
2.5.2 Evaluación de textura y color	23
2.5.3 Actividad enzimática.....	25
2.6 DISEÑO EXPERIMENTAL	28
2.6.1 Variables.....	28
2.6.2 Análisis estadístico.....	28
2.6.3 Tratamientos.....	29
CAPITULO III. RESULTADOS	30
3.1 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE MADUREZ.....	30
3.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	30
3.2.1 pH.....	30
3.2.2 °Brix	32
3.2.3 Pérdida de peso.....	33
3.2.4 Líquido drenado	34
3.3 CAMBIOS DE TEXTURA Y DE COLOR	35
3.3.1 Textura	35
3.3.2 Colorimetría	37
3.4 ACTIVIDAD ENZIMATICA	42
3.4.1 Licopeno.....	42
3.4.2 Pectinmetilesterasa.....	43

3.4.3 Peroxidasa	45
3.4.4 Ácido ascórbico.....	46
3.4.5 Polifenoles totales	47
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición química y nutrimental del jitomate fresco.	1
Tabla 2	Estados de madurez del jitomate Saladette.	20
Tabla 3	Factores por considerar en el estudio y niveles de variación.	28
Tabla 4	Tratamientos.	29
Tabla 5	Rendimiento del jitomate Saladette.	30
Tabla 6	Porcentaje de pérdida de polifenoles totales.	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estructura química de los isómeros todo-trans y algunos cis del licopeno.	6
Figura 2	Reacción del ácido ascórbico con el oxígeno.	7
Figura 3	Ácido ascórbico (Forma reducida de la vitamina C).	7
Figura 4	Ácido dehidroascórbico (Forma oxidada de la vitamina C).	7
Figura 5	Espectro electromagnético.	14
Figura 6	Absorción máxima de UV del ADN.	15
Figura 7	Preparación del lactato de calcio al 3% y nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja.	19
Figura 8	Estados de madurez del jitomate Saladette (<i>Solanum Lycopersicum</i>).	21
Figura 9	Cambio de pH durante el tiempo de almacenamiento.	31
Figura 10	Cambio de °Brix durante el tiempo de almacenamiento.	32
Figura 11	% de peso perdido durante el tiempo de almacenamiento.	34
Figura 12	% líquido drenado durante el tiempo de almacenamiento.	35
Figura 13	Cambios de textura durante el tiempo de almacenamiento.	36
Figura 14	Cambio total de color (ΔE) durante el tiempo de almacenamiento.	37

Figura 15	Cambio en la cromaticidad durante el tiempo de almacenamiento.	39
Figura 16	Cambio en la luminosidad durante el tiempo de almacenamiento.	41
Figura 17	Contenido de licopeno durante el tiempo de almacenamiento.	42
Figura 18	Cambio de pectinmetilesterasa durante el tiempo de almacenamiento.	44
Figura 19	Cambio de peroxidasa durante el tiempo de almacenamiento.	45
Figura 20	Cambio de ácido ascórbico durante el tiempo de almacenamiento.	47
Figura 21	Cambio de polifenoles durante el tiempo de almacenamiento.	48

RESUMEN

El consumo de hortalizas y frutas tiene importantes beneficios para la salud. Son fuente natural de minerales, vitaminas, fibra y agua, y además su aporte calórico es significativamente menor al de otros alimentos. Sin embargo, en México el consumo de vegetales equivale a la mitad de lo recomendado por la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y por la Organización Mundial de la Salud (OMS): 400 gramos de frutas y hortalizas al día por persona.

La principal razón de esto es el tiempo de elaboración prolongado que requiere la preparación y cocción de estos alimentos. Como solución a este inconveniente se presentan los vegetales mínimamente procesados, que son productos que presentan características organolépticas y nutricionales similares a la de frutas y hortalizas frescas y su ventaja es que son fáciles de usar por el consumidor, siendo de consumo directo o para preparaciones culinarias rápidas. Estas características hacen que el tiempo de elaboración ya no resulte un obstáculo para incorporar o aumentar la proporción de vegetales a la dieta.

Es por esto, que esta investigación se llevó a cabo con jitomate Saladette mínimamente procesado, en envases de poliestireno cristal con diferentes recubrimientos: lactato de calcio al 3%, nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, y una combinación de lactato de calcio con nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, donde algunos lotes se sometieron a tratamiento UV-C, y todos se almacenaron a 4°C.

Al finalizar la experimentación, se observó que el jitomate Saladette mínimamente procesado, almacenado a 4°C, con recubrimiento de lactato de calcio con nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja, con tratamiento UV-C ayudó a conservar el fruto durante 17 días, manteniendo sus propiedades como líquido drenado, pérdida de peso, °Brix, pH, textura, color, ácido ascórbico, licopeno, polifenoles, peroxidasa y pectinmetilesterasa más similares a las del fruto fresco, en comparación de los lotes con tratamiento de nanopartículas, el cual a pesar de haber permanecido los mismos días de almacenamiento, presentaron una mayor disminución en sus propiedades.

INTRODUCCIÓN

La palabra jitomate deriva de los vocablos náhuatl Xictl (Ombligo) y Tomatl (tomate) que significa tomate de ombligo y se cree que fue domesticado en México distribuyéndose a Europa después de la conquista española (Moreno, 2010).

El jitomate mínimamente procesado ha sido físicamente modificado de su forma original, por procesos como lavado y cortado; para obtener un producto que es envasado y almacenado en refrigeración. Generalmente el jitomate mínimamente procesado se deteriora más rápido que si estuviera intacto. Es por esto, que es necesario entender los cambios fisiológicos y microbiológicos que pueden ocurrir durante y después de su manipulación, transformación y almacenamiento, que reducen la calidad del producto o incluso ponen en riesgo la seguridad de éste (Ragaert *et al.*, 2011). Desde el punto de vista fisiológico, las operaciones del procesamiento mínimo hieren al tejido vivo, con lo cual comienzan una serie de reacciones metabólicas que resultan en cambios de textura, aceleración del proceso de maduración y senescencia, desarrollo de olores desagradables, cambios de color, y otros eventos indeseables que hacen al producto no apto para ser comercializado (Breidt y Fleming, 1997). En el 2016, México tuvo una producción anual de jitomate es de 2,769,000 toneladas, de las cuales 925 mil toneladas, son desperdiciadas. Esto quiere decir, el 33.4% de la producción total anual nacional. Una de las principales razones de desperdicio, es la distribución y almacenamiento insuficiente, pues los alimentos deben viajar largos periodos de tiempo en transporte sin refrigeración, para lograr su distribución. Con esto, la velocidad de maduración del fruto se incrementa.

El almacenamiento a bajas temperaturas es ampliamente usado para reducir la velocidad de maduración, sin embargo, debido a la sensibilidad de los alimentos a temperaturas bajas, pueden ocasionarse daños por frío en los productos refrigerados (Siripatrawan y Assatarakul, 2009). En el caso de los jitomates, el daño por frío puede presentarse cuando son almacenados a temperaturas inferiores a 10°C por periodos mayores a 2 semanas, y a 5°C por periodos mayores de 6-8 días (Suslow y Cantwell, 2006). Para reducir el daño por frío causado en la refrigeración puede aplicarse en combinación con otras técnicas de conservación tales como envases activos, recubrimientos, nanotecnología, UV-C, entre otras (Siripatrawan y Assatarakul, 2009).

El campo de la nanotecnología alimentaria ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos cinco años (Acosta, 2009). La innovación a nano escala podría mejorar las propiedades mecánicas y de barrera, la detección de patógenos, las propiedades antimicrobianas, y la estabilidad ante el calor y el frío (Brody *et al.*, 2008). Por otro lado, la etapa de desinfección constituye un punto crítico y resulta decisivo para la preservación de la calidad, seguridad y mantenimiento de la vida útil del producto. Esta etapa tiene como objetivo principal disminuir la carga microbiana, por esta razón el tratamiento UV-C fue usado por ser un tratamiento físico que no deja residuos, de fácil manejo, y efectivo para el control de la mayoría de los microorganismos (Escalona *et al.*, 2010). Se aplica mediante lámparas de alta presión de mercurio, que emiten radiación en una longitud de onda de 254 nm, coincidente con la efectividad germicida máxima (Artés-Hernández *et al.*, 2008), El modo de acción antimicrobiano de la radiación UV-C reside en el daño que esta provoca en el ADN de los microorganismos impidiendo su reproducción (Ben-Yehoshua, 2003).

Otro factor importante es el aceite esencial de toronja, la industria cítrica genera un gran volumen de desechos sólidos como la cáscara de las frutas. Este deshecho proveniente de la obtención de jugos, normalmente se envía a vertederos a cielo abierto, por lo que genera un problema serio de contaminación. Esta situación hace deseable el aprovechamiento de éstos para la elaboración de productos de mayor valor agregado como la obtención de aceites. Además, el aceite esencial de toronja es conocido por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Rojas-Grau *et al.*, 2009).

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1 GENERALIDADES DEL JITOMATE

1.1.1 Historia y origen

La palabra jitomate deriva de los vocablos náhuatl Xictl (Ombligo) y Tomatl (tomate) que significa tomate de ombligo. Es originario de la región Sur Central del Perú, y por su amplia habilidad de adaptación puede cultivarse tanto en ambientes secos como húmedos. Gracias a evidencias históricas, culturales, lingüísticas y etnobotánicas, se cree que fue cultivado en México alrededor del año 1523, distribuyéndose a Europa después de la conquista española (Moreno, 2010)

1.1.2 Composición química y valor nutricional

La composición química y el valor nutricional del tomate varían según la variedad, las condiciones de cultivo, la época de producción, el grado de madurez, el tiempo y las condiciones de almacenamiento, entre otros factores. Dicha hortaliza contiene aproximadamente un 94% de agua, y el 6% restante es una mezcla compleja en la que predominan los azúcares libres y ácidos orgánicos, que contribuyen a dar al fruto u textura y sabor característicos (Coronel y Castillo, 2009; León, 2009).

Tabla 1. Composición química y nutrimental del jitomate fresco.

Constituyentes	Contenido por cada 100 g
Energía	56,00
CONSTITUYENTES BASICOS (g)	
Agua	94,70
Proteína	1,00
Grasa	0,10
Fibra dietética	1,60
Carbohidratos	
Glucosa	0,90
Fructosa	1,00
Sacarosa	0,00
Almidón	0,00
ÁCIDOS ORGÁNICOS (g)	
Cítrico	0,43
Málico	0,08
Oxálico	0,00

Otros	0,00
VITAMINAS (g)	
Vitamina C	18,00
Tiamina	0,04
Riboflavina	0,02
Ácido Nicotínico	0,70
β-caroteno (equivalente)	0,34
MINERALES (mg)	
Potasio	2,00
Sodio	6,00
Calcio	8,00
Magnesio	10,00
Hierro	0,30
Zinc	0,20

Fuente: Salunkhe y Kadam, 2003.

Adalid (2011) explica que, en el jitomate los azúcares representan aproximadamente el 50% de la materia seca, donde la glucosa y la fructosa son los mayoritarios. Los ácidos orgánicos, principalmente cítricos y málicos, representan más del 10% de la materia seca. Tanto los azúcares como los ácidos aportan un escaso valor nutritivo al jitomate, aunque ejercen un papel fundamental en su sabor. El contenido medio de proteínas, aminoácidos y lípidos del tomate es muy bajo, por lo que no puede ser considerado una fuente importante de estos compuestos.

1.1.3 Jitomate mínimamente procesado.

Parámetros de calidad en jitomate cortado

La madurez y calidad inicial apropiada de fruta es esencial (Watada y Ling, 1999). Sin embargo, una vez procesada, la calidad es con normalidad evaluada visualmente. La apariencia visual es la determinante para el establecimiento de la vida comercial.

Aun así, existen características que determinan la calidad del jitomate cortado como lo son, el color, la apariencia y la firmeza (Baldwin *et al.*, 2008). Bartell *et al.*, (2010) señalaron que existen diferentes parámetros o indicadores, que determinan la calidad del jitomate para la industria y dentro de ellos, los de mayor importancia son los siguientes:

- Contenido de sólidos totales y sólidos solubles totales: Ambos índices están correlacionados entre sí, pero normalmente se utiliza el contenido de sólidos solubles totales (expresado en °Brix) por ser más fácil de determinar. En la mayor parte de las variedades de jitomate, este indicador se sitúa entre 5 y 7 °Brix, Bartell *et al.*, (2010) y puede estar influenciado por otros factores como el clima, el riego, el estado de madurez de los frutos y otros.
- El índice de acidez (pH): Para la producción industrial del jitomate, el pH del zumo se sitúa normalmente entre 4.2 y 4.4, siendo poco probable que se superen estos valores.
- Acidez titulable total y azúcares reductores: Ambos caracteres influyen sobre el sabor del fruto. La acidez total suele oscilar entre 3.5 y 4.0 g L⁻¹ de zumo y de los azúcares reductores entre 25 y 30 g L⁻¹
- Rendimiento: es el porcentaje de jitomate que se obtiene de un peso determinado del fruto, lo cual depende en gran medida de la variedad empleada.

Efecto de la actividad enzimática

Las enzimas son esenciales porque catalizan numerosas reacciones metabólicas en el jitomate, sin embargo, continúan actuando después de la recolección. Esto hace que sean las principales responsables de la pérdida de calidad de los alimentos (sabor, aroma, color, textura y valor nutritivo).

Peroxidasa (POD)

La peroxidasa está dentro del grupo de las enzimas oxidorreductasas y descomponen el peróxido de hidrógeno en presencia de un dador de hidrógeno. La POD puede producir un gran número de reacciones separadas, por lo que tienen un grado de versatilidad muy elevado en comparación con otras enzimas. Es capaz de catalizar reacciones peroxidativas, oxidativas, catalíticas e hidroxilaciones utilizando un sustrato oxidante y uno reductor. El agente oxidante puede ser un peróxido o un peroxiácido, RO=COOH, principalmente

peróxido de hidrógeno (Robinson, 1991). A partir de los sustratos naturales, incluyendo compuestos fenólicos presentes en frutas, se pueden formar diversos productos a través de reacciones que incluyen radicales libres.

La peroxidasa es una enzima oxidasa, que interviene en la síntesis de etileno y, por lo tanto, en el control de la actividad respiratoria, en la madurez, senescencia y los cambios asociados a ella. Participa en el desarrollo de aromas extraños durante el almacenamiento, cambios de color y pérdida de ácido ascórbico. Existe un claro aumento de la actividad enzimática en los productos frescos cortados en relación con el producto intacto las propiedades de las enzimas como POD afectan el sabor de la fruta y la textura las cuales afectan significativamente las cualidades del almacenamiento de los productos frescos cortados (Lamikanra, 2001).

Pectinmetilesterasa (PME)

Otra enzima importante es la pectinmetilesterasa (PME). Las pectinas son polisacáridos constituidos principalmente de ácido poligalacturónico con parte de los grupos metoxilados. La PME es una enzima presente en la pared celular vegetal que causa la eliminación de grupos metoxilo de las pectinas y produce radicales carboxílicos libres. Una vez alcanzado el grado crítico de esterificación, los cationes divalentes (especialmente el Ca^{+2}) pueden unirse a grupos carboxílicos libres pertenecientes a las cadenas adyacentes de la pectina.

La PME es una enzima hidrolítica, que se encuentra de manera natural en la mayoría de las frutas, ligada a la pared celular y es liberada en el momento de la extracción del zumo (Polydera *et al.*, 2004); cataliza la eliminación de los grupos metilo de la cadena de ácido poligalacturónico, lo que provoca la liberación de metanol, pectinas de bajo metoxilo y formación de ácidos pécticos (Menéndez Aguirre *et al.*, 2006). Estos ácidos pueden reaccionar con iones calcio presentes en el medio para formar complejos insolubles de pectato de calcio, dejando un mayor número de grupos carboxilo libres que pueden luego enlazar cationes y formar pectinas reticuladas, las cuales pueden agregarse y asentarse (Anthon *et al.*, 2002; De Assis *et al.*, 2001).

Ochoa (2007) describe a esta enzima como responsables del ablandamiento en frutas causando pérdida de textura y excesivo ablandamiento debido a la degradación de las sustancias pécticas de la pared celular.

Durante el transcurso del proceso de maduración, los componentes de la pared celular del fruto experimentan notables variaciones estructurales que generan cambios en la textura. Una de las modificaciones más notorias está relacionada con la composición de las fracciones pécticas. Estas sustancias son sometidas a procesos de despolimerización que contribuyen al ablandamiento del tejido vegetal y afectan las características físicas del jitomate. Estos cambios físicos aumentan la capacidad de romper las estructuras celulares facilitando la liberación de líquido. El fenómeno de ablandamiento ocurre por la participación de las enzimas pectolíticas, entre otras, la pectinmetilesterasa, que degrada la pectina y el ácido poligalacturónico presente en la pared celular mediante la catálisis de la hidrólisis de los grupos estéricos metilo a partir de residuos galacturonosilos (Sadkaoui *et al.*, 2013).

Licopeno

El licopeno es un carotenoide. Es un pigmento orgánico del grupo de los isoprenoides. Se sintetizan de forma natural en los cloroplastos de las células vegetales, concretamente en los tilacoides y son responsables de la mayoría de los colores amarillos, anaranjados y rojos presentes en los alimentos vegetales.

Cuando no se conocían todos los beneficios saludables de su consumo se usaba como colorante, pues aportaba a los alimentos un intenso color rojo (Shi y Le Maguer, 2000). En la actualidad se sabe que el licopeno, al igual que el resto de los carotenoides, es capaz de combatir al estrés oxidativo debido a su gran potencial antioxidante, por lo que hoy en día es objeto de numerosos estudios encaminados a conocer y definir sus efectos beneficiosos sobre la salud.

La Figura 1 muestra la fórmula molecular del licopeno es $C_{40}H_{56}$, que consiste en una cadena alifática formada por cuarenta átomos de carbono con trece dobles enlaces de los cuales once son conjugados, lo que provoca que el licopeno pueda tener 2048 configuraciones electrónicas diferentes; no obstante, solo 72 isómeros son más estables estructuralmente. Entre los isómeros cis predominan 5-cis, 9-cis, 13-cis y 15-cis (Kessy *et al.*, 2013). La presencia de once dobles enlaces le hace ser muy reactivo frente al oxígeno y los radicales libres (Shi y LeMaguer, 2000; Wilcox *et al.*, 2003; Vitale *et al.*, 2010; Cruz-Bojórquez *et al.*, 2013). Esta capacidad antioxidante, que supera al β -caroteno, α -caroteno y

α -tocoferol (Palozza *et al.*, 2012) confiere al licopeno sus efectos beneficiosos e incluso preventivos frente a numerosas enfermedades (Cruz-Bojórquez *et al.*, 2013; Viuda-Martos *et al.*, 2014).

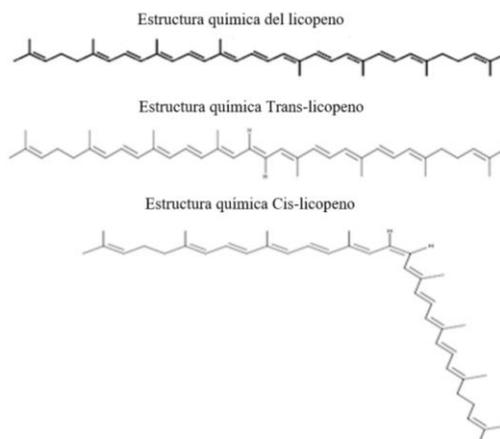


Figura 1: Estructura química de los isómeros todo-trans y cis del licopeno

En variedades comunes de tomate, la concentración de licopeno es de 3 a 12.2 mg/100 g de fruta madura (Arias *et al.*, 2000; Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Tonucci *et al.*, 1995; Khachik *et al.*, 1992; véase Candelas-Cadillo *et al.*, 2005).

Ácido ascórbico

El ácido ascórbico (AA) es un nutrimento esencial para los humanos. Una baja ingesta causa una enfermedad, por deficiencia, conocida como escorbuto. Este ácido está presente en forma natural en muchas frutas y verduras, además, estos alimentos son ricos en vitaminas antioxidantes, compuestos fenólicos y carotenos (Block, N 2001; Jhon Z, 2002)

La Food and Drug Administration (FDA, Dirección de Alimentos y Medicamentos), clasifica el ácido ascórbico sintético como un aditivo alimenticio "generalmente reconocido como seguro". Se adiciona a una amplia variedad de alimentos, tanto por razones nutricionales como técnicas. Entre las funciones del AA, están la fijación del oxígeno: Cuando los alimentos se embotellan o se enlatan estos contienen oxígeno, que podría reaccionar con varias moléculas del alimento, provocando rancidez, pérdida de color, entre otras características. Al agregar AA, esta fija o elimina el oxígeno, como se observa en la Figura 2.

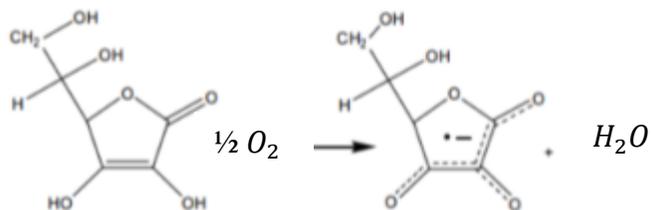


Figura 2: Reacción del ácido ascórbico con el Oxígeno.

Además, la fijación de radicales libres y control del pardeamiento (Roig, *et al.*, 1998), hacen que esta vitamina sea uno de los aditivos más empleados en la industria de los alimentos. El AA, es conocido como una vitamina termolábil.

La oxidación del AA al ácido dehidroascórbico y dicetogulónico, hace que se pierda la actividad vitamínica, razón por la cual, el seguimiento de la variación en la concentración del AA en alimentos es relevante para establecer los mecanismos que afectan su estabilidad y por tanto influyen en el tiempo de vida útil de los mismos (Johnson, 1995).

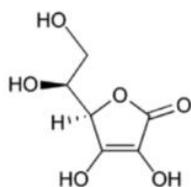


Figura 3. Ácido ascórbico (Forma reducida de la vitamina C)

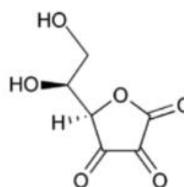


Figura 4. Ácido dehidroascórbico (Forma oxidada de la vitamina C)

Fenoles totales

Se denominan fenoles a todos los compuestos químicos integrantes del conjunto de derivados orgánicos de cuya composición forma parte un grupo hidroxilo OH-aromático, es decir, unido a un anillo bencénico. Los fenoles presentan algunas propiedades semejantes a los alcoholes, debido a la presencia del grupo –OH. Los fenoles más sencillos son líquidos o sólidos blandos e incoloros y se oxidan con facilidad por lo que se encuentran coloreados.

En presencia de impurezas o bajo influencia de la luz, el aire y ciertos compuestos como el cobre y el hierro, el fenol puede teñirse de amarillo, marrón o rojo.

El creciente interés por estas sustancias es principalmente debido a su potencial antioxidante y la asociación entre su consumo y la prevención de algunas enfermedades. Los beneficios para la salud de estos fitoquímicos están directamente vinculados a su consumo regular y su biodisponibilidad (Haminiuk, 2012).

Integridad del tejido y pérdida de líquido drenado.

El corte de los tejidos vegetales provoca la ruptura celular, que permite una fuerte pérdida de jugos celulares, incrementándose la actividad de agua (entre 0.7 y 0.9) y el área de superficie por unidad de volumen. Esto puede acelerar la pérdida de agua y, además, el exudado constituye un medio muy favorable para el desarrollo de microorganismos, así como también dificulta la difusión de gases de los tejidos vegetales, con el riesgo de procesos fermentativos y producción de etanol y acetaldehído que alteran el aroma y el sabor (Artés, 2000). Además, las operaciones de preparación de productos mínimamente procesados incrementan la contaminación microbiológica por transferir la microflora de la piel y de los utensilios utilizados a los tejidos del fruto, disminuyendo la estabilidad de éste (Pittia *et al.*, 1999).

Los daños al tejido por las simples operaciones de corte o pelado estimulan la actividad respiratoria y la producción de etileno, lo que induce la biosíntesis de enzimas asociadas a un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos y de otras reacciones bioquímicas responsables del cambio de color, aroma, textura y valor nutritivo que conducen a la senescencia de los tejidos vegetales (Cantwell, 1992).

Durante la maduración del jitomate, uno de los cambios más notables es el ablandamiento, que está relacionado con las alteraciones de la pared celular, de la lámina media y a niveles de la membrana. Dicha manifestación se ha atribuido a enzimas tales como poligalacturonasas y pectin-metilesterasas, ya que, tras las operaciones de pelado, corte, troceado, etc. se produce una pérdida de firmeza en los tejidos que puede deberse a la hidrólisis de los componentes de la pared celular por enzimas proteolíticos y pectinolíticos (Wiley, 1994). La actuación de enzimas pectinohidrolasas, degradan las estructuras péctica y como consecuencia, modifican la textura del producto.

En el corte, debe controlarse regularmente el estado de las cuchillas para verificar que estén afiladas y no presenten daños. Si las cuchillas no se hallan en buen estado de conservación, las mismas pueden dañar y el tejido, lo cual puede hacer que el producto sea más susceptible al desarrollo de microorganismos durante su vida útil.

1.2 TECNOLOGIAS DE CONSERVACIÓN EN ALIMENTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Existen diversas técnicas para prolongar la vida útil de frutas y hortalizas durante su almacenamiento. Dentro de las tecnologías empleadas se puede encontrar el almacenamiento a bajas temperaturas, uso de envases activos, nanopartículas, aceites esenciales entre otros.

1.2.1 Conservación por frío

La refrigeración es una técnica en la cual la temperatura del alimento es reducida por debajo del ambiente; el calor sensible es retirado del alimento para reducir su temperatura (de acuerdo con su comportamiento frente al frío), actuando sobre los procesos fisiológicos del producto (respiración, maduración, germinación) y de los microorganismos, lo que resulta en la prolongación de la vida útil del alimento (Brennan y Grandison, 2012; Bermúdez, 2000).

El almacenamiento a bajas temperaturas es ampliamente usado para reducir la velocidad de maduración y el daño causado por hongos en frutas y hortalizas, sin embargo, debido a la sensibilidad de los alimentos a temperaturas bajas, pueden ocasionarse daños por frío en los productos refrigerados (Siripatrawan y Assatarakul, 2009). En el caso de los jitomates, el daño por frío puede presentarse cuando son almacenados a temperaturas inferiores a 10°C por periodos mayores a 2 semanas, y a 5°C por periodos mayores de 6-8 días; este se caracteriza por falta de madurez (color y sabor), color irregular, picaduras en la superficie, formación de áreas blandas y oscurecimiento de las semillas; de esta forma existe mayor susceptibilidad de que el producto sea atacado por microorganismos (Suslow y Cantwell, 2006). Para reducir el daño por frío causado en la refrigeración puede aplicarse en

combinación con otras técnicas de conservación tales como envases activos, atmósferas modificadas y controladas, entre otras (Siripatrawan y Assatarakul, 2009).

1.2.2 Nanotecnología.

La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala nanométrica, es decir, la obtención de partículas a reducida escala, del orden de los nanómetros ($nm = 10^{-9} m$) y son milésimas de micrómetros, millonésimas de mm o milmillonésimas de metro, debido a su tamaño, las propiedades de las estructuras y los materiales presentan características muy diferentes de las que se encuentran normalmente (Moncada, 2007).

El campo de la nanotecnología alimentaria ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos cinco años (Acosta, 2009). La innovación a nano escala en envases activos podría mejorar las propiedades mecánicas y de barrera, la detección de patógenos, las propiedades antimicrobianas, y la estabilidad ante el calor y el frío (Brody *et al.*, 2008), razón por la cual se ha incrementado su uso en el diseño de ingredientes funcionales como sabores y antioxidantes, orientados a utilizarlos en sistemas de liberación controlada con el objetivo de minimizar concentraciones en alimentos, presentando un impacto potencial en muchos aspectos de la industria alimentaria, como lo son (Weiss *et al.*, 2006):

- Incrementar la seguridad de manufactura, proceso y transporte de productos alimenticios a través de sensores de patógenos y detección de contaminantes.
- Mecanismos para mantener un registro de las condiciones ambientales de un producto en particular durante el transporte.
- Sistemas que proveen la integración de sensores, localización, reporte y control de productos alimenticios (sistemas inteligentes) y el incremento de la eficacia y seguridad del envase durante el procesamiento y transporte del producto.
- Encapsulación y sistemas de liberación, protección y liberación funcional de ingredientes alimenticios en un sitio específico de acción.

El área de nanomateriales destinados a la industria de alimentos y productos farmacéuticos es uno de los sectores de mayor potencialidad para aplicaciones industriales. Los polímeros (plásticos) pudieran presentar diferentes valores de permeabilidad al vapor de agua/gases,

para atender los requisitos de preservación de frutas, verduras, bebidas etc., se podrían obtener materiales poliméricos con mayor resistencia a la luz y un incremento en sus propiedades mecánicas y térmicas. Estas modificaciones en los materiales pueden significar aumentos en el tiempo de almacenamiento del producto, menor pérdida de las características químicas, físicas y organolépticas, además de facilitar el transporte (Moncada, 2007).

Nanopartículas de Zeína

La zeína es una proteína sencilla perteneciente a la clase de las prolaminas y que se encuentra en abundante concentración en el maíz y es utilizada en alimentación y otras industrias. Las nanopartículas de zeína son portadoras de compuestos de sabor, son encapsulantes de compuestos nutraceuticos y mejoran la resistencia de los envases de alimentos. (Ruiz, 2016). Además, posee características ideales para la inmovilización de diferentes compuestos o moléculas, así como de enzimas, que hace que conserve las propiedades de estos, y es capaz de liberarlos en el momento del muestreo. la zeína es altamente biodegradable, y no requiere de ningún tratamiento de reciclaje (Jornet-Martínez et al., 2006).

1.2.3 Aceites esenciales

Se denominan aceites esenciales (AE) al conjunto de los principales productos orgánicos que existen en diversas partes de las plantas (flores, brotes, semillas, hojas, ramas, corteza, hierba, madera, frutas y raíces) obtenidas a partir de las mismas mediante destilación en corriente de vapor. Son mezclas complejas de hasta 100 componentes, entre ellos: compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, y ésteres), monoterpenos, sesquiterpenos, y fenilpropanos que determinan el aroma característico de la planta donante (Batish *et al.*, 2008). Los componentes de los aceites esenciales por su naturaleza son volátiles y su tiempo de vida es corto; al diluirse para uso comercial tienen una duración de tres a seis meses, siempre que se encuentren cerrados herméticamente en un lugar oscuro y fresco.

Los aceites esenciales, también llamados volátiles o etéreos aromáticos, han sido utilizados como aromatizantes de alimentos, pero como en los últimos años ha existido una presión por parte de los consumidores para reducir o eliminar los aditivos químicamente sintetizados en los alimentos, los aceites esenciales y sus componentes puros están guardando un creciente interés por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Rojas-Grau *et al.*, 2009^a).

La primordial actividad biológica y el posible uso de los aceites esenciales en la industria alimentaria se derivan de su capacidad antimicrobiana. Aunque el mecanismo exacto de acción de los aceites esenciales no sea completamente claro, algunos autores lo han atribuido a su hidrofobicidad, lo que les permite crear particiones y desbalancear el equilibrio de los iones celulares.

Los productos mínimamente procesados están frecuentemente propensos a la contaminación causada por agentes patógenos, algunos de ellos generados durante el almacenamiento, el transporte o el procesamiento después de la cosecha, lo que trae consigo pérdidas significativas en la calidad, cantidad y composición de nutrientes, con la consecuente reducción del valor en el mercado. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, los casos registrados de pérdidas de alimentos en mal estado en los que se incluyen cereales, granos, nueces, frutas, verduras, carnes y especias, se reportan en cifras equivalentes a toneladas métricas de alimentos cada año. (FAO, 2015).

No obstante, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria, existe la necesidad de generar medidas de control eficaces con conservantes antimicrobianos, que garanticen la inactivación bacteriana y que a su vez no generen efectos secundarios por su consumo.

La propuesta de encapsular los aceites esenciales para darles mayor vida útil surge de su uso industrial. En la actualidad, existe una amplia oferta de microencapsulados de diversos aceites.

Aceite esencial de toronja

Los cítricos se caracterizan fundamentalmente por sus frutos grandes que contienen cantidades abundantes de ácido cítrico, componente con fórmula $C_3H_4OH(COOH)_3$, el cual les proporciona el característico sabor ácido. Además, todos los miembros del género *Citrus*

contienen otros componentes que les otorgan aromas muy profundos. (Gergensen Y León, 1999).

Para obtener el aceite esencial de toronja, se usa el método de prensado en frío. Este método es muy útil con materiales vegetales que pierden su fragancia y propiedades cuando se exponen a las temperaturas requeridas para la destilación al vapor, se usa con más frecuencia para obtener aceites esenciales de frutas cítricas como naranja, bergamota, toronja, limón y lima, porque no requiere una fuente de calor para obtener el aceite de la corteza o la capa cerosa más superficial de la fruta.

El aceite tiene un color amarillo pálido además de un suave aroma cítrico y contiene alrededor de un 90% de limoneno, el cual tiene propiedades antivirales, antisépticas, astringentes y antibacterianas.

1.2.4 Reforzadores de textura

Los tratamientos con calcio se han utilizado para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, ya que ayuda a mantener la integridad de la pared celular vegetal mediante la interacción con la pectina para formar pectato de calcio. Por lo tanto, las frutas y hortalizas tratadas con calcio, generalmente se mantienen más firmes que sus contrapartes (fresco sin tratamiento), durante el almacenamiento. (Rico *et al.*, 2007). Las formas de calcio usadas en la industria son: lactato de calcio, cloruro de calcio, fosfato de calcio, propionato de calcio y gluconato de calcio. La elección de la fuente apropiada depende de la bioviabilidad, solubilidad, sabor y su interacción con el alimento (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011). El lactato de calcio se utiliza para tratar frutos delicados que tienen un índice de envejecimiento alto, como toronja, duraznos, melones cortados, manzanas, entre otros. Se utiliza en concentraciones de 0.5% a 2%, y se ha reportado como una buena alternativa al uso del cloruro de calcio ya que evita el sabor amargo asociado con esta sal. El uso de tratamientos a base de calcio presenta una ventaja adicional, en algunos casos el producto final puede incrementar significativamente el contenido de calcio, lo que podría mejorar la apreciación de estos productos. (Rico *et al.*, 2007).

1.3 TRATAMIENTOS CON LUZ UV-C

1.3.1 Espectro de luz UV

Los rayos UV son ondas electromagnéticas de corta longitud de onda, y por lo tanto de mayor frecuencia y energía, comparándolas con la luz visible. Se extienden desde los 100 nm hasta los 400 nm. A pesar de estar fuera del espectro de luz visible por nuestros ojos (380 a 780 nm), es posible reconocer un fluorescente de UV debido a un colorante que llevan incorporado.

El espectro electromagnético comprende muchos tipos de radiación, cada uno de las cuales comprende un intervalo definido por una magnitud característica, que puede ser la longitud de onda (λ) o la frecuencia (f).

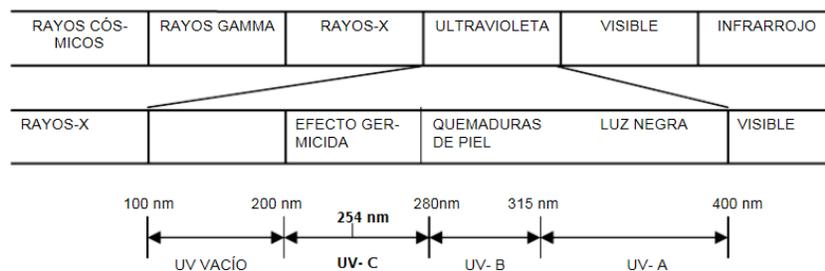


Figura 5. Espectro electromagnético (modificado de Snowball y Hornsey, 1988).

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante que se clasifica en tres tipos: UV-A (315 – 400 nm); UV-B (280 – 315 nm) y UV-C (200 – 280 nm) (Figura 5).

1.3.2 Efecto germicida

Cuando los alimentos están expuestos a la luz del sol, se eliminan los gérmenes y las bacterias y los hongos se previenen de separarse. Este es un proceso natural de desinfección. La desinfección con rayos UV es un proceso físico que no deja efectos residuales.

La radiación UV penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por los materiales celulares, produciendo mutaciones mediante la separación de la doble hélice, evitando de esta manera su reproducción (Gardner y Shama, 2000). Las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas mueren al contacto con la luz. El ADN de las células de los microorganismos absorbe la máxima cantidad de UV cuando la longitud de onda de los rayos UV es de 254 nm. (Figura 6). Esto hace que las células sean más susceptibles a presentar alteraciones.

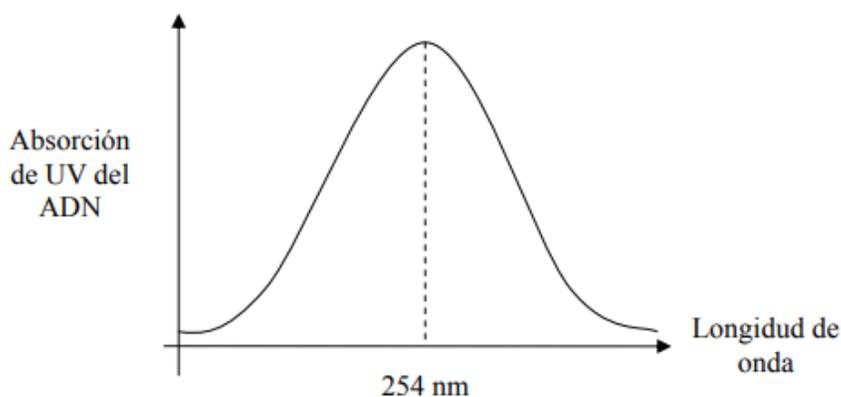


Figura 6: Absorción máxima de UV del ADN

1.3.3 Efecto de radiación UV-C sobre cambios fisicoquímicos.

Uno de los atributos más importantes en los alimentos, son sus características físicas y químicas (como la textura, el color, °Brix, y pH, por citar algunas) ya que estas dotan a los productos de un conjunto de factores organolépticos particulares que permiten identificarlos y en la medida en que estos sean afectados o no, se podrá decidir si la calidad del producto es aceptable.

El tiempo de aplicación UV-C oscila entre 1 y 5 min, periodo que no incrementa significativamente la temperatura del tejido (1-3°C), ni produce alteraciones o favorece los procesos de deterioro del producto. En este sentido, el efecto de la radiación UV-C en los atributos físicos y químicos parece no tener un efecto inmediato sobre el tejido de los vegetales, pues no se muestra daño alguno después del tratamiento, por lo tanto, se determina que no hay diferencias en el color, textura, olor y sabor del alimento, por lo tanto, la radiación

no genera atributos indeseables, sin embargo, la sensibilidad de los tejidos respecto al tratamiento UV-C difiere en función del genotipo, y en ocasiones las dosis altas pueden favorecer la oxidación de compuestos bioactivos del fruto, como vitamina C, carotenos y fenoles, así como el oscurecimiento superficial del tejido. (González-Aguilar et al., 2006). La susceptibilidad del tejido vegetal al tratamiento de irradiación difiere significativamente entre variedades, estados fisiológicos, composición y grosor de la piel del fruto u hortaliza. Por lo tanto, la irradiación de UV-C puede tener efectos adversos cuando la intensidad es superior a la tolerada por el producto. El principal efecto dañino ocurre con dosis muy altas y se manifiesta como manchado y decoloración de la piel, y su intensidad varía con el tiempo de exposición a la UV-C.

1.2.4 Efecto hórmino de la UV-C

Se han propuesto varias definiciones para el término hormesis. Según Calabrese y Baldwin (2002), hormesis es una respuesta adaptativa con características diferenciadas por la relación dosis-respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobreestimulación a dosis bajas. En plantas equivale al efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, que induce respuestas positivas o negativas en los tejidos contra varios tipos de estrés. (Shama y Alderson, 2005). Hay evidencias de efecto positivo del tratamiento UV-C en aumentar las propiedades nutraceuticas de los alimentos y la síntesis de compuestos que actúan con los mecanismos de defensa natural de los vegetales expuestos a estrés (Cisneros-Zeballos, 2003). La exposición de los tejidos a dosis bajas de irradiación UV puede inducir la producción de compuestos fungicidas como fitoalexinas, y retrasar procesos de maduración y senescencia. En el sector hortícola, eso permite reducir las pérdidas postcosecha ocasionadas por desórdenes fisiológicos, como daños por frío, susceptibilidad al ataque de fitopatógenos, daños mecánicos, pérdida de firmeza y otros (Luckey, 1991).

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 PROBLEMA

El propósito de los alimentos mínimamente procesados refrigerados es proporcionar al consumidor un producto vegetal con características fisicoquímicas y enzimáticas muy parecidas al fresco, con una vida útil prolongada y al mismo tiempo garantizar la seguridad de estos, manteniendo una elevada calidad nutritiva y sensorial. Como ventajas de estos alimentos, se puede resaltar la reducción del espacio durante el transporte y almacenamiento, menor tiempo de preparación de alimentos, calidad uniforme y constante de los productos durante todo el año, y/o la posibilidad de inspeccionar la calidad del producto en la recepción y antes del uso. En el caso particular del jitomate, al realizar un corte en la pared celular del fruto, existe una consecuencia que es la pérdida de líquido y con ello el peso y la firmeza disminuye, además de que es más sensible a la proliferación microbiana. Es por esto por lo que, para alargar la vida útil de este tipo de alimentos, es necesario el uso de tecnologías como los recubrimientos, la nanotecnología, el tratamiento UV-C, y la refrigeración.

El jitomate Saladette, es uno de los frutos más consumidos en México y otros países, siendo importante buscar alternativas para su conservación y distribución como productos listos para el consumo. Las tecnologías emergentes representan una buena alternativa para conservar e incrementar la vida útil de los productos.

La nanotecnología es una forma de incorporar sustancias naturales capaces de incrementar la vida útil, encontrándose entre estas las nanopartículas de zeína.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general:

Evaluar el efecto de la infiltración de nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja y tratamiento de desinfección UV-C sobre los cambios de calidad en jitomate

Saladette fresco cortado almacenado a 4°C para inferir su incremento respecto al tiempo de almacenamiento.

2.2.2 Objetivos particulares:

1. Determinar el efecto del tratamiento con nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja y tratamiento UV-C sobre los cambios físicos (pérdida de peso, líquido drenado, pH y °Brix) de jitomate Saladette fresco cortado almacenado en refrigeración, para establecer la efectividad de los tratamientos, mediante técnicas de diferencia de pesos, % de líquido exudado, potenciómetro y refractómetro.
2. Analizar el comportamiento de jitomate Saladette almacenado a 4 °C por efecto de la adición de nanopartículas cargadas con aceite de toronja y/o desinfección UV-C respecto al producto sin irradiación, para establecer el efecto del tratamiento sobre sus propiedades texturales y de color, a través de técnicas de textura y colorimetría.
3. Evaluar el efecto de la adición de nanopartículas cargadas de aceite esencial de toronja sobre la modificación en la actividad enzimática de las pectinmetilesterasas y peroxidasas, correlacionándolos con cambios de textura y color para inferir en base a su incremento, la vida de anaquel de jitomate Saladette, por medio de la técnica de espectrofotometría.
4. Comparar el comportamiento de diferentes formulaciones con y sin nanopartículas de aceite esencial de toronja y con control de referencia del tratamiento de irradiación UV-C mediante la modificación de compuestos bioactivos (fenoles totales y licopeno) presentes en jitomate Saladette, que permitan inferir en las modificaciones de compuestos antioxidantes, a través de técnica de espectrofotometría.

2.3 HIPÓTESIS

Es posible alargar la vida útil del jitomate mínimamente procesado, usando una combinación de nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, más un reforzador de textura como el lactato de calcio, en un 200 % respecto al tiempo de vida hasta la senescencia del jitomate fresco.

2.4 MATERIALES

Las nanopartículas de zeína fueron preparadas por el método de nanoprecipitación y se proporcionaron por el laboratorio L-16 de la UIM campo IV con un tamaño de partícula de 185 ± 35 y potencial zeta de -14.8 ± 2.12 mV, funcionalizadas con aceite esencial de toronja (1 g/L), y se realizó una dilución de 250 mL de nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja, en 250 mL de agua destilada.

Se hizo una solución de 30 g de Lactato de Calcio en 1L de agua destilada, con ayuda de un agitador magnético a temperatura ambiente por un tiempo de 20 min.

Se realizó una solución de 50 mL de plata coloidal en 500 mL de agua destilada, con ayuda de un agitador magnético a temperatura ambiente por 2 min.



Figura 7: Preparación de lactato de calcio al 3% y nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja.

2.4.1 Determinación del estado de madurez

El jitomate presenta 6 diferentes etapas de maduración, razón por la que fue necesario determinar era el mejor estado de madurez considerando un balance entre el momento del consumo y tiempo de almacenamiento. La Tabla 2 muestra los diferentes estados de madurez que se tomaron en cuenta para la selección de la materia prima.

Tabla 2. Estados de madurez del Jitomate Saladette (*Solanum lycopersicum*)

ETAPA	NOMBRE	CARACTERISTICAS
1	VERDE	Verde al 100%
2	ROMPIENTE	Rompimiento de color de verde a amarillo, menor al 10% de la superficie.
3	CAMBIANTE	Más del 10% pero menor al 30% va cambiando de verde a amarillo.
4	ROSA	Más del 30% y menos del 60% es rojo o rosa
5	ROJO CLARO	Más del 60% y menos del 90% de la superficie es roja.
6	ROJO	El 100% de la superficie tiene color rojo intenso.

Las primeras 2 etapas de maduración fueron descartadas, ya que presentan un color que no es apetecible a la vista. En la Figura 8, se muestran los estados de maduración que se utilizaron.

- Estado de maduración 1: Cambiante
- Estado de maduración 2: Rosa
- Estado de maduración 3: Rojo claro
- Estado de maduración 4: Rojo

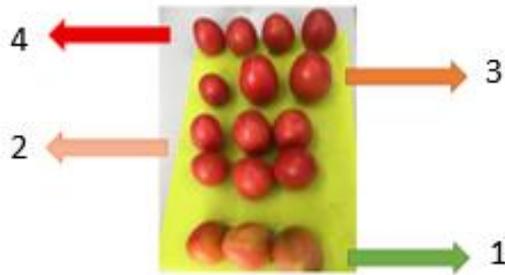


Figura 8. Estados de madurez del Jitomate Saladette

Una vez seleccionado el estado de madurez del jitomate, el fruto entero se lavó y desinfectó empleando una solución de 100 ppm de plata coloidal en la que se sumergió el producto por 2 min, posteriormente se eliminó el pedúnculo y la parte inferior, se partió en mitades y se eliminó la placenta, finalmente se picó en cubos de aproximadamente 1 cm por lado, se pesó para obtener el rendimiento y enseguida se sumergieron en cada uno de los diferentes recubrimientos.

2.4.2 Determinación de la dosis de irradiación en la cámara de tratamiento UV-C

El tratamiento de irradiación UV-C se llevó a cabo en una cámara provista de lámpara de luz UV-C (254 nm) y 15 W de potencia, con una dosis de irradiación de $4.5 \text{ kJ}/\text{m}^2$

2.4.3 Caracterización de la cámara de refrigeración.

La caracterización de la cámara de refrigeración se realizó llevando a cabo la medición de temperatura en todas las charolas del equipo, una vez obtenidas se reguló la temperatura moviendo la perilla correspondiente, la temperatura fue de $4 \text{ }^\circ\text{C} \pm \text{ }^\circ\text{C}$.

2.5 MÉTODOS

2.5.1 Evaluación de propiedades fisicoquímicas

pH

Se determinó empleando un potenciómetro digital marca Hanna Instruments modelo H1213, que se calibró con soluciones amortiguadoras de pH 4 y 7 previo a las mediciones. La muestra de jitomate fue triturada y posteriormente se llevó a cabo la medición. Todas las pruebas se realizaron por triplicado a temperatura ambiente.

°Brix

Se llevó a cabo la extracción de 100 mL de jugo de tomate. La determinación de °Bx se realizó empleando un refractómetro digital marca Hanna modelo Hi 96801. La muestra se homogeneizó previamente, colocando una gota de agua destilada sobre el lente del equipo y se obtuvo la lectura de forma directa en °Brix, de acuerdo con la metodología del AOAC 22.04 (AOAC, 2014).

Líquido drenado

Se determinó como el % de líquido exudado y fue calculado una vez considerado el peso de jitomate en cada envase, para ello se pesó el producto sin envase y se cuantificó el volumen de líquido drenado en cada envase. Calculando el % de líquido drenado con respecto al peso total de producto.

Pérdida de peso

El peso se determinó por diferencias de pesos. Se registró el peso inicial de cada envase de jitomate (50 g c/u) y posteriormente, se pesó en cada muestreo con ayuda de una balanza digital. El % de la pérdida de peso se determinó con la ecuación 1:

Ec. 1:

$$\%P\acute{e}rdida\ de\ peso = \frac{Peso\ inicial\ (g) - Peso\ final\ (g)}{Peso\ inicial\ (g)} \times 100$$

2.5.2 Evaluación de textura y color

Textura

Los cambios de firmeza fueron determinados empleando un texturómetro CT3- Brookfield equipado con celda de carga de 25 kg y con una sonda de acero inoxidable de 3 mm de diámetro (TA42), la velocidad de *pre-test* fue de 1 mm/s y la prueba de 1 mm/s con una carga de detección de 0.7 N para inicio de la prueba, se penetraron 2 mm desde la superficie del producto. Los resultados obtenidos representan el pico máximo y representan la firmeza del producto expresada en Newtons.

Colorimetría

Para la prueba, se usó un colorímetro marca Konica® Minolta modelo CM 600d, y una vez prendido el equipo se calibró con ayuda de un blanco. La prueba se realizó por triplicado. Los parámetros de color obtenidos por el equipo se expresan en la escala CIELAB (L*, a*, b*) siendo estos:

- L: Luminosidad se refiere a la expresión de color relacionado con la capacidad de refracción de la luz de un cuerpo. Se establece en escala de 0 a 100, donde 0 representa el color negro, mientras que 100 representa el blanco. La luminosidad es el atributo del color que es dado por el contenido total de energía. Es el grado entre la oscuridad y el brillo máximo. Da lugar a los colores claros y oscuros.
- a: Variabilidad de rojo a verde
- b: Variabilidad de amarillo a azul.

Cambio Total de Color (ΔE)

La diferencia de color entre dos muestras es la distancia existente en el espacio euclídeo (X, Y, Z) entre los puntos que representan el color de ambas muestras, obtenidos por aplicación del teorema de Pitágoras, que se muestra en la ecuación 2:

Ec. 2

$$\Delta E = \sqrt{(a^* - a_t)^2 + (b^* - b_t)^2 + (l^* - l_t)^2}$$

Donde Δ representa una diferencia y E es la letra inicial de Empfindung del alemán, lo cual significa sensación (Francis y Clydesdale, 1975). Por lo tanto, define la cuantificación de un cambio en el color. Se deduce entonces que dos muestras que presenten los mismos valores triestímulos aparecerán con un mismo color para determinadas condiciones de iluminación y observación. Por el contrario, si cualquier valor triestímulo es diferente, tales muestras no estarán igualadas y la diferencia total será una media aproximada de la diferencia de color percibida entre ellas (Lozano, 1978)

Cromaticidad

La cromaticidad se calculó con los parámetros obtenidos, expresados en L^* , a^* , b^* mediante la ecuación 3:

Ec. 3

$$Cromaticidad = \sqrt{a^2 + b^2}$$

La cromaticidad se define como la saturación de un color, es decir si es brillante, oscuro o grisáceo, indicando el grado de saturación del tono en la superficie analizada.

2.5.3 Actividad enzimática

Contenido de licopeno

El contenido de licopeno fue medido por espectrofotometría siguiendo el método propuesto por Oms-Oliu *et al.*, (2009). Se tomó 0.25g de jitomate y se añadieron junto con 2 mL de Butilhidroxitolueno (BHT) en acetona al 0.05 % (w/v), 2 mL de etanol y 5 mL de hexanos. La mezcla se agitó durante 5 minutos y posteriormente se centrifugó por 15 minutos a 3600 rpm.

Finalmente se tomó la fase superior de la mezcla y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10s UV-Vis Thermoscientific a una longitud de onda de 503 nm. Se realizó la determinación para cada muestra por triplicado a 25°C. El contenido de licopeno fue calculado mediante la ecuación 4:

Ec. 4

$$\text{Contenido de licopeno } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Abs}_{503} * \text{PM} * \text{FD} * 1000}{\epsilon * L}$$

Donde:

PM= Peso Molecular del licopeno (536.9 g/mol)

FD= Factor de Dilución

L= Longitud de la celda

ϵ = Coeficiente de extinción molar (172 000 L/mol/cm)

Pectinmetilesterasa

La actividad PME se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Hagerman y Austin (1986) basado en el cambio de color de un indicador de pH durante la reacción catalizada por la PME. Es necesario realizar la prueba al mismo pH (7.5) para garantizar que los cambios de color sean reproducibles.

Se tomaron 15 g de muestra de jitomate y se homogenizaron con 15 mL de NaCl a 8.8% (a 4°C) con la muestra y se centrifugó por 20 minutos. Se filtró el sobrenadante y se ajustó a pH de 7.5 con NaOH y HCl.

En una celda de espectrofotometría se colocaron 2 mL de pectina cítrica, 500 µL de indicador de azul de bromotimol, 500 µL de agua destilada y 50 µL de extracto, todo ajustado a un pH de 7.5 con NaOH y HCl. Se midió el decremento de la absorbancia a 640 nm durante 5 minutos, utilizando un espectrofotómetro Genesys 10s UV-Vis Thermoscientific.

La cantidad de µmoles de ácido liberados por acción de la PME fueron obtenidos a través de una curva patrón realizada con ácido galacturónico desde 0.1 a 0.8 µmoles de ácido.

Se realizó la determinación para cada muestra por triplicado a 25°C.

Peroxidasa

La prueba se llevó a cabo por el método propuesto por Chisari *et al.*, (2010); se preparó un buffer fosfato (fosfato de sodio monobásico al 0.2 M y fosfato de sodio difásico al 0.2 M en un pH de 7.0), para obtener el extracto se requirió de 20 g de muestra previamente homogeneizada y 20 g de buffer fosfato con polivinilpirrolidona (100:1); se agitó durante 10 minutos, para posteriormente centrifugar. El sobrenadante es el extracto y para la determinación se preparó una solución de guayacol: 1 mL de guayacol, 3 mL de agua oxigenada y aforar a 100 ml de buffer fosfato. Se tomó una alícuota de 200 µL de extracto y 2.8 mL de solución guayacol. Posteriormente la muestra se midió a 470 nm en el espectrofotómetro Genesys 10s UV-Vis Thermoscientific por 5 min.

Ácido Ascórbico

Para la determinación de ácido ascórbico se utilizó el método de Robinson Stock citado por Ranganna (1977), se incorporaron 5g de jitomate en 10 mL de ácido metafosfórico (HPO_3) al 2% y fueron centrifugados por 20 minutos a 6000 rpm. Después se tomó una alícuota de 2.5 mL del extracto resultante y se adicionaron 5 mL de indicador 2,6- diclorofenol-indofenol.

Se midió la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro Genesys 10s UV-Vis Thermoscientific. Todos los ensayos se realizaron por triplicado a temperatura ambiente. La concentración se calculó mediante la ecuación 5:

Ec. 5

$$\frac{\text{mg de ácido ascórbico}}{100 \text{ mL de muestra}} = \frac{A_c * B * 100}{C * 1000 * m}$$

Donde:

A_c = Contenido de ácido ascórbico estimado en la curva patrón

B = Volumen aforado

C = Volumen de la solución

m = volumen de la muestra (g)

Polifenoles totales

Para determinar los Polifenoles totales, se utilizó el método colorimétrico de Folin–Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965) el cual estima los polifenoles totales en diferentes alimentos.

Se tomaron 500 μL de muestra y se le añadieron 100 μL de reactivo de Folin. Se dejó reposar 3 minutos a temperatura ambiente y seguido de esto, se agregaron 2.4 mL de agua destilada y 2.4 mL de NaCO_3 . La mezcla se dejó reposar durante 1 hora en la oscuridad.

Pasado el tiempo de reposo, se hizo una lectura de absorbancia a 725 nm en un espectrofotómetro Genesys 10s UV-Vis Thermoscientific 10S. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado a temperatura ambiente.

Los resultados se reportaron como equivalentes de ácido gálico por mL, obteniéndose una curva patrón de ácido gálico a concentraciones de 50, 100, 150, 250 y 500 mg/L.

2.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.6.1 Variables

Tabla 3. Factores por considerar en el estudio y niveles de variación

Factores de Estudio	Niveles de Variación	Factores Dependientes	Factor Respuesta	Técnica/ Instrumento
Lactato de calcio	3% 0%	pH °Bx Textura	Parámetros fisicoquímicos	Potenciómetro Refractómetro Texturómetro
Tratamiento UV-C	4.5 kJ/m^2 0 kJ/m^2	Colorimetría Pérdida de peso Líquido drenado	Parámetros físicos	Colorímetro Konica® Minolta modelo CM 600d Diferencia de pesos % líquido exudado
Nanopartículas de zeína con aceite esencial de toronja	50% 0%	Ácido ascórbico Licopeno Polifenoles PME POD	Capacidad antioxidante	Espectrofotometría

2.6.2 Análisis estadístico

Con la finalidad de evaluar la efectividad de los tratamientos se llevará a cabo un ANOVA de dos vías considerando el tiempo y tratamiento, determinando el efecto de cada una de las variables sobre los parámetros de calidad a evaluar.

2.6.3 Tratamientos

Tabla 4. Tratamientos

LOTE	TRATAMIENTO
1	Control
2	Control con UV-C
3	Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja
4	Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja con UV-C
5	Lactato de calcio
6	Lactato de calcio con UV-C
7	Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja combinadas con lactato de calcio
8	Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja combinadas con lactato de calcio con UV-C

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE MADUREZ

Una vez seleccionados los jitomates, pesados, limpios (sin pedúnculo, placenta ni la parte inferior del jitomate) así como cortados, se obtuvieron los siguientes rendimientos:

Tabla 5. Rendimiento del Jitomate Saladette

ETAPA DE MADURACIÓN	RENDIMIENTO
1	31.94 %
2	31.76%
3	66.10 %
4	50.72 %

Siendo el mayor, la etapa de maduración 3. De esta manera se eligió la maduración adecuada para el tratamiento.

3.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

3.2.1 pH

En la Figura 8, se muestra el cambio de pH durante el tiempo de almacenamiento, observándose que el lote 1 (muestras control sin ningún tratamiento) tuvieron un valor inicial de 4.42 disminuyendo hasta 4.16 después de 3 días de almacenamiento atribuido a una acidificación que conlleva a una baja en el valor del pH, para finalmente al día 8 terminar su tiempo de monitoreo con un pH de 4.2. Cabe resaltar que el lote 2, correspondiente a jitomate fresco cortado tratado con irradiación UV-C tuvieron disminución de pH de 4.4 a 4.2, logrando con ello conservar el producto hasta por 10 días de almacenamiento refrigerado. Por otro lado, los lotes 3 y 4 tratados con nanopartículas de zeína funcionalizadas con aceite

esencial de toronja con y sin irradiación UV-C, no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en la variación de pH durante el periodo de almacenamiento logrando mantener un pH estable hasta los 10 días de almacenamiento, después de esto y hasta el día 17 las muestras tuvieron un pH de 4.2 indicativo de cambio, resaltando que con ello que el producto logró mantenerse por más tiempo en comparación con las muestras control con y sin tratamiento UV-C; por otro lado los lotes 5 y 6 sometidos a pretratamiento con lactato de calcio con y sin irradiación UV-C mostraron una disminución de pH inicial respecto a las muestras sin este tratamiento, siendo el pH inicial de 4.15 y 4.23 respectivamente con fluctuaciones no mayores a 4.29 durante 10 días de almacenamiento debido a la incorporación de este componente y a su disociación en la superficie del tejido para formar pectato de calcio y por ende una estructura más rígida. Sin embargo, es posible resaltar que el empleo de este compuesto no logró incrementar la vida útil del producto más allá de los 10 días tal y como ocurrió en las muestras control con irradiación UV-C. Finalmente, los lotes 7 y 8 con lactato de calcio más tratamiento con nanopartículas de zeína funcionalizadas con aceite esencial de toronja con y sin irradiación UV-C, tuvieron un pH de 4.3 al inicio de almacenamiento el cual fue estabilizado mejor en aquellas muestras con tratamiento de irradiación UV-C.

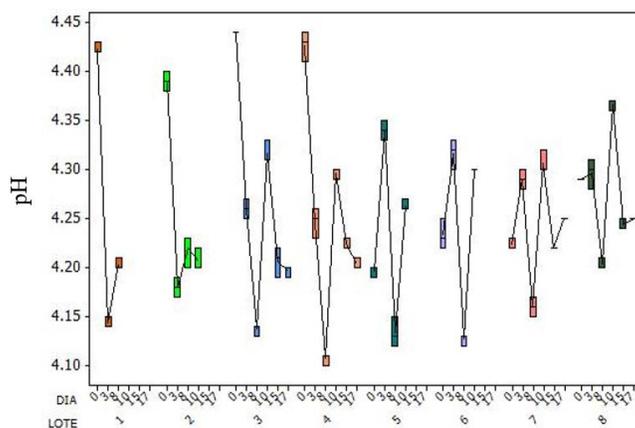


Figura 9, Cambio de pH durante el tiempo de almacenamiento.

Akbadak (2010), menciona que los jitomates en estado de maduración 4, presentan valores de hasta 4.6 de pH. En los diferentes lotes tratados, ninguno llegó a estos valores siendo

independiente el tratamiento en el que el fruto fue inmerso, y dependiendo de la etapa de maduración con la que se experimentó.

La Figura 9, muestra como todos los lotes sufren un aumento en el pH del jitomate, en 1 o 2 días de su almacenamiento. Este aumento se debe al proceso de maduración y, por tanto, a la disminución de la acidez (Anthon y col., 2012).

3.2.2 °Brix

Los sólidos solubles dependen en su mayoría, de la etapa de maduración en que se encuentre el producto. El lote adquirido estaba en maduración “Rojo claro” es decir, más del 60% de la totalidad del jitomate debe ser roja, pero menos del 90%, esto quiere decir que está en plena madurez comercial. Inicialmente los °Brix del jitomate fresco cortado fueron entre 4.6 a 4.8, por lo que no alcanzaron los parámetros de calidad según Bartell *et al.*, (2010), quien menciona que este parámetro es de 5 a 7°Brix.

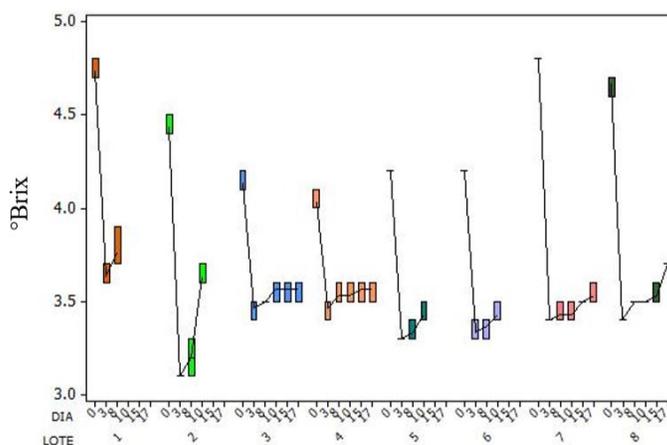


Figura 10, Cambio de °Brix durante el tiempo de almacenamiento.

Después de 3 días de almacenamiento se mostró una ligera disminución en los °Brix, atribuido al tratamiento y al líquido drenado que arrastro parte de los sólidos solubles, sin que por ello exista diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos. Anthon y col., (2012) demostraron que los sólidos solubles aumentan durante la maduración, y permanecen constantes debido a un exceso en la madurez. La Figura 10, muestra que este comportamiento se presenta en los lotes 3 y 4 a partir del día 8 de almacenamiento.

3.2.3 Pérdida de peso

En el caso del lote 1 (Control) la pérdida de peso al cabo de 8 días de almacenamiento fue de 0.6 g, y para el lote 2 (Control con UV-C) la irradiación que se aplicó logró mantener el peso estable en los días 3 y 8, siendo hasta el día 10 cuando presentó una disminución de 0.8 g.

El lote 3, tratado con nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja fue el lote que presentó más pérdida de peso ya que después de 17 días de almacenamiento perdió 1.3 g. Aunado a eso, la pérdida se presentó constante en cada día de medición (Excepto en el día 3 donde la pérdida fue de 0.5 g) por lo que tratar jitomate únicamente con este tratamiento representa perder 0.2 g en cada día de pesaje. Fagundes y col. (2014), reportaron una pérdida de peso de 3.2% en tomates recubiertos con hidroxipropilmetilcelulosa a los 15 días de almacenamiento. En este estudio, el lote 3 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja) fue el lote que tuvo mayor porcentaje de pérdida de peso, con el 2.6% respecto al peso inicial.

En el caso del lote 4, la pérdida de peso fue de 1.1 al final de 17 días, esto quiere decir que se perdieron 0.2 g, menos que en el lote tratado con el mismo tratamiento, pero sin UV-C.

Los lotes 5 y 6 fueron inmersos en Lactato de Calcio, tratamiento que ayuda a reforzar las paredes celulares del fruto. Esto se vio reflejado en que estos lotes perdieron 0.7 g de peso después de 10 días de almacenamiento, y la única diferencia que existió entre lotes fue la pérdida de peso al tercer día.

Los lotes 7 y 8 fueron inmersos en Lactato de Calcio y Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja (El Lote 8 se agregó tratamiento UV-C), presentaron la menor pérdida de peso, al cabo de 17 días. Sin embargo, el lote al que se añadió tratamiento UV-C tuvo una pérdida de peso de 0.8 g diferencia del lote 7 que perdió 1 g.

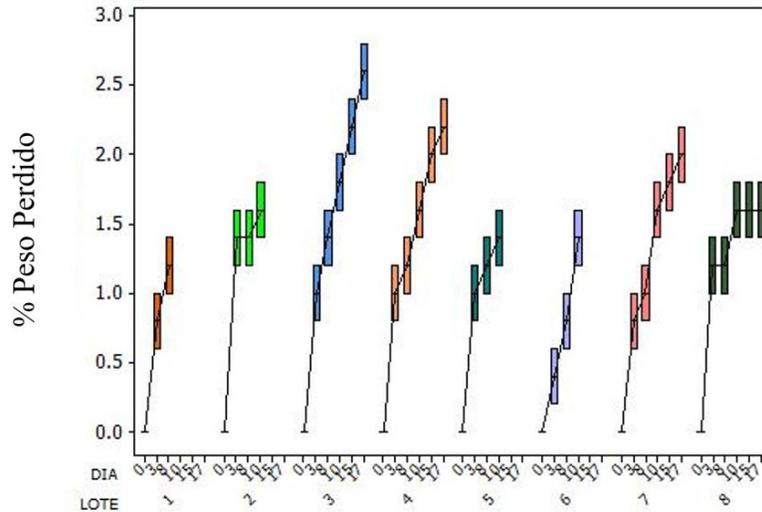


Figura 11, % de peso perdido durante el tiempo de almacenamiento.

Kurt (2014), menciona que, si un producto pierde un promedio de 5% de su peso fresco, este será indeseable en el mercado. Considerando el tiempo de vida útil más extenso (17 días de almacenamiento) del jitomate mínimamente procesado, ya sea tratado con nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja o con una combinación de nanopartículas con lactato de calcio, la pérdida fue de 2.6% y del 2% por lo que se considera, un producto deseable.

3.2.4 Líquido drenado

Los dos lotes control, presentaron la mayor cantidad de líquido drenado, comparados con los lotes que fueron sumergidos en los diferentes tratamientos. En la Figura 11, se observa que los lotes tratados con el lactato de calcio no tuvieron líquido drenado, incluso en el día 10 que fue el momento de senescencia.

Cuando se le agrega tratamiento de nanopartículas de zeína con aceite esencial de toronja, sus respectivos lotes (3 y 4) presentaron líquido drenado desde el día 15 de almacenamiento. Sin embargo, al igual que en la pérdida de peso el tratamiento UV-C en el Lote 4 mejora las características físicas del jitomate y hace que pierda 0.2 mL menos que el Lote 3.

Al combinar un reforzador de textura como lo es el lactato de calcio, y las nanopartículas de zeína, se logra que estos dos lotes sean los de menor presencia de líquido drenado, a pesar de

que presentaron líquido a partir del día 8 (Lote 7) y 10 (Lote 8). Aun presentando líquido, exhibieron menos mililitros en comparación con los demás lotes.

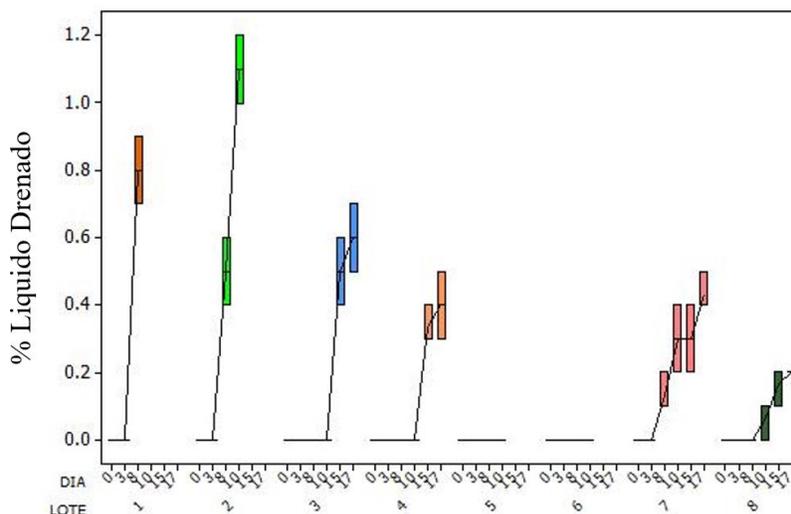


Figura 12, % líquido drenado durante el tiempo de almacenamiento.

Castellano y col. (2005) señalan que, a mayor temperatura de almacenamiento, la pérdida de agua en el fruto es mayor debido a la modificación en la actividad respiratoria. Al tener la temperatura de almacenamiento constante (4°C), se descarta la posibilidad de influencia de temperatura en el % de líquido drenado, considerándose únicamente como parte de la estructura de la pared celular, ya que al estar reforzada (con el lactato de calcio, en los lotes 5 y 6) no permite la libre salida de líquido.

3.3 CAMBIOS DE TEXTURA Y DE COLOR

3.3.1 Textura

El ablandamiento del jitomate mínimamente procesado es consecuencia del proceso de maduración, ya que en media de que este avanza, hay una despolimerización o acortamiento de la longitud de la cadena de la pectina, y a su vez, se produce un aumento en las actividades enzimáticas de la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasas (Yaman y col., 2002).

El día 0, representa el momento en que el producto tuvo la mayor firmeza en todos los lotes, sin embargo, el lote 5 tratado con un reforzador de textura como lo es el lactato de calcio, representa el valor más alto en la tabla, con una fuerza utilizada de 2.66 N. Para el caso de la firmeza, el tratamiento UV-C no resulta eficiente ya que en el lote 6, desde el día 0 la fuerza utilizada fue menor a la que se usó en el lote 5, lo que quiere decir que la firmeza del lote 6 disminuyó por la radiación.

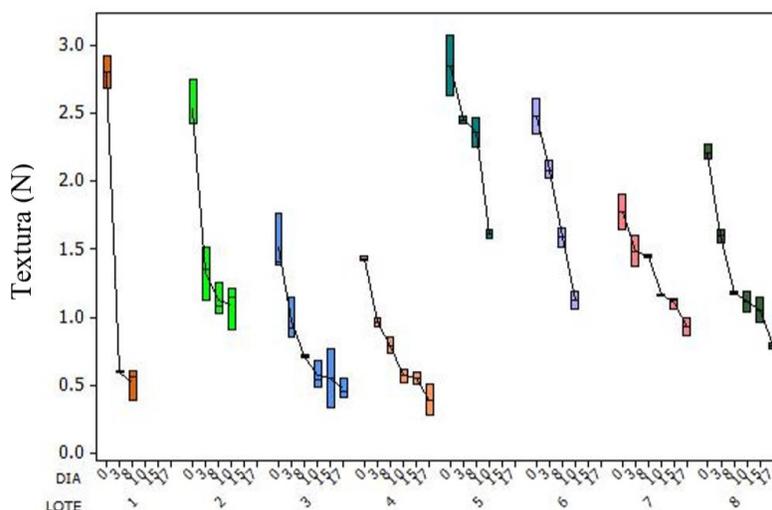


Figura 13, Cambios de textura durante el tiempo de almacenamiento.

Fagundes y col. (2014), encontraron que el efecto del recubrimiento sobre el mantenimiento de la firmeza del fruto, también se ha relacionado con su capacidad para controlar la pérdida de peso, y este resultado se muestra en la Figura 11 (Peso perdido) en donde estos 2 lotes tratados con un reforzador de textura presentan la menor pérdida de peso, y en la Figura 13 (Textura), donde muestra la mayor firmeza respecto al tiempo de almacenamiento.

Los Texturizadores, en el caso del lactato de calcio, ayudan a mantener la integridad de la pared celular vegetal, mediante la interacción con la pectina, para formar pectato de calcio. Por lo tanto, los lotes tratados con esta sal cálcica se mantuvieron más firmes que sus contrapartes (los lotes 1, 2, 3 y 4).

En el caso de los lotes 7 y 8, presentaron una firmeza mayor en el último lote que se recubrió con los 2 tratamientos más UV-C en el día 0, sin embargo, esta característica solo se mostró hasta el día 8 de almacenamiento, pues a partir de este día el lote 7 (que no fue irradiado), resultó en valores de firmeza más altos.

Al tener menores valores en los lotes 4, 6 y 8 (Comparados con los lotes 3, 5 y 7 respectivamente) se puede concluir que la irradiación UV-C afecta la textura del jitomate, sin importar el tratamiento aplicado.

Además del tratamiento UV-C, la retención de la firmeza en los jitomates con recubrimiento ha sido relacionada con una reducción de las actividades enzimáticas causada por una modificación en la atmósfera interna de la fruta (Asgar y col., 2010; Zapata y col., 2008).

3.3.2 Colorimetría

Cambio Total de Color (ΔE)

La Figura 13 muestra la cuantificación del cambio de color, en los diferentes lotes de jitomate mínimamente procesado, inmerso en diferentes tratamientos y con o sin aplicación de UV-C. Estos cambios de color se deben a modificaciones en la composición y la degradación de la clorofila (Fajar-Falah *et al.*, 2015).

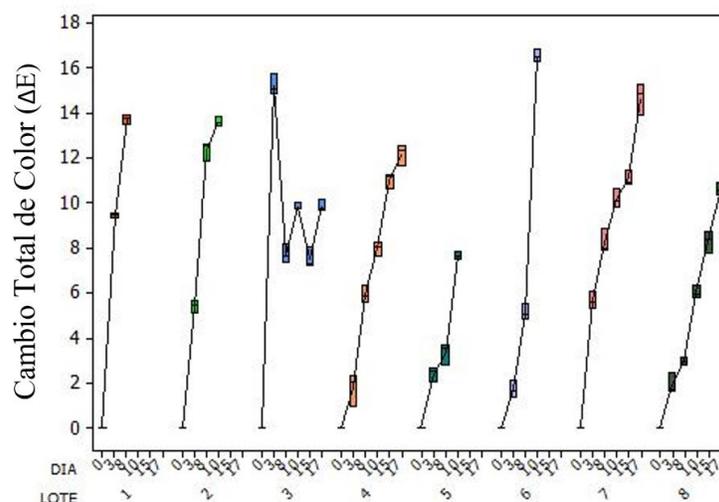


Figura 14, Cambio total de color (ΔE) durante el tiempo de almacenamiento.

En el lote 1, que es el control (Jitomate que no fue inmerso en ningún tratamiento, ni expuesto a luz UV-C), tenemos en el día 3 un cambio de 9.46 unidades, y al momento de su senescencia un cambio del 130.7% respecto a su día 0, por lo que el color rojo se intensificó en este

porcentaje. Este valor, se tomó como referencia para comparar los lotes: 3 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja), 5 (Lactato de calcio) y 7 (Combinación de nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, con lactato de calcio).

En el lote 3, el cambio más alto se encontró en el día 3, cuya diferencia con el día 0 es de 15.2 unidades, y luego, comparándolo con el día 8 este valor disminuyó en un 49%. En este caso, las nanopartículas crearon una diferencia de color a lo largo del tiempo de almacenamiento, ya que este lote se muestra inestable en su colorimetría.

En el lote 5, los cambios van en aumento respecto al tiempo de almacenamiento hasta llegar al día 10, momento de senescencia del fruto, al igual que pasa en el lote 7, sin embargo, este lote en el día 17 de almacenamiento logró tener cambios en su color del 140.6% respecto a su día 0.

Comparando el lote 1 con el lote 7 en el momento de su senescencia (Lote 0 día 3, 13.74; Lote 7 día 17: 14.68) el cambio de color en este último fue menor ya que con el tratamiento en el que fue inmerso el fruto, las reacciones enzimáticas, y con ello la maduración del fruto fue más lenta, por lo que los cambios en el color se ven menos afectados y van en aumento donde cada día de medición el valor es creciente.

En el caso del jitomate únicamente con tratamiento UV-C (Lote 2), tuvo 2 días más de vida útil que el lote 1, y el cambio en su color fue menor comparado con el jitomate que no tuvo ningún tratamiento. Al poner el jitomate con un tratamiento de desinfección físico como lo es la irradiación, la degradación del fruto es más lenta. Por esta razón, el cambio de color respecto al lote 1 es de -0.13 unidades.

Al ser el lote 2 el que se expuso al tratamiento UV-C, este se va a comparar con los lotes 4 (Nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja y tratamiento UV-C), 6 (Lactato de calcio y tratamiento UV-C) y 8 (Nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja, Lactato de calcio y tratamiento UV-C).

En el lote 4, los cambios van en aumento conforme el tiempo de almacenamiento del jitomate, hasta llegar a un cambio de 12.1 unidades en la diferencia de color.

En el lote 6, donde se utilizó un reforzador de textura que es el lactato de calcio, el cambio más representativo en el color del fruto se presentó en el día 10, que fue el momento de su muerte. Vemos que en el día 8 había un cambio de color de 5.14, y para el día 10 el valor aumentó 11.39 unidades.

El lote 8 presentó el menor cambio de color de todos los demás lotes, al finalizar el tiempo de almacenamiento (día 17), el color cambio 10.61 unidades y representó el valor más bajo, en el tiempo más largo de almacenamiento. Esto se explica debido a que la combinación de nanopartículas cargadas con aceite esencial de toronja (con propiedades antimicrobianas), el lactato de calcio (reforzador de textura) más un tratamiento físico de desinfección UV-C, hace que las propiedades enzimáticas, físicas, fisicoquímicas y microbiológicas sean retardadas y con esto, la degradación del fruto sea menor y solo afecte la maduración natural del fruto.

Cromaticidad

La Figura 14 representa el comportamiento de la cromaticidad del jitomate, con sus diferentes recubrimientos. En el caso del Lote 1 (Control) presentó un aumento progresivo en la cromaticidad, respecto a los días de almacenamiento, aumentando 8.54 unidades al momento de su senescencia. En el caso del lote 2 (Control con tratamiento UV-C) en el día 0, se intensificó el color rojo, ya que aumentó el croma 2.48 unidades respecto al lote 1. Al pasar 10 días de almacenamiento, aumento en un 151.32% su intensidad de color rojo comparándolo con el día 0.

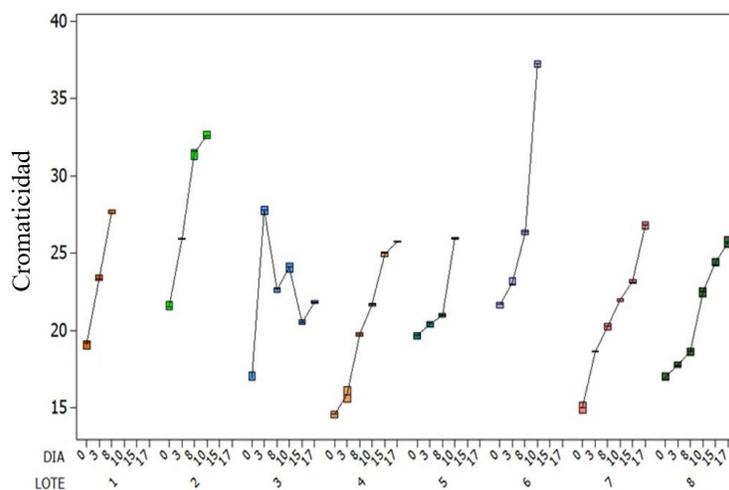


Figura 15, Cambio en la cromaticidad durante el tiempo de almacenamiento.

La adición de nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja en el lote 3, tuvo diferencias significativas a lo largo de su almacenaje, ya que, en comparación con el resto de los lotes, no tuvo un comportamiento estable y a lo largo de las mediciones de color, hubo aumento y disminución constante, sin embargo, esto no representó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

El lote 6 tratado con Lactato de calcio y tratamiento UV-C, aumento 172% comparando el último día de vida útil del producto, respecto a su día 0.

Los lotes restantes, tuvieron un aumento en la intensidad de color rojo a partir del tercer día de almacenamiento, y fue progresivo hasta el momento de su senescencia, esto debido al oscurecimiento del fruto ya que al momento de su tratamiento en el día 0, este se encontraba en una etapa de maduración 3. Esto quiere decir que no alcanzaba su grado máximo de maduración y por lo tanto de color. Al pasar los días, la maduración se fue alcanzando hasta llegar al momento de la senescencia, representado por el punto máximo de color en la escala. Perkins-Veazie *et al.*, (2001), encontraron que la cromaticidad se correlaciona de manera directamente proporcional con el contenido de licopeno en melones, y en estudios realizados por D'Souza *et al.*, (1992), proponen que los valores de cromaticidad se correlacionan con el contenido de licopeno en jugo de tomate.

Luminosidad

El estado de madurez elegido fue el 3, rojo claro con características que indican que entre 60% y 90% de la superficie del jitomate es roja. Sin embargo, esta no es la última etapa de maduración del fruto. Por lo que, al pasar el tiempo de almacenamiento, el fruto fue madurando y con ello el color fue cambiando a uno más intenso. Esto lo podemos observar con la luminosidad.

En el lote control (Lote 1), tenemos una L inicial de 30.8 en promedio, y en el lote control que fue sometido a un proceso de radiación (Lote 2) obtuvimos un valor más bajo de L (28.8), con esos valores partimos como referencia para comparar como afecta el tratamiento usado en cada lote en la L, a partir del día 0.

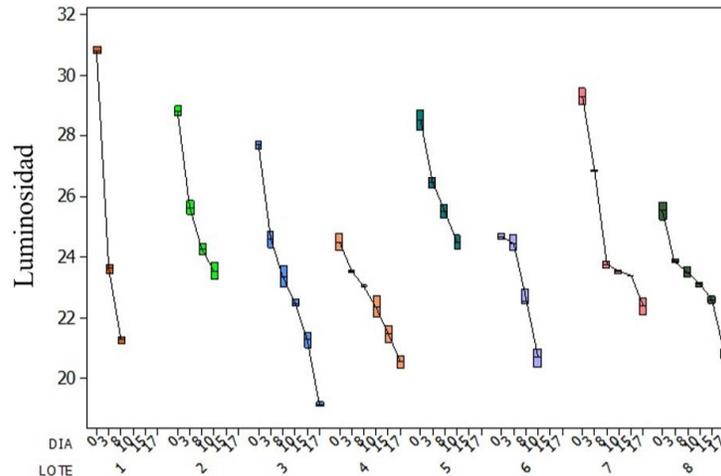


Figura 16, Cambio en la luminosidad durante el tiempo de almacenamiento.

En todos los tratamientos, podemos observar que, con la adición de un tratamiento, ya sean nanopartículas de zeína, lactato de calcio, combinación de estos, con y sin tratamiento de UV-C, el parámetro de la luminosidad se disminuyó, esto significa que visualmente el color rojo se intensificó, ya que, al iniciar el proceso de maduración con el tomate en estado inmaduro, se aumenta la luminosidad. Sin embargo, al comenzar el proceso de maduración, la luminosidad disminuye hasta la senescencia (Akbuldak, 2010).

No obstante, el lote en el que fue más significativo el aumento fue en el Lote 3 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja) ya que aumentó en un 10.3% la intensidad respecto al lote 1 (Control). Y para el caso de los lotes que fueron sometidos a irradiación, el lote 4 aumentó en un 14.9% respecto al lote 2 (control con tratamiento UV-C). En el resto de los lotes el comportamiento es similar, con la adición de un tratamiento para recubrir el fruto el valor de L disminuye un 7.4% (para el lote 5) y 4.9% (para el lote 7) y al ser sometido a un tratamiento UV-C, el valor vuelve a disminuir un 14.3% (lote 6) y un 11.31% (lote 8), esto se explica con lo reportado por *Vargas et al.*, (2006) que indica que los cambios en las propiedades de reflexión cuando se recubre al fruto, provoca la disminución en la luminosidad.

En el caso de los lotes 7 y 8 que fueron recubiertos con la combinación de nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja, más lactato de calcio, fueron los que menos sufrieron cambios respecto a sus lotes control.

3.4 ACTIVIDAD ENZIMATICA

3.4.1 Licopeno

Es difícil comparar los datos obtenidos en los diferentes estudios debido a que son muy numerosos los factores (composición del alimento, temperatura, presencia/ausencia de oxígeno) que pueden influir en la estabilidad del licopeno durante su procesado térmico y almacenamiento. El efecto es contrario cuando la temperatura está por debajo de los 0°C; en este caso cuanto menor sea la temperatura, mejor es la conservación del licopeno.

En variedades comunes de tomate, la concentración de licopeno es de 3 a 12.2 mg/100 g de fruta madura (Arias *et al.*, 2000; Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Tonucci *et al.*, 1995; Khachik *et al.*, 1992; véase Candelas-Cadillo *et al.*, 2005).

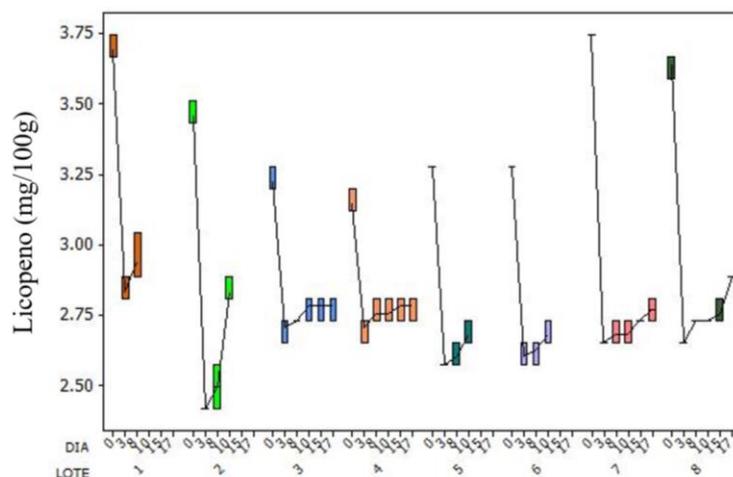


Figura 17, Contenido de licopeno durante el tiempo de almacenamiento.

En el caso del lote 1 (Control) la cantidad de licopeno es de 3.69 mg/100g de jitomate. Sin embargo, al día 3 de almacenamiento este valor disminuye a 2.83 mg/100 g de jitomate, y en el día 8 de almacenamiento la cantidad se incrementa a 2.93 mg/100 g de jitomate. En el lote 2, ocurre la misma disminución en el día 3 de almacenaje y los días 8 y 10, va aumentando el contenido de licopeno hasta llegar a 2.83 mg/100 g de jitomate.

En los lotes restantes, ocurre un comportamiento similar. En el día 3, hay una disminución del contenido del carotenoide y al pasar los días de almacenamiento, el valor aumenta. Al

agregar un recubrimiento al fruto en el día 0, no representa un aumento en el valor del licopeno ya que los lotes control mantienen la misma tendencia del día 3.

En los lotes 3 y 4 (tratamiento de nanopartículas cargadas con aceite esencial de toronja, con y sin tratamiento UV-C respectivamente) hay un comportamiento similar al de los lotes control. En el día 3, el contenido de licopeno disminuye hasta 2.70 mg/100 g de jitomate en ambos casos, y conforme pasan los días de almacenamiento, aumenta progresivamente hasta llegar a 2.78 mg/100 g de jitomate para ambos lotes. En este caso, hay diferencia estadísticamente significativa entre ellos, por lo que, al recubrir el jitomate en nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja, y someterlo o no a tratamiento UV-C, no representa una diferencia en el contenido total del licopeno.

El recubrimiento con lactato de calcio representa los valores más bajos del contenido de licopeno, con la misma tendencia de los demás lotes, y sucede al ser o no irradiado con UV-C.

En los lotes 7 y 8, el licopeno es mayor que en los lotes control por 0.05 mg/100 g de jitomate y por 0.19 mg/100g de jitomate (lote 7 comparado con lote 1, y lote 8 comparado con lote 2). Y a pesar de que la disminución de licopeno en el lote 7 es mayor a partir del día 3 es mayor respecto al lote 1, en el caso del lote 8 que fue sometido a irradiación, el valor de licopeno durante todo el almacenamiento siempre fue mayor comparándolo con el lote control 2 también sometido a tratamiento UV-C.

3.4.2 Pectinmetilesterasa

La Pectinmetilesterasa contenida en el lote control (Lote 1) estuvo presente en el jitomate en el día 0 con una cantidad de 7.0×10^{-5} U/mL y conforme pasó su tiempo de almacenamiento, el valor fue aumentando hasta llegar a 0.00019 U/mL. La PME es responsable del rompimiento de pectina y otros materiales de la pared celular, resultando en un producto con viscosidad reducida y propiedades organolépticas indeseables (Chakraborty *et al.*, 2015). Al romperse el tejido, se libera el líquido del jitomate, por lo tanto, su tiempo de vida útil en este lote fue de 8 días, tomando en cuenta que este lote no fue tratado con UV-C ni con un recubrimiento.

En el caso del lote 2, la PME estuvo presente en el día 0 con un valor de 7.8×10^{-5} U/mL y al momento de la senescencia del fruto se obtuvo una cantidad de 0.00027 U/mL, y el día más significativo en donde cambió el contenido de PME en el fruto fue del día 8 al 10, ya que el valor aumentó 0.00016 unidades, sin embargo, esto no representa una diferencia estadísticamente significativa.

Los lotes tratados con nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, con y sin tratamiento UV-C (Lotes 3 y 4 respectivamente), presentaron un comportamiento creciente en la cantidad contenida de la enzima, sin embargo, el lote 3 al final de su vida útil en el día 17 de almacenamiento, tuvo una diferencia de +0.00013 unidades comparado con el lote 4. A pesar de esto, el lote 4 perdió más textura (Figura 12) ya que la irradiación afectó a los lotes que se sometieron a este tratamiento.

La enzima PME no tuvo diferencia estadísticamente significativa entre los lotes 5 y 6, además de ser los lotes que menos cantidad de enzima tuvieron al final de sus 10 días de almacenamiento. Al ser lotes que fueron inmersos en un reforzador de textura, la PME presente no degradó la pectina contenida en la pared celular del jitomate, por lo tanto, el fruto no tuvo ablandamiento.

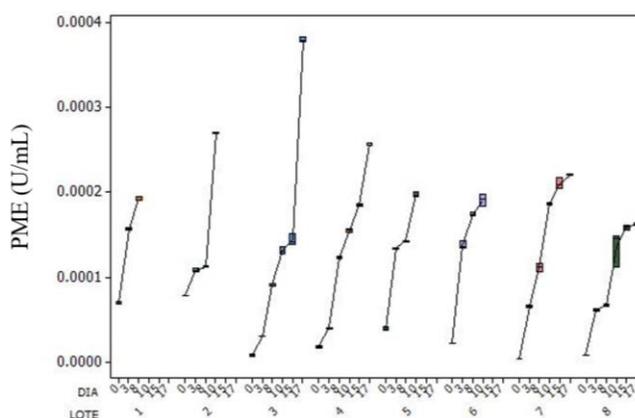


Figura 18, Cambio de pectinmetilesterasa durante el tiempo de almacenamiento.

Los lotes que se trataron con Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja y Lactato de calcio, con y sin tratamiento UV-C (Lotes 7 y 8 respectivamente) tuvieron un comportamiento similar al del resto de los lotes, aumentando con el transcurso del almacenamiento la cantidad de PME contenida en el jitomate. Sin embargo, el lote 8 al cabo

de 17 días de almacenamiento fue el lote que tuvo menor cantidad de la enzima, con un valor de 0.00016 U/mL, pero a pesar de este valor, la textura se vio más afectada en el lote 8 con respecto al lote 7, ya que la irradiación afectó de manera directa a la firmeza del fruto.

3.4.3 Peroxidasa

La POD (peroxidasa) son responsables de la degradación de nutrientes, color y sabor característico del jitomate y para realizarlo requiere de la presencia de oxígeno para llevar a cabo su actividad, produciendo sabores desagradables en vegetales y oscurecimiento en frutas. El mecanismo de acción de la POD implica la formación de complejos de donantes de enzimas – hidrógenos, los cuales pueden ser fenoles, aminos u otros compuestos orgánicos. Por lo tanto, la POD podría reducir sustancialmente los beneficios para la salud, perdiendo nutrientes importantes como el ácido ascórbico y carotenoides (Hemeda & Klein, 1991; Davey et al., 2000; Wrostand, 2000).

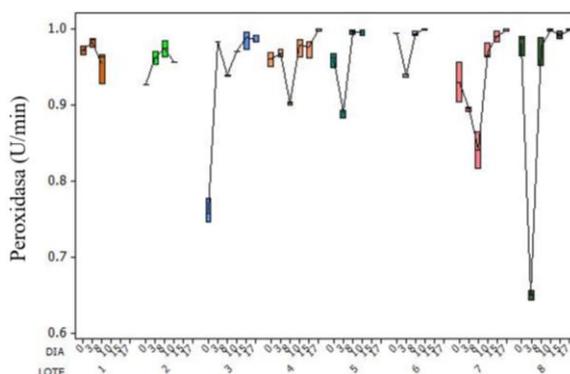


Figura 19, Cambio de peroxidasa durante el tiempo de almacenamiento.

Los resultados de POD están expresados en absorbancia relativa, es decir a qué velocidad se está descomponiendo el sustrato. Mediante el incremento de la concentración de un sustrato, la velocidad de la reacción aumenta.

El lote control (Lote 1) tiene una velocidad de descomposición del sustrato de 0.971 U/min y en el último día de almacenamiento esta fue de 0.952 U/min, esto quiere decir que la

velocidad de reacción disminuyó conforme pasó el almacenamiento y con ello la concentración del sustrato.

El lote 3 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja), el lote 5 (lactato de calcio) y el lote 7 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja y lactato de calcio) aumentaron la velocidad de descomposición del sustrato en un 3.49%, 4.57% y 4.87% respectivamente, comparados con el día 8 de almacenamiento del lote control, sin tratamiento UV-C.

En el lote 2, el sustrato aumentó al cabo de 10 días de almacenamiento y logró degradar los nutrientes, así como afectar al sabor del fruto hasta llegar a la muerte del fruto.

Los lotes 4, 6 y 8 aumentaron la velocidad de descomposición del sustrato en un 4.5%, comparados con el día 10 de almacenamiento del lote control 2, con tratamiento UV-C, en los diferentes tratamientos todos aumentaron el mismo porcentaje de aumento de velocidad, sin existir diferencia estadísticamente significativa entre lotes con tratamiento UV-C.

3.4.4 Ácido ascórbico

La Figura 19, muestra los cambios en el contenido de ácido ascórbico, observándose que el lote control (Lote 1), el ácido ascórbico disminuyó de 229.68 hasta 146.76 mg/mL. Con ello se establece que ácido ascórbico se pierde en función al tiempo de almacenamiento. Además, es importante resaltar que el hecho de tratar por UV-C el jitomate con la finalidad de realizar una desinfección superficial provocó una disminución drástica del ácido ascórbico disminuyendo hasta 47.59 mg/mL al final del almacenamiento.

Una de las características de los diferentes lotes, fue que a partir del día 8 de almacenamiento hay una disminución de la cantidad de ácido ascórbico contenida en cada lote. Esto puede ser posible gracias a las propiedades de barrera al oxígeno que tienen los recubrimientos; cuando el fruto recubierto tiene contacto con el oxígeno, se genera un deterioro oxidativo que produce una disminución en el ácido ascórbico. (Tirkey *et al.*, 2014).

La Figura 19 también muestra los tratamientos con nanopartículas de zeína lotes 3 y 4 también disminuyen el contenido de ácido ascórbico, a comparación de los lotes 5 y 6 tratados con lactato de calcio, que obtuvieron valores mayores al lote control (1).

En los lotes 7 y 8, tratados con combinación de nanopartículas de zeína con aceite esencial de toronja y lactato de calcio, existió en el día 0 una diferencia de casi 100 mg/mL de ácido, entre el lote 7 (113.7 mg/mL) y el lote 8 (229.54 mg/mL), considerando que este último fue tratado con luz UV-C.

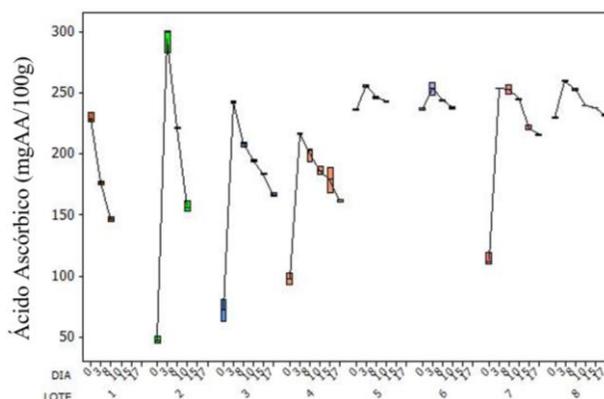


Figura 20, Cambio de ácido ascórbico durante el tiempo de almacenamiento.

La exposición al oxígeno, metales, luz, y calor, destruye el ácido ascórbico, por lo que debe ser almacenado en un sitio oscuro y frío, y en recipientes no metálicos.

Amaro et al., (2018), indican que un aumento tardío en el contenido de ácido ascórbico puede deberse a las respuestas de estrés adicionales, provocadas por el tiempo de almacenamiento o una liberación de más metabolitos de las células ya que degradan la creciente eficiencia de extracción

3.4.5 Polifenoles totales

La Figura 20 muestra el comportamiento de los polifenoles durante el periodo de almacenamiento, encontrándose que el lote control, (Lote 1) el contenido de fenoles fue de 690.22 mg EAG/ 100 g de jitomate y en el Lote 2 los fenoles fueron de 739.2 mg EAG/ 100 g de jitomate. En los lotes restantes, los polifenoles alcanzaron hasta 874 mg EAG/ 100 g de jitomate en el lote 3. Las concentraciones de fenoles totales en tomate fresco son altas y

parecidas a las reportadas por Kerkhofs *et al.*, en el 2005, quienes obtuvieron 682.1 ± 9.3 y 568.2 ± 21.7 mg EAG/ 100 g de jitomate en tres variedades de tomate de Nueva Zelanda.

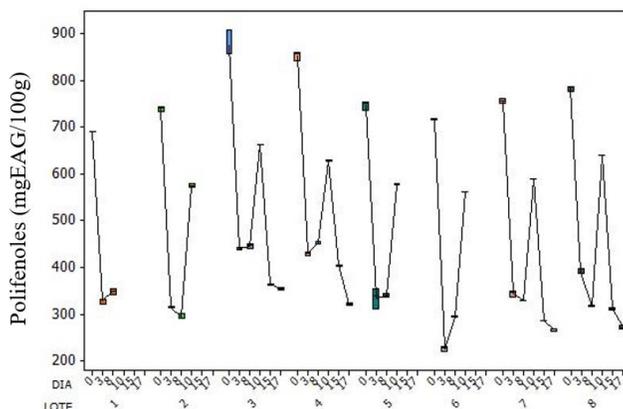


Figura 21, Cambio de polifenoles durante el tiempo de almacenamiento.

En los diferentes lotes de esta experimentación, el comportamiento de los fenoles es similar entre ellos. El día 0 representa el valor máximo de todas las mediciones realizadas durante su tiempo de almacenamiento en vida útil del producto. En el día 3, hay una disminución de polifenoles y para el día 10, todos los lotes (a excepción del lote 1, que llegó a la senescencia en el día 8) aumentan los polifenoles respecto a los días de almacenamiento 3 y 8 (pero representando una pérdida respecto al día 0) y luego disminuyen en los días 15 y 17 de almacenamiento.

En la tabla 6. se muestra el porcentaje de pérdida de polifenoles al momento de la senescencia del fruto.

Tabla 6. Porcentaje de pérdida de polifenoles totales.

Lote	Pérdida de polifenoles totales (%)	Vida útil (días)
1	50	8
2	22	10
3	54.4	17
4	62	17
5	22.6	10
6	21.5	10

7	64.8	17
8	65.2	17

Kerkhofs *et al.*, (2005) reportaron una pérdida de fenoles totales del 33.4% en la variedad Flavourine. Otros autores reportan que no existe pérdida en el contenido de fenoles totales (Dewanto *et al.*, 2002; Chang *et al.*, 2006). Y explicaron este comportamiento al identificar y cuantificar fenoles presentes en una variedad de tomate del Mediterráneo.

De los lotes 3, 4, 7 y 8 que tuvieron un tiempo de vida útil de 17 días de almacenamiento, el que mayor pérdida de polifenoles tuvo respecto a su día 0, fue el lote 8 con el 65.2%, y luego el lote 7 con un 64.8% por lo que la combinación de nanopartículas de zeína cargadas de aceite esencial de toronja con lactato de calcio y con o sin tratamiento UV-C nos va a resultar en una pérdida de polifenoles de al menos el 64%.

En productos mínimamente procesados, el contenido de fenoles disminuye debido a la oxidación de sustancias marrones, esto de acuerdo con el estudio realizado por Marquez *et al.*, (2017) en manzana, papa y zanahoria mínimamente procesadas, con recubrimiento comestible almacenadas a 5°C.

CONCLUSIONES

En las propiedades físicas (pH y °Brix), no hubo diferencias estadísticamente significativas. El pH del lote 8 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja combinadas con lactato de calcio con UV-C) no tuvo diferencia estadísticamente significativa entre el día 0 y el 17 de almacenamiento, por lo que la combinación de tratamientos se estabilizó, y con esto el crecimiento microbiano se controló de mejor manera en relación con el pH.

En cuanto al peso, el tratamiento de Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja combinadas con lactato de calcio con UV-C (Lote 8) fue el de menor pérdida al cabo de 17 días de almacenamiento al igual que fue el de menor presencia de líquido drenado.

La degradación de licopeno en el lote 8 fue del 20.8% respecto a su día 0, y representa una diferencia de 5.13% con el lote 7, en donde fue mayor el contenido de licopeno en el lote 8 por lo que el tratamiento UV-C no interfiere en el licopeno contenido en cada 100 g de jitomate, y tampoco interfiere en la POD.

La PME contenida en el lote 8 es la menor respecto a los demás lotes, por lo tanto, la degradación de la pectina en la pared celular del fruto fue menor, sin embargo, la textura se vio afectada por la exposición a la luz UV-C y esto pasó en todos los tratamientos expuestos. Por lo que se concluye que el tratamiento de luz UV-C disminuye la firmeza del fruto, aun cuando es usado con un reforzador de textura y la presencia de la enzima PME es baja.

El ácido ascórbico aumentó respecto al tiempo de almacenamiento, con ello, su actividad vitamínica se aumentó en el lote 8 en un 0.76% al cabo de 17 días de almacenamiento, sin embargo, en este lote tratado con irradiación el ácido ascórbico se vio afectado, ya que el lote 7 que no tuvo este tratamiento aumentó 189.7% respecto a su valor inicial. La irradiación también afectó en los polifenoles, ya que la degradación fue de 0.4% mayor comparándolo con el lote 7, que no fue irradiado.

La hipótesis se acepta. La extensión del tiempo de vida útil fue de un 212.5% no solo en los 2 lotes tratados con una combinación de nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, y lactato de calcio, sino también en los lotes tratados con nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja. Sin embargo, y a pesar de que la vida útil del producto fue la misma para los 4 diferentes tratamientos, se puede concluir que el lote 8 (Nanopartículas de zeína cargadas con aceite esencial de toronja, lactato de calcio y tratamiento UV-C) fue el que presentó un menor cambio en sus propiedades físicas y enzimáticas, con esto el objetivo general se cumplió al realizar la evaluación de los cambios de calidad en jitomate Saladette, almacenado a 4°C durante su tiempo de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

- Evaluar los cambios microbiológicos del jitomate mínimamente procesado con diferentes tratamientos de desinfección, y reforzadores de textura.
- Realizar estudios sobre el aumento en la síntesis de compuestos bioactivos que incrementan el valor nutricional y aceptación del consumidor.

REFERENCIAS

Acosta,E. (2009). Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 3-15.

Adalid, A. (2011). Mejora de la Calidad Nutritiva del Tomate: Búsqueda de Fuentes de Variabilidad, Estudio de la Influencia del Ambiente y Determinación del Control Genético. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Agarwal, S., & Rao, A. V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 163, 739-744.

Akbudak, B. (2010). Effects of harvest time on the quality attributes at processed and non-processed tomato varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 334 - 343.

Amaro, A. L., Spadafora, N.D., Pereira, M.J., Dhorajiwala, R., Herbert, R. J., Muller, C.T. & Rogers, H.J. (2018). Multitrait analysis of fresh-cut cantaloupe melon enables discrimination between storage times and temperatures and identifies potential markers for quality assessments. *Food Chemistry*, 222-231, 241.

Anthon, G. E., Y. Sekine, N. Watanabe, y D. M. Barrett. (2002). Thermal inactivation of pectin methylesterase, polygalacturonase, and peroxidase in tomato juice, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6153–6159.

Anthon, G.E., & Barrett, D. M. (2012). Pectinmethylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. *Food Chemistry*, 915-920.

AOAC. (2014). *Official Methods of Analysis*. 15th edition. Washintong D.C.

Arias, R., Lee, T-C., Logendra, L., Janes, H. (2000). Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *J. Agric. Food Chem.* 48, 1697-1702.

Artés, F. (2000) Productos vegetales procesados en fresco. En *Aplicación del frío a los alimentos*, Editor: Lamúa, M. Editorial: Mundi Prensa, 127-14.

Artés-Hernández F, Escalona V, Robles P, Martínez-Hernández G, Artés F. (2008). Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 414- 421

Asgar, A., Mehdi, M., Senthil, R., & Peter, G. A. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving. *Postharvest Biology and Technology*, 42-47.

Ayala-Zavala, J. F., y González -Aguilar, G. A. (2011). Use of additives to preserve the quality of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Martín-Belloso y R.Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton, 231-254.

Baldwin, E.A. , Goodner, K., Plotto, A. (2008). Interaction of volátiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavors descriptors. *Journal of Food Science*, 294-307.

Bartell, D.M., Beaulieu, J.C., Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit. Rev. Food Science*, 369-389.

Batish, D., Singh, H., Kohli, R., Kaur, S. (2008). Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecol. Manage.* 256, 2166-2174.

Ben-Yehoshua, S. (2003). Effects of postharvest heat and UV application on decay, chilling injury and resistance against pathogens of citrus and other fruit and vegetables. *Acta Horticulturae*, 159-167.

Bermudez, V. (2000). Tecnología energética SPUPV / Universidad Politecnica de Valencia. Universidad Politecnica de Valencia, España. 303.

Block, N. y Hudes, M. (2001). American Journal of Epidemiology, 1113-1118.

Breidt, F., y Fleming, H.P.(1997). Using lactic acid bacteria to improve the safety of minimally processed fruits and vegetables. Food Technology. 41-51

Brennan, J. G. y Grandison, A. S. (2012). Food Processing Handbook. Segunda edición. WILEY-VCH,Singapur. 131.

Brody, A.L., Bugusu,B.,Han J.H., Sand C.K., y Mchug,T.H., (2008). Innovative food packaging solutions. Journal Food Science, 107-117.

Calabrese, E. J; Baldwin, L. A; (2002) Defining hormesis. Human Exp. Toxicol. 91-97.

Candelas-Cadillo, M.G., Alanís-Guzmán, M.G.J., Bautista-Justo, M., Del Río-Olague, F., GarcíaDíaz C. (2005). Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersion. Rev. Mex. Ing. Quím., 4, 299-307.

Cantwell, M. (1992) Postharvest handling systems: minimally processed fruits and vegetables. Publication 3311. Postharvest technology of horticultural crops, Technical editor, Adel A Kader. Oakland, California, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources: 277- 281.

Castellano, G., Quijada, O., Ramirez, R., & Sayago, E. (2005). Comportamiento poscosecha de frutas de guayaba (*Psidium guajava* L.) tratados con cloruro de calcio y agua caliente a dos temperaturas de almacenamiento. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 78-82.

Chakraborty, S. Baier, D. Knorr, D. & Mishra, H.N. (2015). High pressure inactivation of polygalacturonase, pectinmethylesterase and polyphenoloxidase in strawberry puree mixed with sugar. *Food and Bioproducts Processing*. 281-291.

Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y., Liu, Y.C. (2006). Comparison on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *J. Food Eng.*, 77, 478-485.

Chisari, M., Barbagallo, R. N., Spagna, G. and Artes, F. (2010). Distribution of degradative enzymatic activities in the mesocarp of two melons groups. *International Journal of Food Science and Technology*, 1016-1023.

Cisneros-Zeballos, Z (2003). The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding value of fresh fruits and vegetables. *J. Food Science*. 1560-1565.

Coronel, J., Castillo, P. (2009). Alternativas de mejora en el manejo postcosecha de tomate riñón cultivado en la provincia de Santa Elena. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11926>. [Consulta: 18-09-18].

Cruz-Bojórquez, R. M., González Gallego, J., & Sánchez Collado, P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 6-15.

D'Souza, M.C, Singha, S., & Ingle, M. (1992). Lycopene concentration on tomato fruit can be estimated from chromaticity values. *HortScience*, 465.466.

Davey, M. W., Montagu, M.V., Inzé, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnov, N., & Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 825-860.

De Assis, S., D. Lima, y O. de F. Oliveira. (2001). Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development, *Food Chemistry*, 2–6,74.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K., Liu, H.R. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 3010-3014.

Escalona V, Aguayo E, Martinez-Hernández G, Artés F. (2010). UV-C doses to reduce pathogen and spoilage growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*, 223 – 231.

Fagundes, C., (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coating on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 1-8.

Fajar-Falah, M.A., Nadine, M.D., & Suryandono, A. (2015). Effects of storage conditions on quality and shelf-life of fresh-cut melon (*Cucumis Melo L.*) and papaya (*Carica papaya L.*). *Procedia Food Science*. 3, 313-322.

Francis, F. J., Clydesdale, F. M. (1975). *Food colorimetry: Theory and Applications*. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.

Gardner D. W. M. y Shama G. (2000). Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection*, 63-70.

Gergensen, P. M; León, S. (1999). *Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador*: Missouri Botanical Garden Press, 1181.

González-Aguilar, G.A; Villegas-Ochoa, F; Cuamea-Navarro,F; Ayala-Zavala,J,F. (2006) Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. En: I Simposio

Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados. González-Aguilar, G.A; y Cuamea-Navarro, F. 59-64.

Hagerman, A. E., & Austin, P. J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 440-444.

Haminiuk, C. Maciel, G. Plata-Oviedo, M. Peralta, R. (2012). Phenolic compounds in fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 2023-2044.

Hemeda, H.M., & Klein, B.P. (1991). Inactivation and regeneration of peroxidase activity in vegetable extracts treated with antioxidants. *Journal of Food Science*, 68-71.

Jhon, Z. y Yudkin, R.(2002). En: *The Lancet*, 359,1969-1974.

Johnson, J. y Braddock, R. (1995). Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: Experimental rate constants. En: *Journal of Food Science*, 502-505.

Jornet-Martínez, N., Campins-Falcó, P., Hall, E.A.H. (2006). "Zein as biodegradable material for effective delivery of alkaline phosphatase and substrates in biokits and biosensors. *Journal of Biosensors and Bioelectronics*", 14-19

Kerkhofs, N.S., Lister, C.E., Savage, G.P.(2005). Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying. *Plant Foods Human Nutr.*, 60, 117-121.

Kessy H. N., Zhang L., & Zhang H. (2013). Lycopene Z-isomers enrichment and separation. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 2050–2056.

Kurt, M. K., Ph.D., *NocionesdelManejodePost-Cosecha*.
<http://www.cipotato.org/papandina/Documentos/NocionesdelManejodePostcosecha.pdf>
Visitada el 24 de Junio de 2019.

León, W.E. (2009). Evaluación Ambiental de la Producción del Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bajo Condiciones Protegida en las Palmas de Gran Canaria, España, mediante la Utilización de la Metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), 2007-2009. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.

Lozano, R. D. (1978). "El color y su medición". Americalee S.R.L, Buenos Aires.

Luckey, T.D (1991) Radiation Hormesis. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 33-45

Marquez, G. R., Di Pierro, P., Mariniello, L., Esposito, M., Giosafatto, C.V.L., Porta, R. (2017). Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin edible film. *LWT - Food Science and Technology*. 75, 124-130.

Martínez-Hernández, G. B., Boluda-Aguilar, M., Taboada-Rodríguez, A., Soto-Jover, S., Marín-Iniesta, F., & López-Gómez, A. (2016). Processing, packaging, and storage of tomato products: Influence on the lycopene content. *Food Engineering Reviews*, 8, 52- 75

Menéndez- Aguirre, O., Evangelista Lozano, S., Arenas Ocampo, M., Bermúdez Torres, K., Del Villar Martínez, A., Jimenez Aparicio, A., (2006). Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del Maracuyá Amarillo (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener), *Interciencia*, 728–733.

Moncada, A.E. (2007). Nanotecnología, aplicaciones en embalajes para alimentos y productos farmacéuticos. *Revista de la Facultad de Química Farmaceutica. Universidad de Antioquia*, 114-120.

Moreno, Y. (2010). Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de jitomate del centro, sur y sureste de Mexico. Tesis de maestria. Colegio de postgraduados, 129.

O. Lamikanra., M.W.(2001). Effects of Ascorbic Acid on Peroxidase and Polyphenoloxidase Activities in Fresh-Cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 1283-1286.

Ochoa, C.E. (2007). Efecto de altas presiones dinámicas sobre la actividad de la enzima pectinesterasa en solución modelo y en jugo de naranja. Tesis de maestría. Universidad de las Américas, Puebla, Mex.

Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice. *Food chemistry*, 115, 1312-1319.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2015). Pérdidas y desperdicio de alimentos el mundo. Roma Italia, 42.

Palozza, P., Catalano, A., Simone, R., & Cittadini, A. (2012). Lycopene as a guardian of redox signalling. *Acta Biochimica Polonica*, 59, 21.

Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., Pair, S.D., & Roberts, W. (2001). Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 983-987

Pittia, P., Nicoli, C., Comi, G.; Massini R. (1999) Shelf-life extensión of fresh-like ready-to-use pear cubes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 955-960

Polydera, A. C., Galanou, N. G., Stoforos, P. S. (2004). Inactivation kinetics of pectin methylesterase of greek Navel orange juice as a function of high hydrostatic pressure and temperature process conditions, *Journal of Food Engineering*, 291–298.

Ragaert, P., Jacxsens, L., Vandekinderen, I., Baert, L., y Devlieghere, F. (2011). Microbiological and safety aspects of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton, 53-86.

Ranganna, S. (1997). *Manual of analysis of fruits and vegetable products*.

Rico, D. Martín-Diana, A. B. Barat, J.M. M, y Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 373-386.

Robinson DS. (1991). Peroxidases and catalases in foods. In: Robinson, DS, Eskin NAM, editors. *Oxidative enzymes in foods*. 1st ed. London, UK: Elsevier Applied Science, 1-48.

Roig, M; Rivera, Z. y Kennedy. (1998). *Journal Food Science Nutrition*, 44, 59-72.

Rojas- Grau, M.A., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh- cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 438-447.

Ruiz, L.I. (2016). Aplicación de la nanotecnología en el sector de la alimentación. UPV/EHU OCW, 15-16.

Sadkaoui A, Jiménez A, Pacheco R, Beltrán G. (2013). Influencia de la Actividad de la Pectinmetilesterasa sobre el Proceso de Degradación de la Pared Celular y la Regulación de la Biosíntesis de Metanol durante el Proceso de Maduración de la Aceituna (*Olea europea* L.) Department of Chemical, Environmental and Material Engineering. University of Jaén, Spain.

Salunkhe, D., Kadam, S. (2003). *Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas*. Acribia, Zaragoza, España.

Serrano, M., Martínez-Romero, D., Guillen, F., Valverde, J.M., Zapata, P.J., Castillo, S., y Valero, D. (2008). The addition of essential oils to MAP as a tool to maintain the overall quality fruits. *Trends in Food Science & Technology*. 464-471.

Shama, G; Anderson, P. (2005) UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends Food Science Technology*, 128-136.

Shi, J., & Le Maguer, M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 1–42.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 144-158.

Siripatrawan, U. y Assatarakul, K. (2009). Methyl jasmonate coupled with modified atmosphere packing to extend shelf life tomato (*Lycopersicon esculntum* Mill.) during cold storage. *Institute of Food Science and Technology*. 1065-1071.

Snowball, M.R & Hornsey, I.S (1988) Purifications of water supplies using ultraviolet light. En: *Developments in Food Microbiology*, Robinson (ed). Elsevier Applied Science Publishers. London, 171 - 191.

Suslow, T. V. y Cantwell, M. (2006). *Tomato*. Technology Research and information Center. Department of Plant Sciences. University of California. Davis, CA.

Tirkey, B., Pal, U. S., Bal, L. M., Sahoo, N. R., Bakhara, C. K., & Panda, M.K. (2014). Evaluation of physico-chemical changes of fresh-cut unripe papaya during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 190-197.

Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., y Gonzáles, C. (2006). Quality of Cold-Storage Strawberries as Affected by Chitosan-Oleic acid Edible Coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 41, 164-171.

Vitale, A. A., Bernatene, E. A., & Pomilio, A. B. (2010). Carotenoides en quimioprevención. Licopeno. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 44, 195-238

Viuda-Martos, M., Sanchez-Zapata, E., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Perez-Alvarez, J. A., & Fernandez-Lopez, J. (2014). Tomato and tomato byproducts. Human health benefits of lycopene and its application to meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54, 1032-1049.

Watada, A. E.; Ling, Qi. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 201-205.

Weiss, J., Takhistov, P., y McClements, D.J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 107-117.

Wiley, R. C. (1994). Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Chapman & Hall.

Willcox, J. K., Catignani, G. L., & Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-18, 43.

Wrolstad, R.E. (2000). Colorants. *Food chemistry. Principles and Applications*. GL Christen and JS Smith (Eds.) Science and Technology System, West Sacramento, CA.

Yaman, O., & Bayoindirli, L. (2002). Effects of an Edible Coating and Cold Storage on Shelf-life and Quality of cherries. *LWT-Food Science and Technology*, 146-150.

Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginato or zein as edible coating to dat postharvest ripening process. *Science of Food and Agriculture*, 1287-1293.