



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“Recubrimiento de nanopartículas lipídicas
sólidas-goma xantana para la conservación de
tomate (*Lycopersicum esculentum*)
almacenado en refrigeración”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

PRICILA ESCAMILLA RENDÓN

Asesor:

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza

Co-Asesor:

M en I.Q Alicia del Real López



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

Recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas-goma xantana para la conservación de tomate (Lycopersicum esculentum) almacenado en refrigeración

Que presenta la pasante: Pricila Escamilla Rendón
Con número de cuenta: 410024261 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de Octubre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Juan Manuel Aceves Hernández	
VOCAL	I.B.Q. José Jaime Flores Minutti	
SECRETARIO	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
1er. SUPLENTE	Dr. Enrique Martínez Manrique	
2do. SUPLENTE	I.Q. Daniel Mauricio Vicuña Gómez	

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

HMI/iac

El presente trabajo fue financiado con el apoyo de:

- El proyecto PAPITT: IT200814; “Desarrollo de sistemas nanoparticulados alimenticios para incrementar la vida útil y nutraceuticos de frutas frescas cortadas y bebidas de frutas” de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México(DGAPA-UNAM)
- El programa de becas para elaboración de tesis de licenciatura, del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología 2014.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por iluminar mi camino, estar conmigo siempre y por permitirme cumplir un objetivo más.

A mi **madre** que es la persona que más quiero, la cual me apoyo, me alentó, me aconsejo y regaño cuando lo necesitaba y que esté es el reflejo del esfuerzo que realizaste durante todo este tiempo. Gracias por enseñarme hacer una persona de bien, eres mi super héroe mamá y eres una persona admirable, eres única. GRACIAS POR TODO.

A mi hermana **Ana Karen** que me aconsejo y me apoyo en todo y que hizo que esté trayecto fuera ameno porque siempre me sacó una sonrisa y aunque no estemos de acuerdo en algunas cosas así te quiero. Gracias por soportarme tanto tiempo.

A mis tíos **María, Gregorio, Alejandro, Héctor, Alfredo y Fidel** que son padres para mí y porque siempre estuvieron presentes para apoyarme y a mis primos **Víctor y Luis Carlos**.

A **Enrique Fabián Rodríguez** que es un padre para mí y mi familia porque siempre me ayudó en trabajos, en explicarme lo que no entendía y que nunca me quedara con la duda. GRACIAS INGENIERO.

A mi asesora la **Dra. Luz Zambrano** por darme la oportunidad de estar en su equipo de trabajo, por compartir sus conocimientos, experiencias y por tenerme tanta paciencia. Gracias por sus consejos y regaños. Esta última etapa de la carrera es un orgullo haber estado trabajando con usted. MUCHAS GRACIAS.

A mi co-asesor **Alicia del Real** por apoyarme desde Querétaro con las micrografías y por compartir su conocimiento conmigo.

A mis sinodales **el Dr. Juan Manuel Aceves, el Ing. Jaime Flores Minutti, el Dr. Enrique Martínez y el Ing. Mauricio Vicuña** por sus conocimientos en la revisión de este trabajo.

A mis profesores **la Dra. Elsa, la Lic. Edith Fuentes, la IBQ Norma Casas, la Dra. Rosalía y el Ing. Oscar** por todo su apoyo durante la carrera y sus consejos.

AGRADECIMIENTOS

A mi amigo **Juan Luis Gonzalez** que siempre me acompaño durante toda la carrera que me aconsejo, me apoyo y que nunca dejó que me rindiera. Gracias por todos esos momentos de triunfos, derrotas y sobre todo gracias por soportarme tanto tiempo y por más por el "TE LO DIGE". ERES UNA INCREIBLE PERSONAS.

A mis amigos: **Janely, Brenda, Pablo, Maricela, Manuel, Aidee, Omar, Angel, Karina y Areli** por hacerme tan amena la carrera. Gracias por compartir tantos momentos de felicidad. Ustedes siempre estarán presentes en mí y **Angie Vargas, Brenda y Delbet** por contribuir con mi experimentación

A **Victor Ulisses Vazquez** que me apoyo antes y durante la carrera, que me hiciste reír cuando más preocupada estaba y hacías todo lo posible por que estuviera bien. Pero sé que no logramos estar hasta el final pero eres una persona muy importante para mí.

A mi **Universidad y Facultad** que me abrió las puertas para que estudiara y me formara como un INGENIERO EN ALIMENTOS y tener mi sangre azul y mi piel dorada.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi padre OCTAVIO ESCAMILLA y mi madre LOURDES RENDON, ya ellos son mi fuente de inspiración y porque están conmigo en todo momento mi padre desde el cielo y mi madre con su compañía.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	14
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generalidades del tomate	1
1.1.1. Producción en México	4
1.2. Estado de madurez	5
1.3. Cambios fisiológicos y bioquímicos	7
1.3.1. Actividad enzimática	9
1.3.2. Pectinmetilesterasa (PME)	10
1.4. Mecanismos de deterioro en el tomate	11
1.4.1. Factores bióticos y abióticos que afectan la vida útil de tomate	11
1.4.1.1. Abióticos.....	12
1.4.1.2. Bióticos.....	13
1.5. Recubrimientos comestibles	14
1.5.1. Aplicación en la industria de alimentos.....	15
1.5.2. Composición de los recubrimientos comestibles	16
Goma Xantana	17
1.5.3. Propiedades de los recubrimientos comestibles.....	18
1.6 Nanopartículas	20
1.6.1 Aplicación de la nanotecnología en alimentos.....	20
1.5.2. Nanopartículas lipídicas sólidas.....	22

1.5.3. Métodos de preparación de NLS	22
Emulsificación-evaporación	23
Homogenización a alta presión	23
II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	25
2.1. Problema.....	25
2.2. Objetivo General	26
2.2.1. Objetivos Particulares	26
2.3. Hipótesis	26
2.4. Selección y Justificación de variables	27
2.5. Actividades Preliminares	28
2.5.1. Selección del polisacárido para el recubrimiento del tomate	28
2.5.2. Selección del plastificante para el recubrimiento del tomate	29
2.6. Diseño Experimental	30
2.6.1. Selección y control de la materia prima	30
2.6.2. Preparación de dispersiones formadoras de película.....	30
2.6.3. Aplicación del recubrimiento.....	31
2.6.4. Acondicionamiento del frigorífico.....	31
2.6.5. Pérdida de Peso	31
2.6.6. Parámetros de calidad.....	32
Firmeza	32
°Bx.....	33
Determinación de pH.....	33
Determinación de acidez	34
2.6.7. Determinación de color.....	35
2.6.8. Índice de decaimiento.....	36

2.6.9. Microscopía electrónica de barrido	36
III. Resultados.....	38
3.1. Acondicionamiento del frigorífico	38
3.2. Pérdida de Peso.....	38
3.3. Parámetros de Calidad.....	42
3.3.1. Firmeza.....	42
3.3.2. °Bx.....	44
3.3.4. pH.....	46
3.3.2. Acidez.....	48
3.4. Color.....	51
3.4.1. Luminosidad (I*).....	53
3.6. Índice de Decaimiento.....	55
3.7. Microscopia electrónica de barrido.....	60
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Morfología del tomate (SAGARPA, 2010).	2
Figura 2 Esquema de la pared celular (Carpita y col., 1993)	10
Figura 3 Mecanismo de desmetilación por la PME (Jolie y col., 2010)	11
Figura 4 Manzana fresca cortada recubierta con goma xantana (Zambrano-Zaragoza y col., 2014).	18
Figura 5 Nanotecnología en la industria alimenticia (Duncan, 2011).	21
Figura 6 Balanza Digital.	32
Figura 7 Texturómetro CT3 Texture Analyzer.	32
Figura 8 a) Extractor de jugos b) Refractómetro.	33
Figura 9 Potenciómetro.	34
Figura 10 Determinación de acidez en el jugo de tomate	35
Figura 11 Caja Negra.	35
Figura 12 Pérdida de peso a 12°C.	40
Figura 13 Pérdida de Peso a 25°C.	41
Figura 14 Firmeza (N) del tomate a 12°C.	43
Figura 15 Firmeza (N) del tomate a 25°C.	44
Figura 16 °Bx del tomate a 12°C.	45
Figura 17 °Bx del tomate a 25 °C.	46
Figura 18 pH del tomate a 12°C.	47
Figura 19 pH del tomate a 25°C.	48
Figura 20 Acidez del tomate a 12°C.	49
Figura 21 Acidez del tomate a 25°C.	50
Figura 22 Ángulo HUE en tomate a 12°C.	52
Figura 23 Ángulo HUE en tomate a 25°C.	53
Figura 24 luminosidad (I*) a 12°C.	54

Figura 25 luminosidad (I^*) a 25°C.....	55
Figura 26 Índice de Decaimiento a 12°C.....	56
Figura 27 Imagen Visual de tomate a 12°C.....	57
Figura 28 Índice de Decaimiento a 25°C.....	58
Figura 29 Imagen Visual de tomate a 25°C.....	59
Figura 30 Micrografía de la superficie el tomate.....	60
Figura 31 Micrografías del tomate recubierto a) 10 % de NLS b) 15 % de NLS c) Goma Xantana.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición del tomate fresco	4
Tabla 2 Estado de madurez del tomate.....	6
Tabla 3 Estado de madurez del tomate.....	8
Tabla 4 Aplicación de recubrimiento en la industria de alimentos.....	16
Tabla 5 Compuestos utilizados en los recubrimientos.	17
Tabla 6 Cuadro de variables	27
Tabla 7 Elección del polisacárido.....	28
Tabla 8 Elección del plastificante.	29
Tabla 9 Escala Hedónica.....	36
Tabla 10 Temperatura promedio en el frigorífico.....	38

RESUMEN

El empleo de recubrimientos comestibles para la conservación de tomate con base en diferentes polisacáridos ha no sido útiles en el mantenimiento de las características de calidad por mayor tiempo. El objetivo de este trabajo fue establecer la efectividad de un recubrimiento con base en nanopartículas lipídicas sólidas-goma xantana mediante la evaluación de cambios en el color y transpiración que permite incrementar el tiempo de vida útil del tomate *c.v. Saladett*.

Los recubrimientos con base en goma xantana (0.3 %), propilenglicol y sacarosa (1 y 2%) y diferentes concentraciones de nanopartículas lipídicas sólidas (10 y 15 %) fueron aplicados por inmersión a tomate en estado naranja rayado, almacenados a 12° C durante 27 días. A los tomates se les evaluó pérdida de peso, firmeza, pH, ° Bx, acidez, color con el ángulo Hue, L* (luminosidad) contrastándose con respecto a tomates control sin recubrimiento, las mediciones se realizaron cada tercer día y cada 5 días después de ser transferidos a temperatura ambiente (25 °C).

Los resultados obtenidos indican que la concentración al 10 % de nanopartículas lipídicas sólidas, favoreció al tomate debido a que tuvo la menor pérdida de peso, manteniendo por mayor tiempo la firmeza y el desarrollo de un color rojo después de transcurridos 27 días de almacenamiento igual que una firmeza y un color rojo, menos intenso que el control y la goma xantana. Además; al aumentar la concentración de nanopartículas lipídicas sólidas al 15 %, se causó daño fisiológico.

INTRODUCCIÓN

El tomate es una de los frutos más consumidos en el mundo, ocupa el séptimo lugar en especies cultivada más importante después del maíz, el arroz, el trigo, la papa, la soja y la yuca (Bergougnoux, 2014). Ésto se debe a que es una fruta que se consume de forma cruda o procesada y se ha asociado con la prevención de varias enfermedades crónicas tales como el cáncer y enfermedades cardiovasculares, (Erba y col., 2013) principalmente debido al contenido de antioxidantes, incluyendo carotenos (licopeno, y β -caroteno), ácido ascórbico, tocoferol y compuestos fenólicos (Navarro-Gonzalez y col., 2013).

El tomate, al ser un fruto climatérico, tiene una vida post-cosecha relativamente corta; además es una de las frutas más consumidos en el mundo, lo que hace necesario buscar alternativas tecnológicas para extender su vida útil, manteniendo su parámetros de calidad y una inocuidad garantizada.

Los parámetros más importantes y que tienen incidencia sobre la decisión de compra son: color, firmeza y pérdida de peso; parámetros que están relacionados con los procesos metabólicos, degradación de azúcares, ácidos orgánicos y otros componentes que llevan al fruto a la senescencia.

Los recubrimientos comestibles representan una alternativa útil para retardar los procesos metabólicos, éstos son de bajo costo, biodegradables y solubles en agua; no requieren disolventes orgánicos antes o durante la aplicación. Los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos tales como alginato y la goma

arábigo muestra los efectos benéficos en el retraso de los procesos de maduración y mantenimiento de la calidad de los tomates almacenados.

Sin embargo, existe poca información disponible sobre el uso de recubrimientos comestibles en el retraso de los procesos de maduración y la preservación de los antioxidantes durante el almacenamiento, en tomates (Asgar y col., 2013).

Los recubrimientos comestibles proporcionan barreras entre el alimento y el medio para que éstos retengan el agua y no tengan una maduración temprana. La nueva generación de recubrimientos comestibles está enfocada a la incorporación de antioxidantes, productos nutraceuticos, vitaminas, minerales por medio de la nanoencapsulación (Real-Sandoval, 2013; Vargas y col., 2008).

Hoy en día la nanotecnología se aplica con excelentes resultados en muchas áreas de investigación. Una de ellas es el área de alimentos con nanosensores, que pueden detectar y señalar la presencia de microorganismos causantes de deterioro (Brody, 2010). La nanotecnología también se está utilizando para crear alimentos más sanos que pueden llevar los nutrientes a diferentes partes del cuerpo humano, los nanomateriales desarrollados para mejorar el suministro de nutrientes y pesticidas a los cultivos y los recubrimientos nanoparticulados poco estudiados que permiten una mejor distribución y una homogeneidad en la piel de la fruta contribuyendo a las propiedades de barrera extendiendo la vida útil de éstas (Dudo y col., 2011; Zambrano- Zaragoza y col., 2013).

En este trabajo se pretende extender la vida útil del tomate *c.v. Saladett*, mediante diferentes recubrimientos a base de nanopartículas lipídicas sólidas y recubrimientos a base de polisacáridos, siendo necesario llevar a cabo la exploración y a que hay poca información respecto a la incorporación de nanopartículas lipídicas sólidas en la conservación de frutos enteros.

MARCO TÉORICO

1.1. Generalidades del tomate

El tomate pertenece a la familia de las Solanaceas, del género *Lycopersicum* y a la especie *esculentum*. El origen del género *Lycopersicum*, no comprende más de nueve especies, es originario de América del Sur occidental a lo largo de la costa y los altos Andes del centro de Ecuador, a través de Perú, hasta el norte de Chile y México. En este último país, es considerado el principal centro de domesticación. El fruto crece en una variedad de microambientes que van desde climas lluviosos a suelos áridos (Consuelo y col., 1988).

El tomate se clasifica en diferentes formas, una de ellas es de acuerdo a su diámetro que va de los 4 cm a los 7 cm. También por su grado de madurez la cual consiste en los días entre que es plantado y su cosecha, el de madurez temprana va de 55-65 días, madurez mediana es de 66-70 días y los de mayor maduración requieren más 80 días. Otra clasificación es por su forma que va desde redondo, achatado, de pera, de torpedo o en forma de campana y la última es de acuerdo a su color que va de verde lima, rosa, amarillo, dorado, naranja y rojo (Murillo, 1999).

Entre las variedades existentes del género *esculentum*, está el tipo *Saladett*, es un fruto pequeño bi o trilocular, en forma de pera, con un tamaño homogéneo, liso con una punta floral y ausencia de grietas.

El fruto de tomate corresponde a una típica baya, es tá baya en madurez se conforma por el epicarpio (piel), mesocarpio y el endocarpio que es la parte carnosa del fruto del cual encierra dos o más lóculos. Los lóculos son los compartimentos que contienen la placenta que es la parte gelatinosa en la cual se ubican las numerosas semillas (Figura 1).



Figura 1 Morfología del tomate (SAGARPA, 2010).

El epicarpio se compone de una capa epidérmica externa y de dos a cuatro capas de células hipodermis de paredes gruesas con-colénquima como engrosamiento. La cutícula correcta es la capa superior; que cubre una capa interior de ceras y polisacáridos fibrosos incrustados en una matriz continua llamada la capa cuticular. Ambas capas forman la membrana cuticular, lo que, en sentido estricto, se desarrolla dentro de la capa cuticular de las paredes celulares. Existen diferencias ultraestructurales y químicas importantes en las membranas cuticulares, tanto entre como dentro de cada especie, y que pueden afectar de manera significativa el rendimiento fisiológico de la membrana cuticular en sus funciones de reducir la pérdida de agua sin control y la prevención de la entrada de organismos patógenos y diversos compuestos orgánicos (Hetzroni y col., 2011).

Con respecto a la integridad del tomate entero es de suma importancia el epicarpio debido a que es la apariencia hacia el consumidor y de esta depende que sea aceptado o rechazado.

Desde el punto de vista nutritivo el tomate no tiene un alto valor en su contenido de proteínas, lípidos y azúcares como se observa en la Tabla 1, sin embargo, el tomate representa compuestos bioactivos tales como el licopeno, vitamina A, β -caroteno, ácido ascórbico (vitamina C), tocoferoles y polifenoles. Los compuestos bioactivos en tomates frescos dependen de factores tales como las condiciones del suelo y del clima, las condiciones de grado de maduración y almacenamiento. Otros factores que se espera tengan una gran influencia sobre el valor nutritivo de los frutos de tomate son el recorte y procesamiento, la primera debido a una distribución desigual de los nutrientes en el fruto, y el segundo debido a la degradación de nutrientes inducida por tratamiento térmico (Pinela y col., 2012; Vinha y col., 2014).

Los tomates son también una fuente importante y notable de ácido ascórbico. Di Matteo y col., en el año 2010 demostraron que la acumulación de ácido ascórbico se consigue mediante el aumento de la degradación de la pectina y puede ser desencadenada por el etileno.

Los sólidos solubles representan azúcares y ácidos orgánicos cuya relación, junto con la composición en el aroma volátil, caracteriza el sabor de la fruta. Los ácidos orgánicos, solos, determinan el pH. Un pH por encima de 4.5 permitirá el desarrollo de microorganismos (Bergougnoux, 2014).

Tabla 1 Composición del tomate fresco

Composición química Valor por 100g		
Energía	Kcal	18
Agua	g	94.52
Proteína	g	0.88
Lípidos	g	0.2
Fibras	g	1.2
Azúcares	g	2.63
Minerales		
Calcio	mg	10
Magnesio	mg	11
Fósforo	mg	24
Potasio	mg	237
Sodio	mg	5
Fluoruro	µg	2.3
Vitaminas		
Vitamina C	mg	13.7
Colina	mg	6.7
vitamina A	µg	42
α-caroteno	µg	449
β-caroteno	µg	101
Licopeno	µg	2573
Vitamina K	µg	7.9

Fuente: (Bergougnoux, 2014).

1.1.1. Producción en México

Hoy en día, el tomate es una de las frutas más consumidas, con una producción en todo el mundo de casi 160 millones de toneladas en 2012, de las cuales México produjo más de 3 millones de toneladas (FAO, 2014). El principal productor es el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 35%, en segundo lugar Baja California, con 9%, Michoacán con el 8%, San Luis Potosí 6% y Jalisco el 5%. A todo lo largo del territorio nacional se distribuye la producción de tomate, sin

embargo, la zona productora de mayor importancia es la noroeste (SAGARPA, 2010).

En República Mexicana, se produce tomate durante todo el año. Durante los primeros meses del año, es cuando se genera el tope de producción nacional, en el estado de Sinaloa, que abastece al mercado nacional y la mitad del norteamericano. Por otro lado, durante el verano, la producción de los estados del centro y de Baja California, es la que abastece la demanda interna y de exportación. Finalmente, en los meses de agosto a diciembre, son otras entidades las que cubren la producción.

En lo que respecta a las variedades de tomate que se producen en el territorio mexicano, la de mayor distribución es de tomate variedad saladette, que representa el 56% del total, en segundo lugar se encuentra el tomate bola, cuyo volumen de producción alcanza el 14% del total.

México ocupa el segundo lugar en exportaciones mundiales de tomate. El principal destino es hoy en día el mercado de los E.E.UU., y a que el 80% de las importaciones de tomate es de origen mexicano (SAGARPA, 2010).

1.2. Estado de madurez

La maduración de la fruta es un proceso de desarrollo que es exclusiva de las plantas mediante el cual los órganos portadores de semillas maduras experimentan cambios fisiológicos y metabólicos que favorecen la dispersión de semillas (Giovanni, 2007).

El estado de madurez en que se cosechan los frutos de tomate depende del destino ya sea para consumo fresco o industrial y de la distancia a la que se tenga que transportar.

Tabla 2 Estado de madurez del tomate

Grado de madurez	Características
Verde	El fruto ha alcanzado su máximo desarrollo, pero toda la superficie presenta una coloración verde. La actividad enzimática de PME* es nula y los sólidos solubles es de 4.8%
Rosa	Hay incremento en el contenido de licopeno y β -caroteno y una disminución del contenido de clorofila en el fruto (cambio de color)
Amarillo	El contenido de clorofila sigue disminuyendo y el licopeno se incrementa considerablemente. La coloración amarilla a rosa o roja se manifiesta en un lado
Naranja	El estado de madurez rosado se caracteriza por que una superficie del 30 al 60% del fruto ha tomado la coloración rosa-roja
Rojo brillante	La superficie del fruto muestra una coloración roja o rosa-rojo en un porcentaje del 60 al 90%.
Rojo maduro	Tomate maduro cuando más del 90% de la superficie es rojo intenso. La clorofila ha desaparecido en su totalidad.

*PME (Pectinmetilesterasa)

Fuente: SAGARPA, 2010.

La maduración del tomate es el proceso fisiológico dando lugar a rojo. Durante la maduración, se producen importantes reacciones bioquímicas; algunas son beneficiosas para el tomate, tales como la adquisición de color, la acumulación de azúcares y compuestos volátiles. Otras son perjudiciales para el almacenamiento a largo plazo, por ejemplo el ablandamiento de la pared celular, que conduce a la pérdida de firmeza de la fruta y la pérdida de peso.

El aumento en la producción de etileno y la respiración coincide con la maduración y el control de la síntesis de etileno endógeno o la percepción de etileno puede afectar a la maduración de los procesos (Barry y col., 2007).

El cambio de color es el rasgo más evidente de la maduración del tomate. El color de la fruta depende de su contenido de pigmentos carotenoides, principalmente el licopeno y en menor medida en β -caroteno, en la Tabla 2 se muestran las características de tomate en función al grado de madurez asociado a los cambios de color.

1.3. Cambios fisiológicos y bioquímicos

La vida de las frutas se divide en tres etapas fundamentales: el crecimiento (división celular y desarrollo de las células), la maduración y la senescencia (Perotti y col., 2010). El tomate al ser un fruto climatérico, tiene una vida postcosecha relativamente corta, generalmente limitada por la pérdida de peso por transpiración, enfermedades de postcosecha, evolución de la maduración y senescencia, teniendo una serie de cambios, fisicoquímicos y bioquímicos.

En la Tabla 3 se muestran valores de los cambios fisiológicos y bioquímicos en el tomate tales como, pH, acidez, sólidos solubles, color, firmeza, producción de etileno, CO_2 y cambios en pigmentación (clorofila y licopeno), en diferentes estados de madurez que van de verde a rojo, observándose que el pH y la producción de etileno se incrementan, resaltando además que el tomate es susceptible a la producción de etileno exógeno, produciendo la disminución de la acidez y los sólidos solubles. En la maduración, el tomate se acompaña de cambios tales como el color de verde a rojo, el ablandamiento, y el aumento en los niveles de compuestos que contribuyen al sabor y aroma, tales como azúcares, ácidos orgánicos y volátiles. La transición de color es en gran parte debido a la degradación de la clorofila y la acumulación de licopeno, un carotenoide importante en el tomate que proporciona color rojo, mientras que el ablandamiento se atribuye a dos factores como es la pérdida de peso y la actividad enzimática. La

pérdida de peso es un proceso fisiológico, éste se debe a factores como la época de cosecha y la temperatura de almacenamiento, provocando que el tejido se vuelva opaco y suave. La actividad enzimática se debe a la pectinmetilesterasa (PME) y la poligalacturonasa (PG) (Vu y col., 2004).

Tabla 3 Estado de madurez del tomate

Parámetros	Verde	Maduro (Rojo)
pH	4.12	4.62
Acidez (% ac. Ascórbico)	0.38	0.12
Sólidos solubles (%)	4.1	3.7
Color		
l*	86	62
a*	-9	44
b*	75	69
Contenido en pigmentación (mg*kg ⁻¹ *h ⁻¹)		
Licopeno (%)	0	100
Clorofila (%)	50	0
CO ₂ µ/g (escala logar)	18	32
Etileno (3.6	29.8

Fuente: Adaptado de Padrón y col., 2012 y Wills, 1984.

Los tomates no toleran elevadas concentraciones de CO₂ superiores al 3 % hasta el 5% ; estas condiciones producen daño. Las concentraciones muy bajas de O₂ (1%) provocan sabores y olores desagradables, y otras anomalías como oscurecimiento interno (Mitcham E.J, 2013).

1.3.1. Actividad enzimática

La maduración del tomate va acompañada de grandes cambios en la textura del tejido y la composición de la pared celular, lo que lleva a un ablandamiento al fruto y una mayor susceptibilidad a los patógenos. En particular, la maduración implica una disminución en la firmeza debido a la extensa degradación de la pared celular. La pared celular consiste en redes complejas de polisacáridos y proteínas que rodean la membrana plasmática, esto implica dar resistencia mecánica a la célula de la planta y también permite el crecimiento de ésta.

La pared celular está constituida por proteínas (5 -10%) y polisacáridos (90%), que se encuentran repartidos de la siguiente manera: 30% celulosa, 30% hemicelulosa y 35% pectina (Carpita y col., 1993).

Las enzimas son esenciales en el metabolismo de la pared celular, su nivel de expresión y propiedades bioquímicas se modifican según el tejido, órgano, estado de desarrollo y condiciones ambientales (Estanyol y col., 2000).

Los cambios en la composición de la pared celular, se deben a las enzimas que están en relación con el ablandamiento del fruto el cual forma parte de su maduración, éstas son las exopoligalacturonasas (Exo-PG), endopoligalacturonasas (Endo-PG), pectinmetilesterasas (PME), celulasas, entre otras; en la Figura 2 se muestra la estructura de la pectina y la forma en que actúan las diferentes enzimas modificando la estructura del fruto y por ende disminuyendo su firmeza.

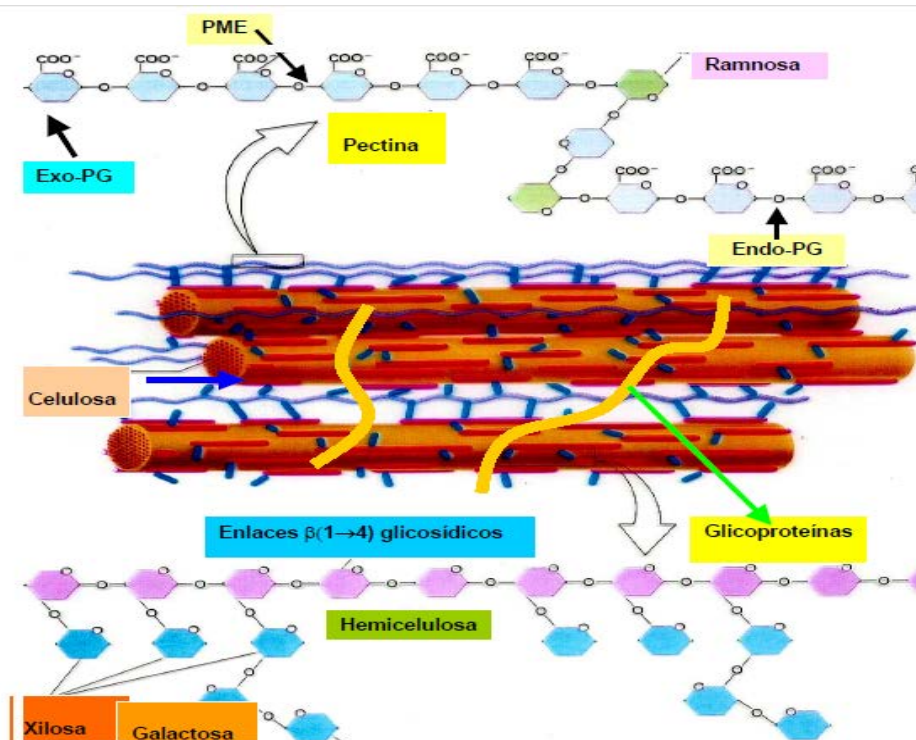


Figura 2 Esquema de la pared celular (Carpita y col., 1993)

1.3.2. Pectinmetilesterasa (PME)

El principal problema de la firmeza en el tomate se relaciona con el ablandamiento del tejido. Los cambios en la firmeza relacionada con la actividad enzimática se deben a la pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG). La PME es una enzima que cataliza la desmetilación del grupo carboxilo del C₆ de los residuos del ácido galacturónico. Al igual que la poligalacturonasa (PG), esta enzima se encuentra asociada físicamente a la pared celular.

La degradación enzimática de la pectina por la PME (Figura 3) y PG se produce en dos fases; en primer lugar, la pectina está parcialmente desmetilada por la PME resultante en la producción de metanol y en un menor grado de metilación de pectina y ácido galacturónico, y en segundo lugar, este último es despolimerizado por PG. Esto da lugar a cadenas de pectina desmetiladas cortas y por consiguiente en los cambios drásticos de textura.

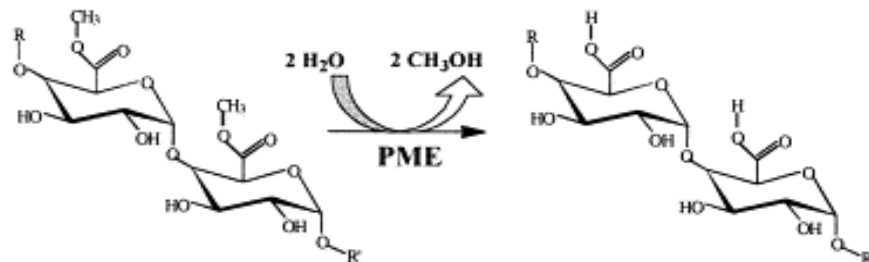


Figura 3 Mecanismo de desmetilación por la PME (Jolie y col., 2010)

1.4. Mecanismos de deterioro en el tomate

1.4.1. Factores bióticos y abióticos que afectan la vida útil de tomate

Los tomates son sensibles a alteraciones debido a las prácticas agrícolas o por la interacción de factores ambientales, dando lugar a algunas fisiopatías que se manifiestan en post-cosecha, durante las operaciones de inspección o maduración. Las prácticas de fertilización e irrigación, las condiciones ambientales, daños por insectos, infecciones virales asintomáticas y agentes desconocidos pueden interactuar afectando la calidad y la vida post-cosecha. Algunos ejemplos son la pudrición en la punta floral, la presencia de tejido blanco interno, grietas concéntricas o radiales, manchas epidérmicas por lluvia, color verde persistente en los hombros y áreas grisáceas en las paredes internas que separan los lóculos (Mitcham E.J, 2013).

1.4.1.1. Abióticos

Daños físicos

Durante el manejo postcosecha, las frutas son sometidas a esfuerzos mecánicos que causan lesiones físicas. En frutos de tomate, las lesiones se producen cuando dos tomates chocan y el vástago de uno de ellos perfora la piel del otro durante la cosecha, postcosecha y el transporte (Desmet y col., 2002). Por lo que aumentan la respiración de la herida y, por lo tanto, existe el deterioro general y disminuye la apariencia visual (Allende y col., 2004).

Calor

Los tomates que han sido sometidos a temperaturas elevadas pueden mostrar retraso en la maduración y desarrollo de color seguido por lo cual es importante que el tomate se mantenga en sombra, después de la recolección y que en el campo se pre-enfríe para disminuir su temperatura por lo menos a 25° C (Namesny, 1999).

Daño Por Frío

El daño por frío es un desorden fisiológico que limita el almacenamiento de frutas y hortalizas susceptibles a bajas temperaturas de refrigeración. Algunos síntomas del daño por frío incluyen picado en la piel, cambios de color, ennegrecimiento e incapacidad para madurar normalmente o aceleración de la senescencia (Rugkong y col., 2010), seguido el daño por frío acumulativo, pudiendo iniciarse en el campo previo a la cosecha.

Los tomates son sensibles al daño por frío a temperaturas inferiores a 12 °C. Los efectos comunes a temperaturas de refrigeración incluyen una alteración en la tasa de maduración, indicando por el retraso o incluso total de desarrollo de color de la fruta y la reducción de ablandamiento, además de lesiones tales como picaduras y una mayor susceptibilidad a la descomposición especialmente pudrición negra, causada por *Alternaria* spp. (Rugkong y col., 2011).

También hay un día por congelación; que ocurre a -1°C ; esto depende de l contenido de sólidos solubles, provocando ablandamiento excesivo y apariencia reseca en la placenta (Mitcham E.J, 2013).

1.4.1.2. **Bióticos**

Enfermedades

Uno de los temas más importantes en la cosecha del tomate es la resistencia a estreses bióticos representados por plagas destructivas y enfermedades que pueden causar importantes pérdidas económicas. El tomate es el blanco de más de 200 enfermedades y plagas. De los microorganismos más importantes son: *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata*, causando hongo gris y puntón negro, respectivamente, se encuentran entre los hongos patógenos más comunes responsables de la descomposición postcosecha en el tomate (Bai y col., 2007). Posteriormente aparecen en la recolección por daños físicos, debido a que el pericarpio se rompe y esto facilita el ataque a microorganismos. En la mayoría de los casos, los patógenos requieren de agentes dispersantes para poder expandirse y colonizar nuevas áreas, tanto a nivel intra como interpredial los cuales pueden ser pasivos, como el viento, el agua, animales vectores o la misma actividad humana. En cuanto a los mecanismos activos, éstos corresponden a los propios medios de movilización que poseen los agentes causales, los cuales son adaptaciones físicas para su desplazamiento.

Enfermedades por hongos

- ✓ **Podredumbre Gris (*Botrytis cinérea*):** Conocido como hongo gris, se produce cuando en el ambiente hay de masiada humedad, dando lugar a la podredumbre de la planta, afecta a los frutos aún en la planta y en la conservación. Los frutos sobre maduros son los más susceptibles el ataque por el hongo provoca un aumento en la producción de etileno que tienen por efecto

acelerar la maduración. El hongo induce la aparición de la enzima poligalacturonasa (PG).

- ✓ **Punto negro (*Alternaria*):** El microorganismo *Alternaria* es el moho negro del tomate, que se caracteriza por lesiones negras en los frutos verdes y maduros. Los frutos de tomate se infectan fácilmente a causa de sus tejidos de la piel delgada y débil que permiten una rápida penetración y el crecimiento del moho.
- ✓ **Podredumbre Húmeda (*Rhizopus stolonifer*):** Se presenta en forma esporádica y comúnmente en el momento de la recolección, las lesiones son tan incipientes que no se conservan al efectuarse la selección. Las esporas se encuentran en la tierra. La penetración se produce únicamente por heridas, siendo las piezas maduras las más afectas.
- ✓ **Podredumbre por fusarium (*Fusarium oxysporum*):** Se produce por heridas que entran en contacto con partículas del suelo, donde se encuentra el inóculo del hongo. Deben descartarse todos los frutos con heridas para evitar la aparición de esta podredumbre.
- ✓ **Podredumbre agria (*Geotrichum candidum*):** Se presenta desde el campo, las lesiones aparecen en el almacenamiento debido a heridas durante la manipulación. La piel aparece arrugada.
- ✓ **Tizón tardío (*Phytophthora infestans*):** Es afectada durante épocas de lluvias y temperaturas altas, ataca a frutos verdes como maduros, por lo que pueden llevar la enfermedad al almacenamiento.
- ✓ **Antracnosis (*Colletotrichum coccodes*):** Afecta desde el follaje, posteriormente afecta a los frutos maduros. El hongo produce fructificaciones en la superficie.
- ✓

1.5. Recubrimientos comestibles

Un recubrimiento comestible es de finido como una capa delgada hecha de biopolímeros, éstos son aplicados en forma de líquido sobre el alimento por inmersión en una solución, formando una matriz estructural (hidratos de carbono,

proteínas, lípidos o de la mezcla de componentes o por goteo (Cortez-Vega y col., 2014).

1.5.1. Aplicación en la industria de alimentos

Los recubrimientos han sido utilizados desde los siglos XII y XIII ya que en China se utilizaban ceras para recubrir a los cítricos retardando su desecación. Desde hace cincuenta años se han estudiado las películas comestibles, para extender el tiempo de vida útil de los alimentos, incrementar la calidad debido a la frescura y para productos congelados y procesados (Park, 1999).

Los recubrimientos se aplican a productos altamente perecederos, como los hortícolas; se basan en algunas propiedades particulares, tales como el costo, la disponibilidad, los atributos funcionales, propiedades mecánicas (flexibilidad, tensión), propiedades ópticas (brillo y opacidad), resistencia estructural al agua y los microorganismos y la aceptabilidad sensorial. Esto es mediante la reducción de la humedad y la migración de soluto, el intercambio de gases, la respiración y las velocidades de reacción de oxidación, así como la reducción o incluso la supresión de trastornos fisiológicos (Falguera y col., 2011).

Sin embargo, los recubrimientos comestibles se han reconocido para usos innovadores más allá de sus usos actuales ya que tienen un alto potencial para llevar los ingredientes activos tales como agentes antioscurecimiento, colorantes, sabores, nutrientes, especies y compuestos antimicrobianos que pueden extender la vida útil del producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en las superficies de los alimentos (Rojas-Grau y col., 2009). Hoy en día, algunas de las líneas de investigación que implican la utilización de recubrimientos comestibles son la reducción de aceite para productos fritos, el transporte de compuestos bioactivos y extensión de la vida útil de los productos altamente perecederos (Falguera y col., 2011). En la tabla 4 se muestran algunos ejemplos de las aplicaciones de los recubrimientos comestibles.

Tabla 4 Aplicación de recubrimiento en la industria de alimentos.

Agentes antioscurecimiento		Concentrado de proteína de suero de leche, cera y ácido ascórbico, citosteína o 4-hexilresorcinol.
Agentes antimicrobianos	Frutas cortadas y enteras	Ácidos orgánicos (acético, bencénico, láctico, propiónico, sórbico), ésteres de ácidos grasos (monolaurato de glicerilo), polipéptidos (lisozima, peroxidasa, lactoferrina, nisina),
Mejoradores de textura		Calcio
Nutracéuticos		Vitaminas, ácidos grasos y minerales
Utilización de aceites	Productos fritos	Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y metilcelulosa (MC)

Fuente: Rojas-Grau y col., 2009.

1.5.2. Composición de los recubrimientos comestibles

Cuando un polímero está siendo aplicado a una superficie o matriz, existen dos fuerzas operando: cohesión y adhesión. El grado de cohesión afecta las propiedades del recubrimiento así como la densidad, porosidad, permeabilidad, flexibilidad y fragilidad de los recubrimientos.

Los recubrimientos comestibles pueden estar compuestos de una variedad de sustancias de diferentes tipos. Éstos se pueden agrupar en hidratos de carbono, proteínas y lípidos, y tienen diferentes características (Tabla 5).

Tabla 5 Compuestos utilizados en los recubrimientos.

Sustancia	Propiedades	Ejemplos
Hidratos de Carbono	Retardan la pérdida de peso. (Por su ordenada estructura en red de enlaces de hidrogeno). Excelentes barreras de oxígeno	Polisacáridos Celulosa y derivados Quitina y derivados Almidón Pectina y derivados
Lípidos	Propiedades de barrera al oxígeno. Mejoran las propiedades de barrera de vapor de agua.	Ceras
Proteínas	Excelentes barreras de oxígeno y aceite. Mantienen el aroma.	Origen Vegetal y Animal

Fuente: Adaptado por Rojas-Grau y col., 2009

Uno de los polisacáridos poco estudiados en el uso de recubrimientos es la goma xantana debido a que se utiliza como un agente de control reológico en sistemas acuosos y como estabilizador para emulsiones y suspensiones. Las propiedades importantes de la goma xantana es la capacidad para formar una solución de alta viscosidad a bajas fuerzas de cizallamiento, altamente pseudoplástica, y también pueden mostrar un rendimiento de viscosidad (Rosalam y col., 2006).

Goma Xantana

La goma xantana es un polisacárido microbiano compuesto de un ligado β -1-4 D - glucosa con cadenas laterales que contienen dos manosas y un ácido glucurónico,

que es extraordinariamente resistente a la hidrólisis y tiene propiedades físicas y químicas uniformes (Chen y col., 2000).

Recientemente la goma xantana se ha empleado como recubrimiento en formulaciones con base en cerezas de acacia, arauca, etc., así como en el desarrollo de recubrimientos comestibles con base en nanopartículas lipídicas sólidas y nanocápsulas para la conservación de frutas; esta goma se emplea debido a que da una mayor brillantez a los frutos y a que no gelifica (Chen y col., 2000; Puga y col., 2014; Zambrano-Zaragoza y col., 2014;).

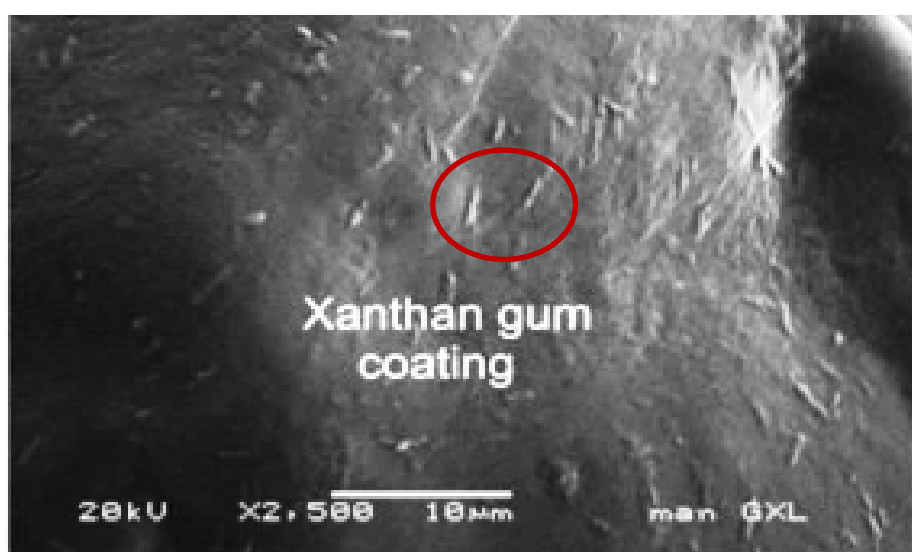


Figura 4 Manzana fresca cortada recubierta con goma xantana (Zambrano-Zaragoza y col., 2014).

Zambrano-Zaragoza y colaboradores en el año 2014 captaron micrografías de diferentes recubrimientos en manzana fresca cortada. Uno de ellos fue con goma xantana, como se muestra en la Figura 4, utilizado para evaluar la eficiencia de diferentes recubrimientos.

1.5.3. Propiedades de los recubrimientos comestibles

Algunas de sus funciones son proteger el producto de daños mecánicos, actividades microbiológicas físicas y químicas tales como:

- Reducir la pérdida de humedad.
- Reducir el transporte de gases (CO_2 y O_2).

- Reducir la migración de aceites y grasas.
- Reducir el transporte de solutos.
- Mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos.
- Proveer integridad estructural a los alimentos.
- Contener aditivos.

La eficiencia de un recubrimiento comestible para proteger frutas y vegetales depende en gran medida de su capacidad para controlar la pérdida de peso, capacidad para formar película y funcionalidad de los aditivos, activos y plastificantes empleados (agentes antimicrobianos, antioxidantes, acidulantes, etc.) dentro de la matriz, la solubilidad en agua y espesor de la película formada, (Cerqueira y col., 2009).

Sin embargo, la eficiencia de recubrimientos comestibles para frutas también depende, de la permeabilidad y de las propiedades mecánicas; estos deben ser considerados con el fin de:

- Disminuir la pérdida de agua en los frutos (es decir, los valores de permeabilidad al vapor de agua inferior).
- Disminuir el O_2 de permeabilidad (es decir, con bajas concentraciones de O_2 prolonga la vida útil de la fruta al retrasar la descomposición oxidativa de los sustratos complejos y reducir la producción de etileno, un elemento clave de la maduración y el proceso de maduración).
- Aumentar la vida útil de frutas, aumentando el tiempo de retardo de fase y la generación durante la fase logarítmica de crecimiento de microorganismos de degradación lo cual se logra manteniendo altos valores de permeabilidad de CO_2 .
- Mejorar la resistencia mecánica del recubrimiento con el fin de preservar su integridad tanto como sea posible durante la vida útil de las frutas (Farber y col., 2003).

1.6 Nanopartículas

El término "nanotecnología" se refiere a un área amplia de la actividad tecnológica centrada en la ingeniería y la manipulación de objetos o estructuras biológicas y no biológicas. La talla nanométrica se refiere a la millonésima parte de un metro y generalmente las nanopartículas utilizadas para la conservación de alimentos y productos farmacéuticos se encuentran entre los 100 a 500 nm con lo que se evitan los posibles efectos cuánticos (Mora-Huertas y col., 2011; Dudo y col., 2011).

1.6.1 Aplicación de la nanotecnología en alimentos

La industria alimentaria es, como cualquier otro sector, impulsado por las innovaciones, la competitividad y la rentabilidad; por tanto, la industria busca nuevas tecnologías para ofrecer productos con mejores características sensoriales como, sabor, olor y textura, que además contribuyan a extender su vida útil, seguridad y trazabilidad. La nanotecnología ha destacado las perspectivas para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones para una amplia gama de sectores industriales y de consumo (Berube y col., 2010; Brody, 2010).

La nanotecnología también se está utilizando para crear alimentos más sanos que pueden proporcionar los nutrientes y medicamentos a diferentes partes del cuerpo humano (Chun, 2009).

Investigadores y las partes interesadas de la industria ya han identificado los posibles usos de la nanotecnología en prácticamente todos los segmentos de la industria de alimentos (Figura 5) procedentes de la agricultura por ejemplo, pesticidas, fertilizantes y de detección de patógenos de plantas, y dirigido la ingeniería genética para la elaboración de alimentos, por ejemplo, la encapsulación de sabores, olores, modificadores texturales, desarrollo de envases para alimentos, protección UV, de los suplementos de nutrientes por ejemplo, nutracéuticos con mayor estabilidad y biodisponibilidad. Sin lugar a dudas, el área más activa de la investigación y el desarrollo de la nanotecnología es en el área de

envases. Ésto es tá probablemente r elacionado c on el hec ho de q ue se h an realizado estudios donde el público está dispuesto a c onsumir la nanotecnología en algo que no se añada directamente al alimento, sin embargo los investigadores están convencidos que esto puede cambiar debido a l os grandes beneficios que esto ocasiona (Duncan, 2011).

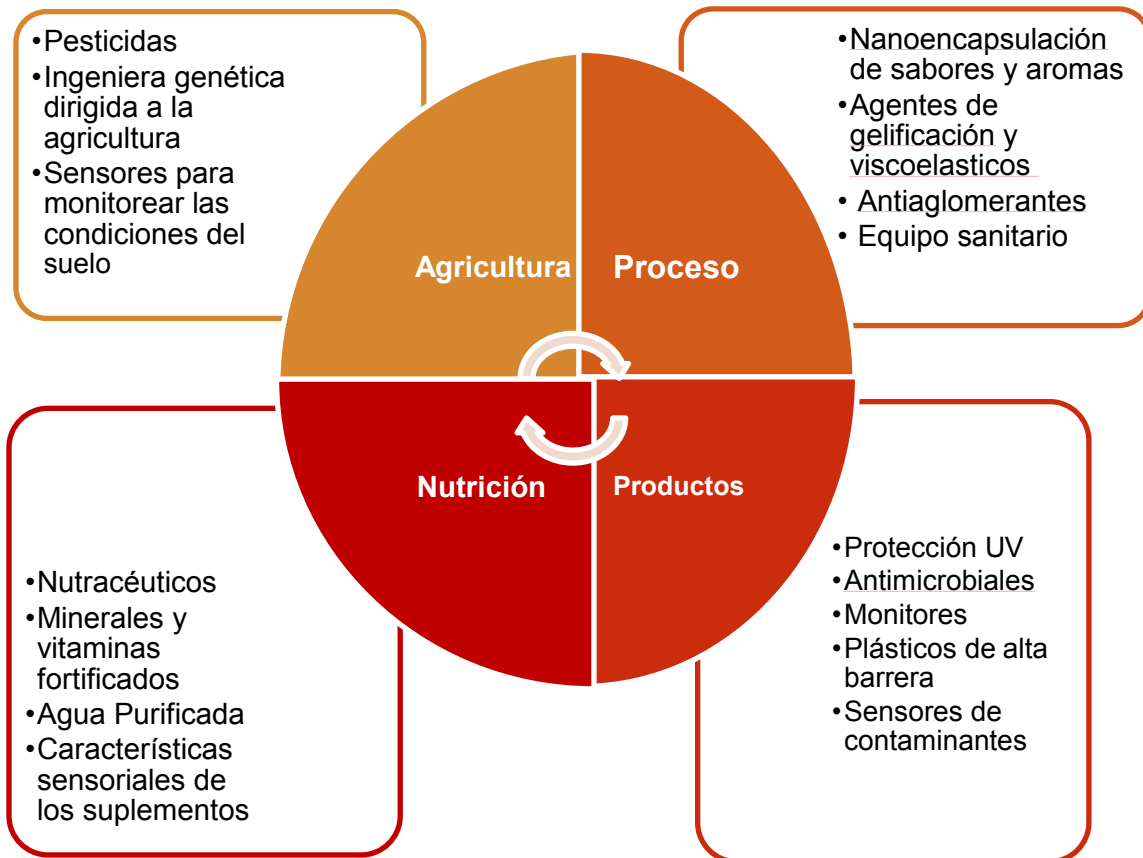


Figura 5 Nanotecnología en la industria alimenticia (Duncan, 2011).

La nanotecnología en alimentos puede plantear riesgos directos para la salud humana. Investigaciones recientes muestran que las nanopartículas inhaladas pueden acumularse en los pulmones y causar enfermedades crónicas debido a su pequeña escala. Las discusiones sobre estos riesgos directos a menudo se centran en la cuestión de la biodisponibilidad; el fenómeno por el cual las nanopartículas eluden más fácilmente las barreras celulares en el cuerpo o se acumulan en zonas del cuerpo con efectos desconocidos a largo plazo. Este

potencial aumento de la biodisponibilidad podría plantear numerosos riesgos para el cuerpo humano, incluyendo los cambios en el perfil nutricional, mayor absorción de nutrientes-aditivos, y la introducción de sustancias extrañas en la sangre. Sin embargo, pocos estudios han examinado estos resultados potenciales y los marcos regulatorios actuales parecen mal equipados para mitigar con éxito estos posibles riesgos tanto directos como indirectos (Chau y col., 2007; Chun, 2009; Dudo y col., 2011).

A pesar de que todavía puede ser demasiado pronto para predecir el impacto que la nanotecnología tendrá en los alimentos el éxito de la nanotecnología alimentaria dependerá de cómo las soluciones de compromiso entre sus beneficios, riesgos e incertidumbres influyen la aceptación del público (Chun, 2009)

1.5.2. Nanopartículas lipídicas sólidas

Las nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) pueden definirse como partículas sólidas coloidales submicrónicas que contienen sustancias activas y son producidas en general por medios mecánicos. Los tamaños de partícula submicrónicas que van desde 50 y hasta 900 nm, siendo preferiblemente desde 50 a 500 nm para conformar un *nano* recubrimiento o película (Quintanar-Guerrero y col., 2012).

1.5.3. Métodos de preparación de NLS

Los nanorecubrimientos a base de NLS se componen de lípidos sólidos o ceras, (aceites de origen vegetal y ceras naturales), agentes estabilizantes (monoglicéridos, diglicéridos y glicéridos) materiales formadores de película (polisacáridos y polímeros sintéticos) y emulsionantes. Se ha encontrado que la combinación de emulsionantes puede evitar la aglomeración de partículas (Mehnert y col., 2001; Quintanar-Guerrero y col., 2012).

Existen varios métodos diferentes para la preparación de nanopartículas lipídicas sólidas las cuales se enlistan:

Emulsificación-evaporación

Sjöström y Bergenståhl (1992) describen un método de producción para preparar dispersiones de nanopartículas por precipitación en emulsiones aceite en agua (O/W). Consiste en disolver el lípido en un disolvente orgánico inmiscible en agua que se emulsiona en una fase acuosa, posteriormente se realiza una evaporación a presión reducida y la precipitación de la mezcla da como resultado las NLS, el precipitado de las NLS se obtiene después de la adición de un exceso de agua que causa la difusión del disolvente orgánico. Para lograr la separación física se somete la mezcla a proceso de liofilización o ultrafiltración. El tamaño promedio de partículas obtenido en esta técnica es de alrededor de 100nm (Wissing y col., 2004).

Homogenización a alta presión

La homogenización a alta presión consiste en empujar un líquido con alta presión (100-2000 bar) a través de un hueco estrecho (en el rango de unas pocas micras). El fluido se acelera en una distancia muy corta a muy alta velocidad (más de 1000 km/h). Los contenidos típicos de lípidos oscilan entre 5-10%. Además en un homogenizador se pueden manejar concentraciones mayores de lípidos sólidos (hasta el 40%) (Mehnert y col., 2001).

Existen dos formas de llevar a cabo la homogenización para la formación de NLS, la homogenización en caliente y en frío.

Homogenización en caliente

La homogenización en caliente se lleva a cabo a temperaturas por encima del punto de fusión del lípido y por lo tanto puede ser considerado como la

homogenización de una emulsión. Las temperaturas más altas resultan en tamaños de partículas menores debido a la disminución de la viscosidad de la fase interna; sin embargo, las altas temperaturas también pueden aumentar la velocidad de degradación. La etapa de homogenización se puede repetir varias veces. En la mayoría de los casos, de 3-5 ciclos de homogenización a 500 a 1500 bar son suficientes. El aumento de la presión de homogenización o el número de ciclos a menudo resulta en un aumento del tamaño de partícula debido a la coalescencia de partículas que se produce como resultado de la alta energía cinética de las partículas.

El producto primario de la homogenización en caliente es una nanoemulsión debido al estado líquido del lípido (Mehnert y col., 2001).

Homogenización en frío

En contraste, la homogeneización en frío se lleva a cabo con el lípido en fase sólida. Se necesita control de la temperatura con el fin de asegurar que el estado sólido del lípido. La homogeneización en frío ha sido desarrollada para superar los tres problemas de la técnica de homogeneización en caliente, debido a que la velocidad de enfriamiento alta favorece una distribución homogénea. Tamaños de partícula típicos obtenidos por medio de molturación con bolas o mortero están en el rango de 50 -100 micras. Las bajas temperaturas aumentan la fragilidad del lípido por lo tanto, la trituración de partículas. Las micropartículas lipídicas sólidas se dispersan en una solución emulsionante refrigerada. En general, en comparación con la homogenización en caliente, los tamaños de partículas son de mayores con una distribución más amplia. El método de homogenización en frío minimiza la exposición térmica de la muestra, pero no lo evita (Mehnert y col., 2001).

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1. Problema

Las mayores pérdidas postcosecha las tienen las frutas y hortalizas, esto debido a sus condiciones de manejo, maduración y calidad lo que conlleva a que no sean aprovechados para consumo humano directo. La Central de Abastos de la Ciudad de México es el mayor centro de distribución de alimentos, lugar donde se tiene el mayor deterioro de frutas y hortalizas.

El tomate es uno de los frutos que más se desperdician debido a que tiene una vida postcosecha relativamente corta, existiendo muchos factores que afectan la calidad después de la cosecha. Por lo tanto, los principales factores limitantes en el almacenamiento de los frutos del tomate son transpiración, infección fúngica, la aceleración del proceso de maduración y senescencia.

Es por ello que se requiere el uso de la tecnología para extender la vida útil del tomate, el uso de recubrimientos comestibles es una de ellas ya que los recubrimientos a base de polisacáridos tienen muchas ventajas tales como bajo costo, son biodegradables y solubles en agua; por lo tanto, no requieren disolventes orgánicos antes o durante su aplicación. Además la incorporación de nanopartículas a los recubrimientos es eficiente para extender la vida útil de diferentes frutos sin perder su calidad. Esto ayudará a reducir el desperdicio que hay en México en frutas y verduras y principalmente en el tomate.

2.2. Objetivo General

Establecer la efectividad de un recubrimiento con base en nanopartículas lipídicas sólidas–goma xantana mediante la evaluación de cambios en color y transpiración que permitan incrementar el tiempo de vida útil de tomate cv. Saladett

2.2.1. Objetivos Particulares

Objetivo Particular 1

Evaluar los cambios de peso, color y textura por efecto de la concentración de nanopartículas lipídicas sólidas (10 y 15 %) como parámetro inicial relacionado con la conservación de tomate cv. Saladett refrigerado y transferido a temperatura ambiente.

Objetivo Particular 2

Aplicar recubrimientos con nanopartículas lipídicas sólidas- goma xantana para evaluar los cambios en sólidos solubles, acidez y pH que repercuten en la conservación del tomate c.v Saladett.

Objetivo Particular 3

Comparar los recubrimientos con base en nanopartículas lipídicas sólidas-goma xantana en función de los cambios cinéticos de transpiración determinando la influencia de éste sobre la pérdida de peso en tomate refrigerado y transferido a temperatura ambiente.

2.3. Hipótesis

Si los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos han mostrado ser eficientes en la conservación de tomate, la incorporación de nanopartículas lipídicas sólidas promoverá entonces el incremento de la vida útil con un mejor control de la velocidad de transpiración del producto disminuyendo con ello la

pérdida fisiológica de peso retardando los cambios de calidad asociados a la maduración del producto.

2.4. Selección y Justificación de variables

Para evaluar la efectividad del recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas – goma xantana en el tomate, es necesario monitorear los atributos de calidad que son: pérdida de peso, °Bx, pH y acidez (Zambrano-Zaragoza y col., 2013). La firmeza es otro atributo relacionado con el índice de calidad final por el consumidor. La pérdida de firmeza se debe a un ablandamiento del tejido provocado por una pérdida de peso y/o actividad enzimática, y si es por esta última es debido a la pectinmetilesterasa y a la poligalacturonasa (Pinheiro y col., 2013). El color del tomate determina el grado de aceptación por ello es importante evaluar este parámetro mediante un análisis digital y así saber si hay un cambio externo en éste.

Todos estos parámetros y atributos se evaluaron y contrastaron con el control, para realizar un análisis estadístico y obtener valores inferiores al control y así extender la vida útil del tomate debido a que es un fruto altamente perecedero.

Tabla 6 Cuadro de variables




Factor de variación	Nivel de variación	No. de repeticiones	Variable dependiente	Variable de respuesta	Técnica o instrumento de medición
Goma Xantana	0.3%	3	L*, a* y b*	°Hue, Chroma, ΔE	Análisis Digital
			Carga	Firmeza	Texturómetro
			°Bx pH % Acidez	Parámetros de calidad	Refractómetro Potenciómetro Titulación
			Pérdida de peso	Velocidad de Transpiración	Balanza digital
Nanopartículas lipídicas sólidas	10 y 15%		Escala Hedónica	Índice de decaimiento	Microscopio

2.5. Actividades Preliminares

2.5.1. Selección del polisacárido para el recubrimiento del tomate

Previo a la preparación del recubrimiento se realizaron pruebas para seleccionar el polisacárido matriz que mejor se adheriera a los tomates, los criterios para las pruebas preliminares son mostrados en la tabla 7 siendo la goma xantana con una concentración del 0.5% la que mejor se adhirió, sin embargo, ésta tuvo una mayor viscosidad, por lo que para facilitar la aplicación se decidió bajar la concentración al 0.3%.

Tabla 7 Elección del polisacárido

Polisacárido			
Polisacárido	Condiciones	Apariencia	Resultado
Goma arábica	10 y 20 %		Las concentraciones empleadas en esta prueba fueron obtenidas del estudio previo de Asgar y col (2010). Del cual no se obtuvo adherencia en las dos concentraciones, como se puede observar en la imagen de la izquierda, el recubrimiento se encuentra en el fondo del recipiente.
CMC (Carboximetilcelulosa)	0.5%		Tourgyl en el año 2004 utilizó CMC para recubrir peras y melocotones, esto para extender la vida útil y preservar la calidad de los frutos; en el caso del tomate no se logró adherir como se observa, por lo que no se utilizó para realizar el recubrimiento
Goma Xantana	0.5%		Zambrano-Zaragoza y col. (2012) utilizaron goma xantana para el recubrimiento de guayaba entera por lo cual se utilizó este polisacárido en donde se observa que el tomate queda recubierto completamente.

<p>HPMC (Hidroxipropilmetilcelulosa) 0.5%</p>		<p>Villalobos-Carvajal y col (2009) utilizaron hidroxipropilmetilcelulos para el recubrimiento de zanahoria. El recubrimiento no tuvo adherencia en ninguna parte del tomate como se observa en la imagen.</p>
--	--	--

2.5.2. Selección del plastificante para el recubrimiento del tomate

Una vez seleccionado el polisacárido matriz se realizaron pruebas para seleccionar el plastificante, teniendo una concentración del 3% en plastificantes, observándose en la Tabla 8 que el que tuvo adherencia total es propilenglicol y sacarosa al 2% y 1% respectivamente.

Tabla 8 Elección del plastificante.

Plastificante	Condiciones	Apariencia
<p>Glicerol</p>	<p>3%</p>	<p>Se observa que al utilizar éste plastificante ha y poca adherencia con el tomate</p>
<p>Propilenglicol</p>	<p>3%</p>	<p>Al utilizar el propilenglicol como plastificante se observa que ha y adherencia, aunque después de un segundo el tomate no queda recubierto.</p>
<p>Sorbitol</p>	<p>3%</p>	<p>Al ser aplicado el sorbitol al tomate no tiene ninguna adherencia.</p>

<p>Propilenglicol y sacarosa 2% y 1%</p>		<p>El propilenglicol junto con la sacarosa fue el único plastificante con el que se obtuvo la mayor adherencia al tomate utilizando este en el recubrimiento con NLS y goma Xantana.</p>
--	---	--

2.6. Diseño Experimental

2.6.1. Selección y control de la materia prima

Se utilizó un lote de 60 kg de tomate Saladette, adquirido en la central de abastos de Iztapalapa, Distrito Federal. Los tomates fueron seleccionados con base en un estado de madurez naranja rallado, tamaño de 5 cm de diámetro y peso de entre 110 a 130g, descartando los tomates con daño mecánico y enfermedad. Previo al lavado y la desinfección se mantuvieron refrigerados a 12°C por un día.

2.6.2. Preparación de dispersiones formadoras de película.

Las NLS fueron proporcionadas en el Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de la UIM (Unidad de Investigación Multidisciplinaria), éstas fueron preparadas por el método de homogenización en caliente. Previo a la incorporación de las NLS se preparó una dispersión de goma xantana al 0.3 %, a esta dispersión se le agregaron 10 y 15 mL de NLS/100 mL de dispersión de goma xantana, considerando además aquellas muestras que solo fueron tratadas con goma xantana. A todos los recubrimientos se les agregó 1 % de sacarosa y 2% de propilenglicol como plastificante.

2.6.3. Aplicación del recubrimiento

Una vez seleccionados los tomates se lavaron con agua y jabón, para quitar el exceso de cera y tierra proveniente del campo. Se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 150 ppm por inmersión durante 15 min. Posteriormente, se secaron con toallas absorbentes para marcarlos y pesarlos antes de colocar el recubrimiento.

Los tomates desinfectados se recubrieron con las diferentes concentraciones propuestas de 10% y 15% de NLS, goma xantana al 0.3% y el control sin tratamiento.

La aplicación del recubrimiento se llevó a cabo por inmersión durante 3 min, secado con un asecadora durante 1 min y posteriormente con un ventilador durante 3 min y se almacenaron a 12°C durante 27 días.

2.6.4. Acondicionamiento del frigorífico

Los tomates con recubrimiento y sin él, se almacenaron en un frigorífico Friocima a 12°C (Asgar col., 2013) y una humedad relativa de 85%. Para garantizar las condiciones de seadas, se acondicionó con ayuda de 3 termopares (LASCAR RHT/ Temperature DATA Logger EL-USB 2 U.S.A) en los 3 niveles en que se almacenó el tomate.

2.6.5. Pérdida de Peso

La determinación de la pérdida de peso se realizó por diferencia, pesando los tomates y obteniendo los cambios de peso con respecto al valor inicial utilizando la siguiente ecuación:

Esto permitió evaluar la eficiencia del recubrimiento, la cual se determinó cada tercer día, con una balanza digital y así se realizó una comparación con el peso inicial del tomate entero (Asgar y col., 2013).



Figura 6 Balanza Digital.

2.6.6. Parámetros de calidad

Firmeza

La firmeza se determinó mediante un Texturometro CT3 Texture Analyzer marca Brookfield utilizando una celda de carga de 0.7 N, el cual fue acondicionado con una sonda de 6mm de diámetro a una velocidad de 2 mm/seg, con una distancia de 15mm para obtener la firmeza de cada muestra.



Figura 7 Texturómetro CT3 Texture Analyzer..

Se extrajo el jugo de los tomates en trozos con un extractor (TAURUS LIQUA FRUIT). Este jugo se utilizó para llevar a cabo la medición de °Bx, acidez y pH.

°Bx

Una vez que se extrajo el jugo de tomate se procedió a hacer la medición de sólidos solubles de forma directa con ayuda de un refractómetro (HI96801, HANNA) utilizando el principio de refracción de la luz en líquidos. Los valores obtenidos del equipo se expresan como °Brix.



a)



b)

Figura 8 a) Extractor de jugos b) Refractómetro.

Determinación de pH

Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro (HANNA), de acuerdo al método AOAC 32.010 (AOAC, 2002) el cual primero se calibró con una solución buffer pH 4 y 7 (Figura 9).



Figura 9 Potenciómetro.

Determinación de acidez

La acidez se determinó por el método de titulación ácido-base, el cual se fundamenta en la neutralización de los iones H^+ utilizando como reactivos NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador al 1%. La acidez se expresó en % de ácido cítrico de acuerdo a la siguiente ecuación.



Figura 10 Determinación de acidez en el jugo de tomate

2.6.7. Determinación de color

Se determinó el color de las muestras mediante el método empleado por Briones y Aguilera, 2005 se utilizó una cámara digital Fugifilm (modelo F100fd) sin zoom, sin flash y con un temporizador de 10 segundos. Las muestras y la cámara se colocaron en una caja oscura, teniendo una iluminación de 10 watts con un ángulo de 45° , con el objetivo de disminuir la difusividad de la reflexión de color, el ángulo de la cámara y muestra fue de 90° con el fin de reducir el brillo Figura 11.



Figura 11 Caja Negra.

Todas las imágenes se analizaron con el programa “ Adobe Photoshop CS5” obteniendo valores de L^* , a^* , b^* .

Obteniendo estos valores (L^* , b^* , a^*) en cada imagen se calcula el tono mediante el ángulo Hue a partir de la ecuación 3.



porta muestras cuidando de que la cara externa quede hacia arriba. Una vez seco el pericarpio se recubrió con una delgada película de oro por medio de un evaporador de metales JFC-1100 Sputter. A continuación se realizó el estudio morfológico de la superficie de la piel del tomate con y sin recubrimiento utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL modelo JSM-6060LV. Las condiciones del equipo fueron alto vacío con un voltaje de aceleración de 28 kV, se utilizó electrones secundarios a diferentes ampliaciones 10 y 100 μm . Esta prueba se realizó a los 3 recubrimientos y al control.

III. Resultados

3.1. Acondicionamiento del frigorífico

En la tabla 10 se muestra la distribución de temperaturas en diferentes niveles obteniéndose una temperatura promedio de 12.6°C, siendo óptima para el almacenamiento de tomate.

Tabla 10 Temperatura promedio en el frigorífico.

Nivel	Temperatura (°C)
1	12.2
2	12.6
3	13
Promedio	12.6

La temperatura en el refrigerador se monitoreó con un termopar Checktemp 1 de HANNA instruments durante el almacenamiento del tomate.

3.2. Pérdida de Peso

El agua es el compuesto más abundante en el tomate con más del 70 %, y es el que más rápido se pierde durante la respiración. La pérdida de peso en fruta se debe principalmente a la pérdida de agua causada por los procesos de transpiración y respiración y es una de las principales causas de deterioro de la calidad de los frutos frescos después de la cosecha (Kurt, 2014; Xuan y col., 2008; Asgar y col., 2010).

En la Figura 12 se muestra la pérdida de peso del tomate almacenado durante 27 días a 12°C, observándose que las muestras control tuvieron una mayor pérdida fisiológica de peso con un incremento paulatino que alcanzó 6.3 % a los 21 días de almacenamiento, teniendo al final del almacenamiento una pérdida total de 7.1 %. Este comportamiento es seguido por el mostrado por los tomates recubiertos con goma xantana, siendo importante resaltar que el empleo de un recubrimiento contribuyó a disminuir la pérdida de peso, pues con la aplicación de goma xantana se perdió solo el 5.9% de peso al final del periodo de almacenamiento.

En cuanto a los recubrimientos con NLS, el de 10% se mantuvo constante a partir del noveno día de almacenamiento, no superando el 2.6% de pérdida. En cuanto al 15% de NLS la pérdida de peso es de 1.6% solo hasta el noveno día, aunque al final del almacenamiento alcanzó una pérdida de peso de 5.2%, ésta similar al emplear goma xantana, y a que con esta concentración de NLS se mostró un comportamiento poco homogéneo, probablemente debido a que se produce una limitación para el intercambio gaseoso debido a la permeabilidad del recubrimiento al vapor de agua y oxígeno lo que hace que el producto cambie sus procesos metabólicos que incrementan la transpiración del producto y promueven la liberación de vapor de agua a través de las lenticelas del producto.

Se estima que si un producto ha perdido un promedio de 5 % de su peso fresco, éste ya es indeseable en el mercado (Kurt, 2014). Las lenticelas y estomas son las vías naturales de salida y entrada de agua e intercambio gaseoso, por lo que el control y las muestras de goma xantana y 15 % de NLS alcanzan 5% de pérdida de peso después de los 20 días de almacenamiento.

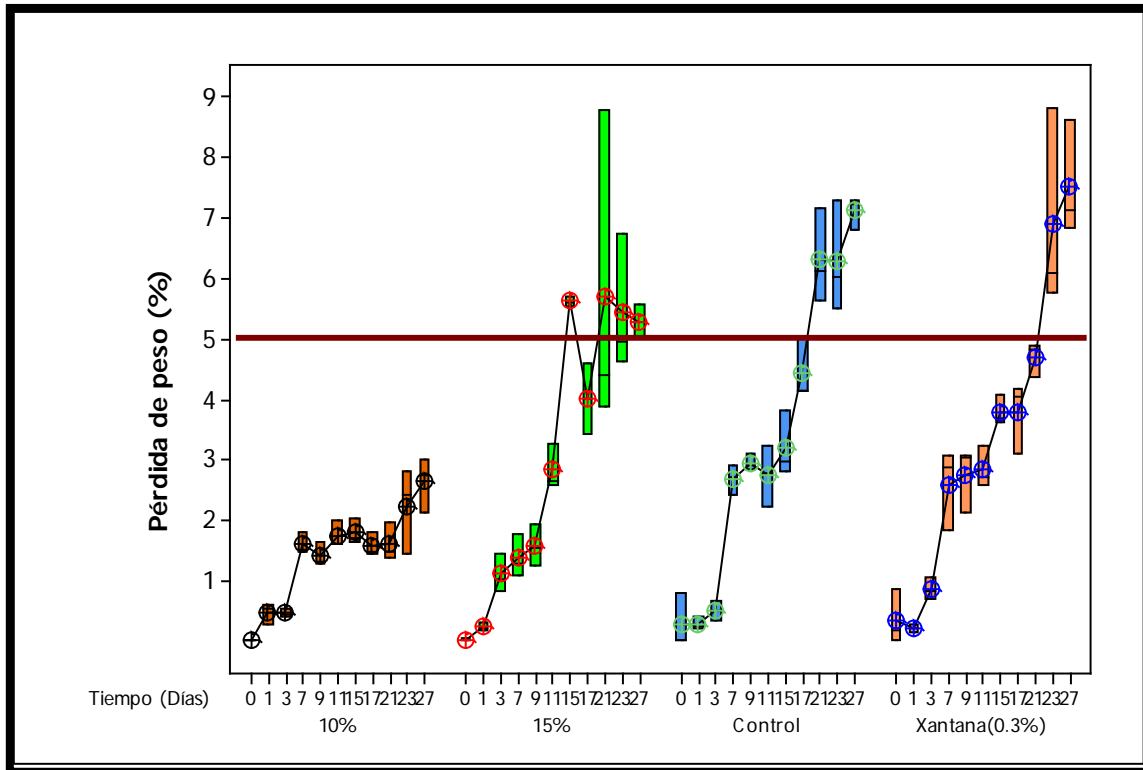


Figura 12 Pérdida de peso a 12°C.

En la Figura 13 se muestran los cambios en pérdida de peso después de que los tomates fueron transferidos a temperatura ambiente (25 °C), transferencia que se realizó con la finalidad de garantizar que la aplicación del recubrimiento no provoque daño fisiológico en el producto y continúe el proceso de maduración.

Castellano y colaboradores (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, observándose en la Figura 13 que las muestras control tuvieron un 3.9% más en el último día de almacenamiento (día 26), con respecto a las que muestras control en refrigeración (día 27), de igual forma en las muestras con goma xantana y 15% de NLS hubo un aumento del 2.3% y del 3.3% respectivamente.

En cambio las muestras con 10% de NLS se mantuvieron constantes los primeros 15 días de almacenamiento, por lo que hubo un retardo en los procesos

metabólicos y en la velocidad de respiración, aunque los 10 días restantes llegaron a un 3.8 % de pérdida, por lo que el recubrimiento a esta concentración tuvo mayor retención de agua.

Fagundes y colaboradores (2014) reportaron una pérdida de peso de 3.2% en tomates recubiertos con hidroxipropilmetilcelulosa a los 15 días de almacenamiento, y en este trabajo se obtuvieron valores menores en las muestras de 10 y 15 % de NLS. Aunque al final del almacenamiento las muestras de 15% de NLS obtuvieron una pérdida de peso de 8.4%, superior a los tratamientos reportados de Asgar y col., 2010 con goma arábica con una pérdida de 6.3%.

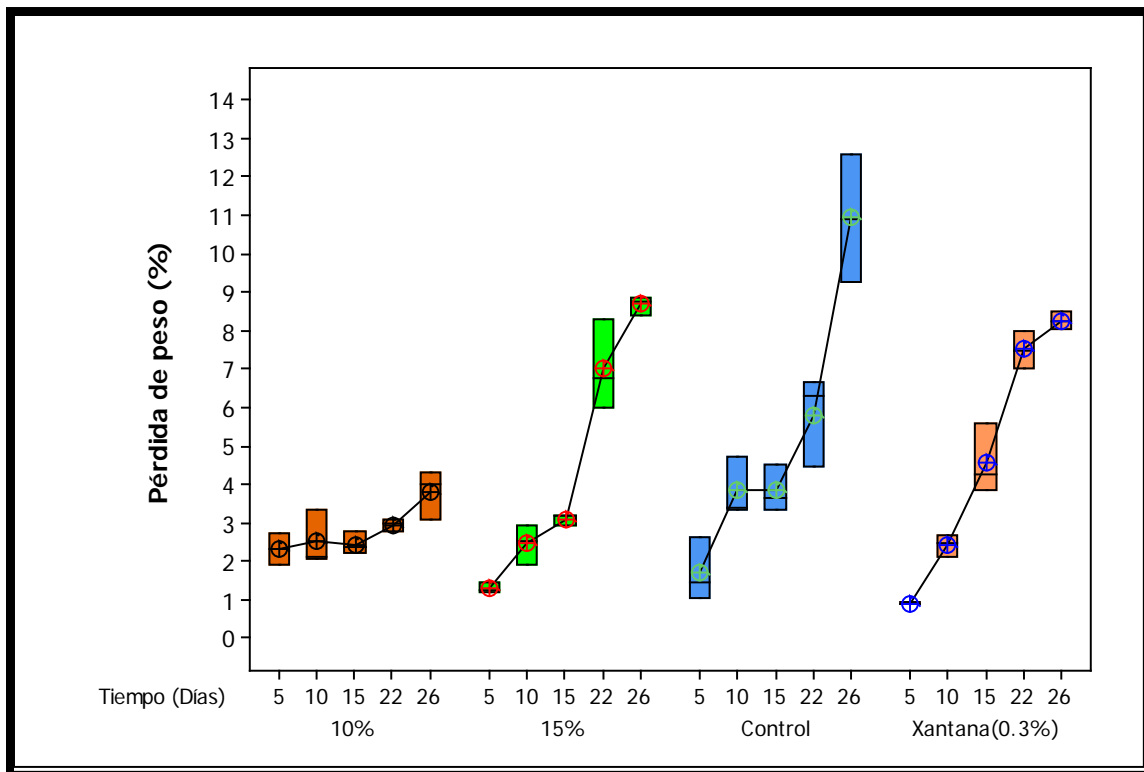


Figura 13 Pérdida de Peso a 25°C.

3.3. Parámetros de Calidad

3.3.1. Firmeza

La firmeza del fruto es una de las principales características de calidad juzgada por el consumidor y, por lo tanto, muy importante en la aceptación general del producto. El fruto de tomate tiene una pérdida de firmeza acelerada que contribuye en gran medida a su corta vida pos cosecha y a la susceptibilidad a la contaminación fúngica (Hong Kaqian, 2012).

La firmeza del tomate disminuyó con el tiempo de almacenamiento tanto en las muestras recubiertas como en el control, esto debido a los procesos de maduración que irremediamente se llevan a cabo, mostrando que el proceso de maduración continúa.

La Figura 14 muestra el comportamiento de la firmeza en función a la composición del recubrimiento respecto a las muestras control.

En las muestras con 15% de NLS, la goma xantana y el control la firmeza está por debajo de los 12 N, mientras que en las muestras con 10 % de NLS está por encima de los 12 N, esto se debe a que los bajos niveles de O_2 y los altos niveles de CO_2 limitan las actividades enzimáticas de la pectinmetilesterasa y de la poligalacturonasa y permiten la retención de la firmeza durante el almacenamiento, esto permitió que no hubiera un descenso mayor como en los demás tratamientos.

El ablandamiento del tomate se dio debido al deterioro de la estructura de la célula, la composición de la pared celular y materiales intracelulares y es un proceso bioquímico que implica la hidrólisis de la pectina. A medida que el proceso de maduración avanza, hay una despolimerización o acortamiento de la longitud de la cadena de sustancias como la pectina y se produce un aumento en las actividades enzimáticas de la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa (Yaman y col., 2002).

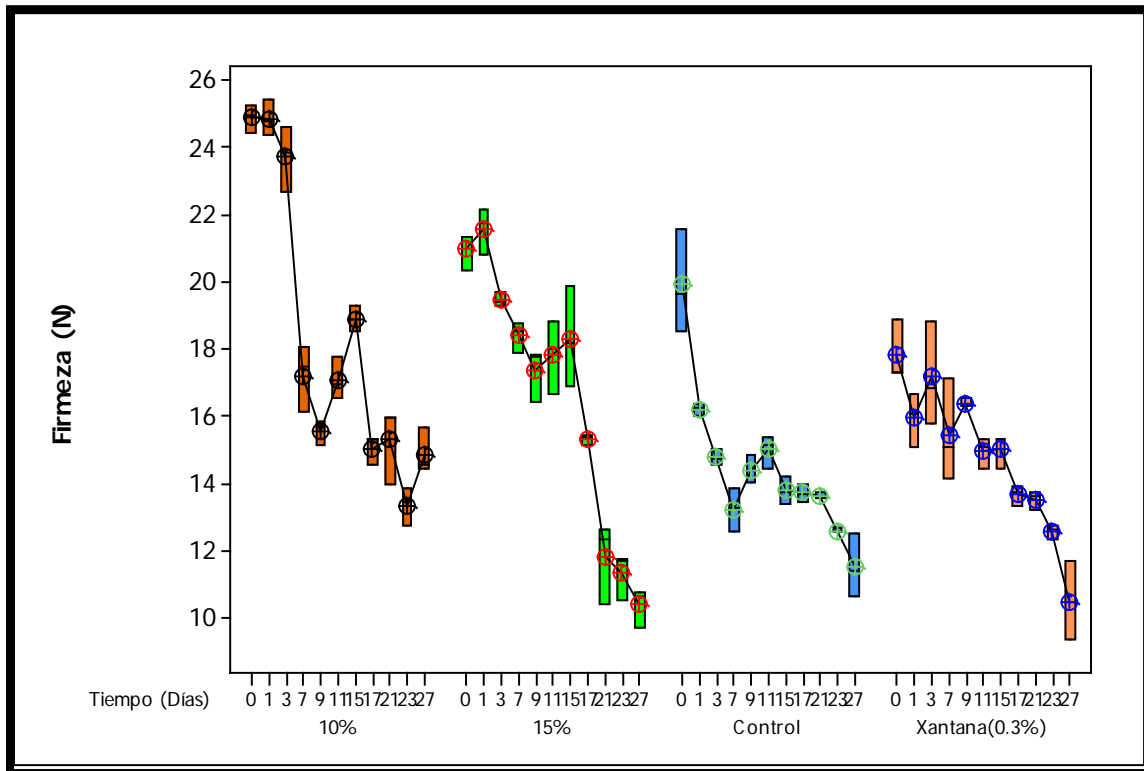


Figura 14 Firmeza (N) del tomate a 12°C.

En el caso del tomate a temperatura ambiente hay una diferencia significativa entre las muestras de 10 % de NLS y los demás tratamientos, observándose en la Figura 15 que las muestras al 10 % de NLS en el último día de almacenamiento alcanzó estar por encima de los 16 N, mientras tanto las demás muestras empiezan su descenso por debajo de los 18 N llegando al final del almacenamiento por debajo de los 12 N, ésto se atribuye a la pérdida de peso que tuvo el fruto ya que las muestras con el 15% de NLS, goma xantana y el control son mayores al 8% de pérdida.

Por lo tanto, la retención de la firmeza en los tomates con recubrimiento ha sido relacionada con una reducción de las actividades enzimáticas causada por una modificación de la atmósfera interna de la fruta (Asgar y col., 2010; Zapata y col., 2008). Por otro lado, el efecto del recubrimiento sobre el mantenimiento de la

firmeza de la fruta también se ha relacionado con su capacidad para controlar la pérdida de peso (Fagundes y col., 2014).

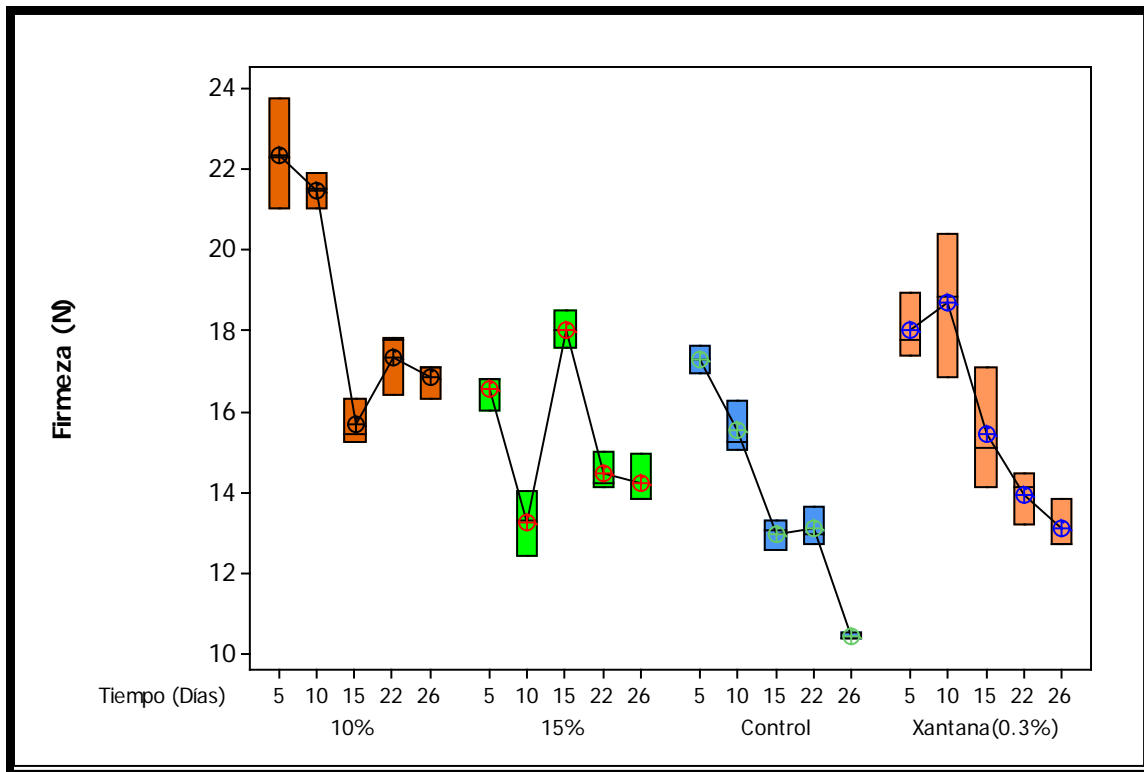


Figura 15 Firmeza (N) del tomate a 25°C.

3.3.2. °Bx

El contenido de sólidos solubles (°Bx) es una medida utilizada para evaluar la calidad del tomate. Los sólidos solubles dependen de la acumulación de almidón durante la fase de crecimiento, los azúcares solubles en el tomate son de glucosa y fructosa contribuyendo con un 65 % a 70% (Anthon y col., 2011; Beckles, 2012).

En la Figura 16 se muestran los cambios en °Bx durante el almacenamiento refrigerado a 12 °C observándose que las muestras control, las muestras con 15% de NLS y goma xantana permanecen en un intervalo de 4.4 y 4.2 °Bx, mientras que las muestras con 10% NLS aumentan en los primeros 3 días hasta, después de estos días se mantienen constantes en 4 °Bx. Anthon y col (2011)

demonstraron que los sólidos solubles aumentan durante la maduración, y permanecen constantes debido a un exceso en la madurez.

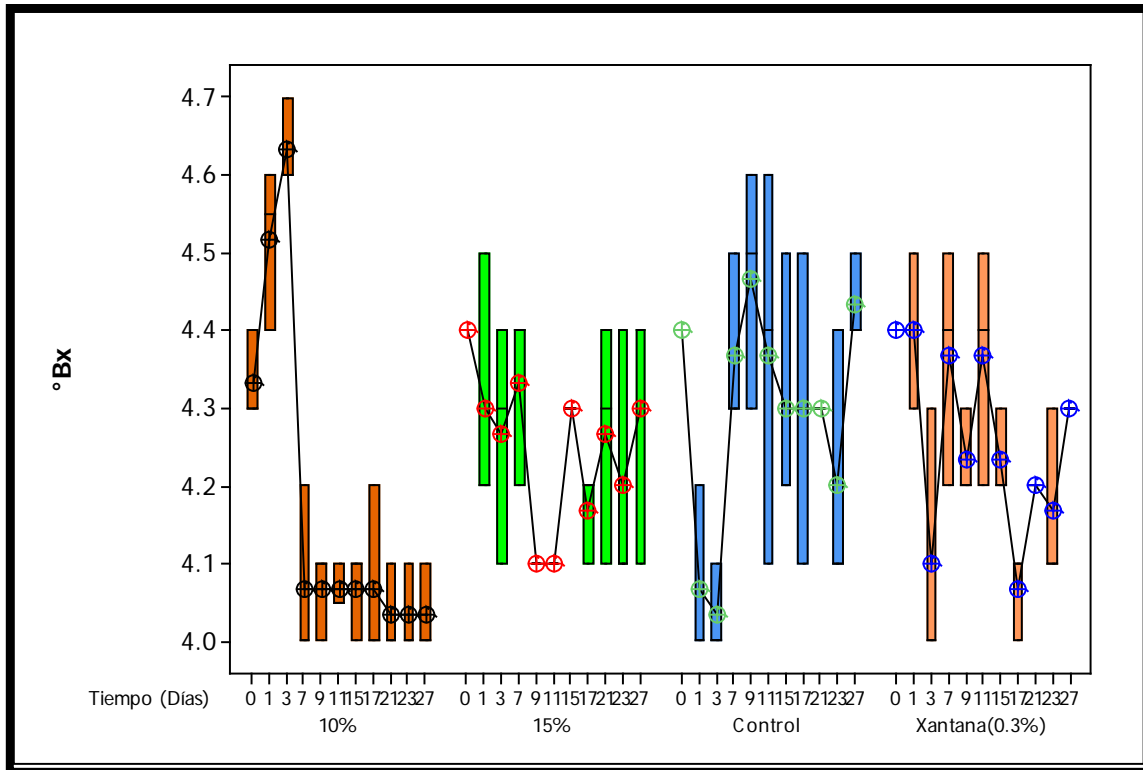


Figura 16 °Bx del tomate a 12°C.

Un cambio en los sólidos solubles se correlaciona con cambios hidrolíticos en el almidón provocados por la maduración en el almacenamiento postcosecha. En los tomates, la conversión del almidón en azúcar es un índice importante de maduración. La degradación de los polisacáridos de la pared celular (hemicelulosa y pectinas) que se producen durante el almacenamiento puede influir en la maduración del fruto (Das y col., 2013).

En la Figura 17 se muestran los cambios en °Bx cuando los tomates fueron transferidos a temperatura ambiente (25°C).

En cuanto a los °Bx a temperatura ambiente el control y las muestras con goma xantana disminuyeron en el último día de almacenamiento (26 días) llegando hasta los 3.7 °Bx, mientras que las muestras con NLS se mantuvieron constantes

en un margen de 4.1 a 4.2. Estos valores son similares e encontrados por Javanmardi y col (2006), donde los valores de °Bx permanecen constantes.

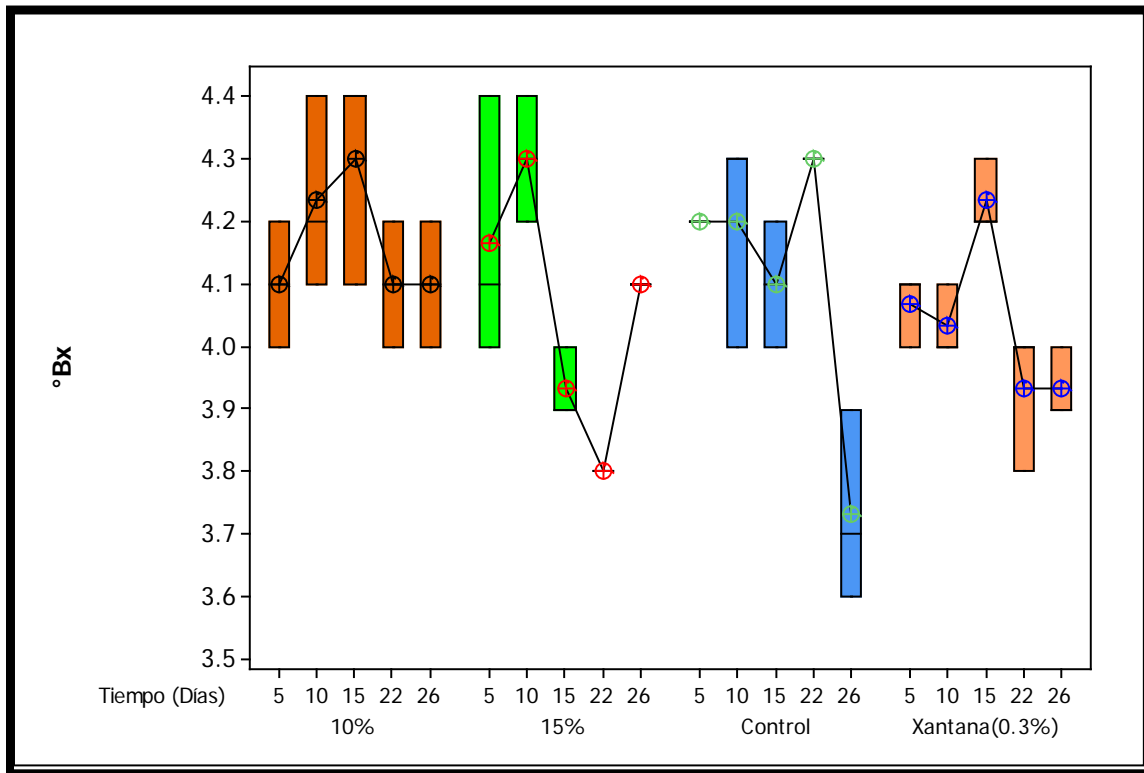


Figura 17 °Bx del tomate a 25 °C.

3.3.4. pH

El pH del tomate está determinado principalmente por el contenido de ácido de la fruta. La acidez de la fruta también es importante como factor que contribuye al sabor del tomate, por lo que tienen una acidez suficiente para mantener un pH inferior a 4.5. Un pH de 4.6 o más provoca la presencia de microorganismos en el tomate (Anthon y col., 2011; Anthon y col., 2012; Bergougnoux, 2014).

La Figura 18 muestra los cambios de pH en tomate en función al tratamiento durante el almacenamiento a 12 °C, en esta se observa que las muestras recubiertas con 15% NLS y goma xantana se mantuvieron en un pH de 4.4 a 4.5 en todo su almacenamiento, cabe mencionar que las muestras recubiertas con

goma xantana tuvieron un cambio de pH en los primeros siete días, mientras que las muestras con 15% de NLS cambiaron hasta el noveno día. Es importante resaltar que las muestras recubiertas con 10% de NLS tardaron 17 días para alcanzar el 4.5 de pH, manteniéndose constantes el resto del almacenamiento. Los tomates control tuvieron una oscilación de pH de entre 4.4 y 4.6, llegando al pH máximo del fruto en los últimos días de almacenamiento.

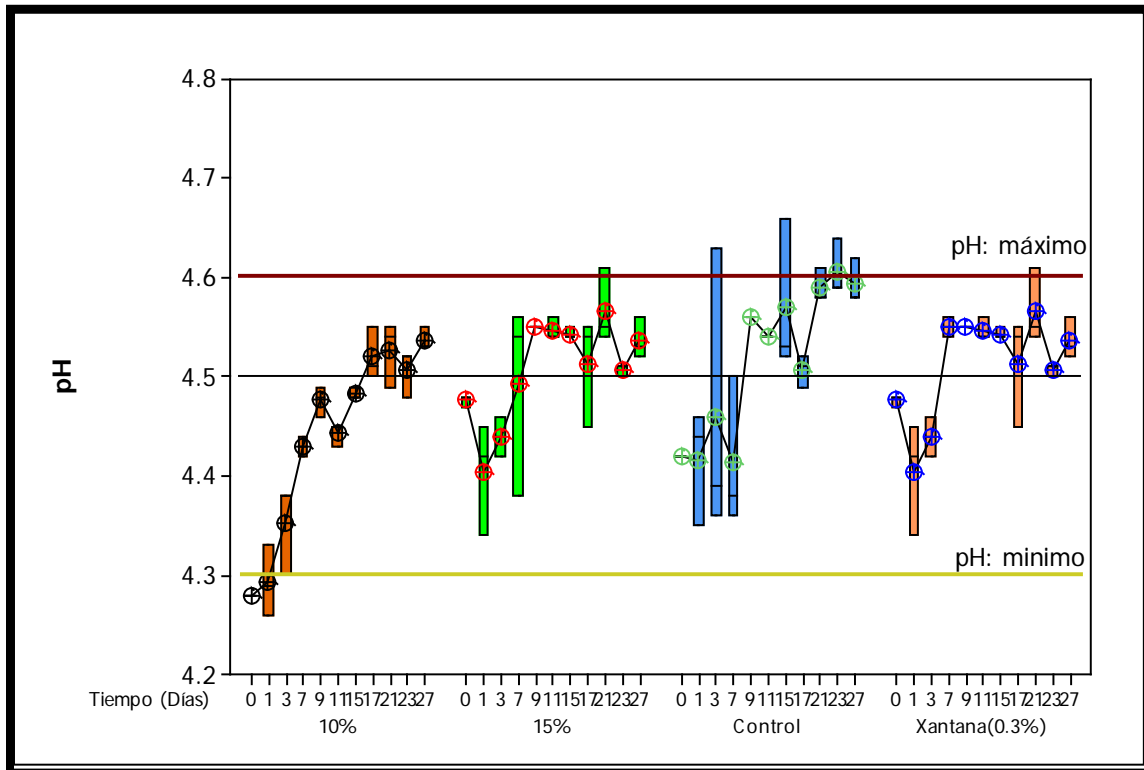


Figura 18 pH del tomate a 12°C.

La Figura 19, muestra los cambios en pH cuando el tomate fue transferido a temperatura ambiente (25 °C), observándose que las muestras con 15 % de NLS presentaron un incremento de pH de 4.45 a 4.6, mientras que las muestras control y las muestras con goma xantana tuvieron un incremento mayor al 4.6 de pH durante el periodo de almacenamiento. Akudak (2010) menciona que los tomates muy maduros exceden el 4.6 de pH, observándose en la Figura 27, el control y las muestras con goma xantana han alcanzado el rojo intenso, lo que equivale a un tomate maduro como se explica en la Tabla 2, mientras las muestras con 10 % de NLS se mantienen constantes durante todo el almacenamiento. El

aumento en el pH se debe al proceso de maduración y a la disminución de la acidez (Anthon y col., 2011).

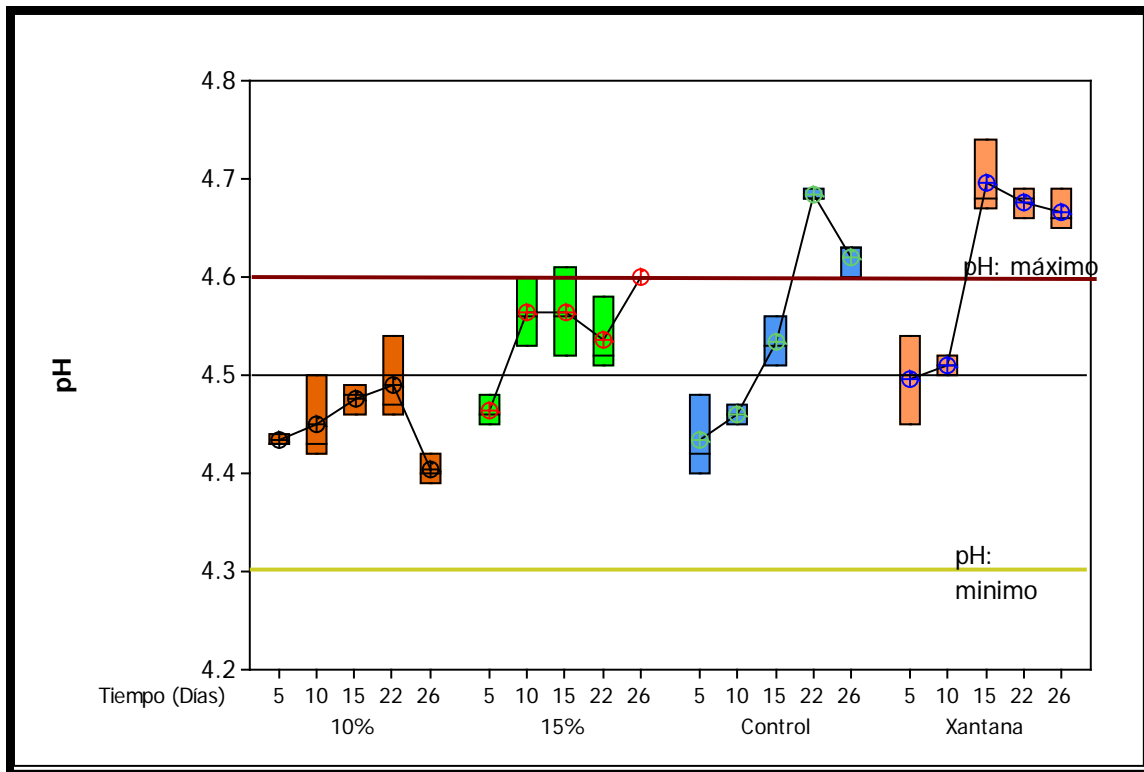


Figura 19 pH del tomate a 25°C.

3.3.2. Acidez

La acidez de la fruta es un importante factor que contribuye al sabor del tomate. El ácido cítrico es el ácido más abundante en los tomates; también existen otros dos ácidos que contribuyen significativamente a la acidez que son el ácido málico y glutámico.

Dado que los ácidos orgánicos, tales como ácido málico o cítrico, son sustratos primarios para la respiración, se espera una reducción de la acidez en frutos que tienen una respiración alta (El-Anany y col., 2009). También se considera que los recubrimientos reducen la tasa de respiración y por lo tanto pueden retrasar la utilización de ácidos orgánicos (Yaman y col., 2002).

La Figura 20 muestra los cambios en acidez de tomate al macenado e n refrigeración a 12 °C, observándose que las muestras control y las muestras con goma xantana tuvieron la mayor evolución en acidez debido a la maduración, es posible resaltar que la aplicación de un recubrimiento con NLS contribuye a controlar la maduración del producto ya que las muestras con 10 y 15 % de NLS tuvieron cambios menores en la acidez con respecto al ácido cítrico.

Con respecto a la acidez en los tomates refrigerados, en la muestra control y goma xantana están a su máximo en el inicio del proceso de maduración y disminuyó a medida que la fruta alcanzó la etapa madura y continuó disminuyendo con el exceso de madurez. Ésto se debe a una rápida utilización de los ácidos por la respiración, como resultado dio lugar a una senescencia rápida, mientras que las muestras con NLS permitieron un intercambio de gases adecuado favoreciendo a los tomates. El aumento en el pH y la disminución de la acidez indica que las concentraciones de acidez de la fruta están disminuyendo con la madurez, observándose en la Figura 18 de pH.

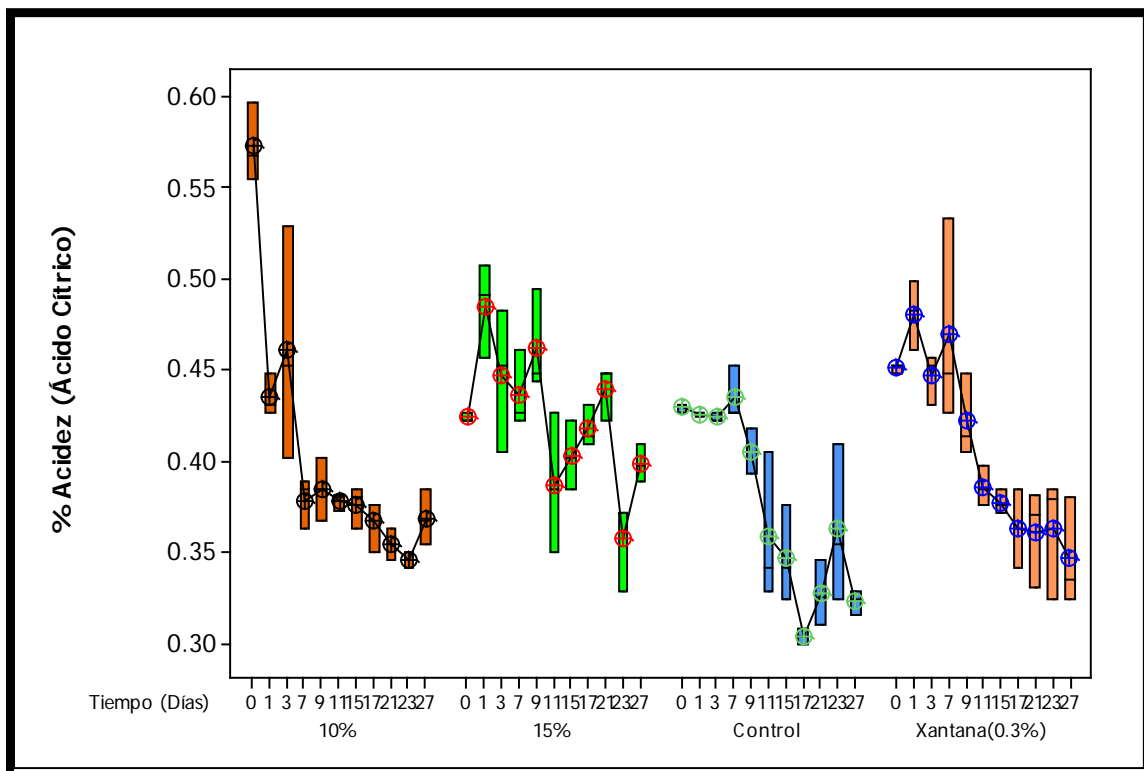


Figura 20 Acidez del tomate a 12°C.

En cuanto la acidez del tomate a temperatura ambiente se puede observar en la Figura 21 que las muestras con recubrimiento se mantienen constantes, mientras tanto, el control tuvo un aumento en la acidez después del onceavo día esto se debe a que se produjo una fermentación en el tomate.

Estas reducciones son el resultado de la utilización de ácidos e hidratos de carbono en la respiración y otros procesos fisiológicos.

Hay una relación inversa entre el pH y la acidez, aunque a veces la relación es inexacta. Además, el sabor del producto de tomate depende del equilibrio de azúcares con ácidos orgánico.

Entre los parámetros analizados para la evaluación de la calidad de tomate, el pH es muy importante porque la acidez influye en las condiciones de procesamiento térmicas requeridas para producir productos seguros.

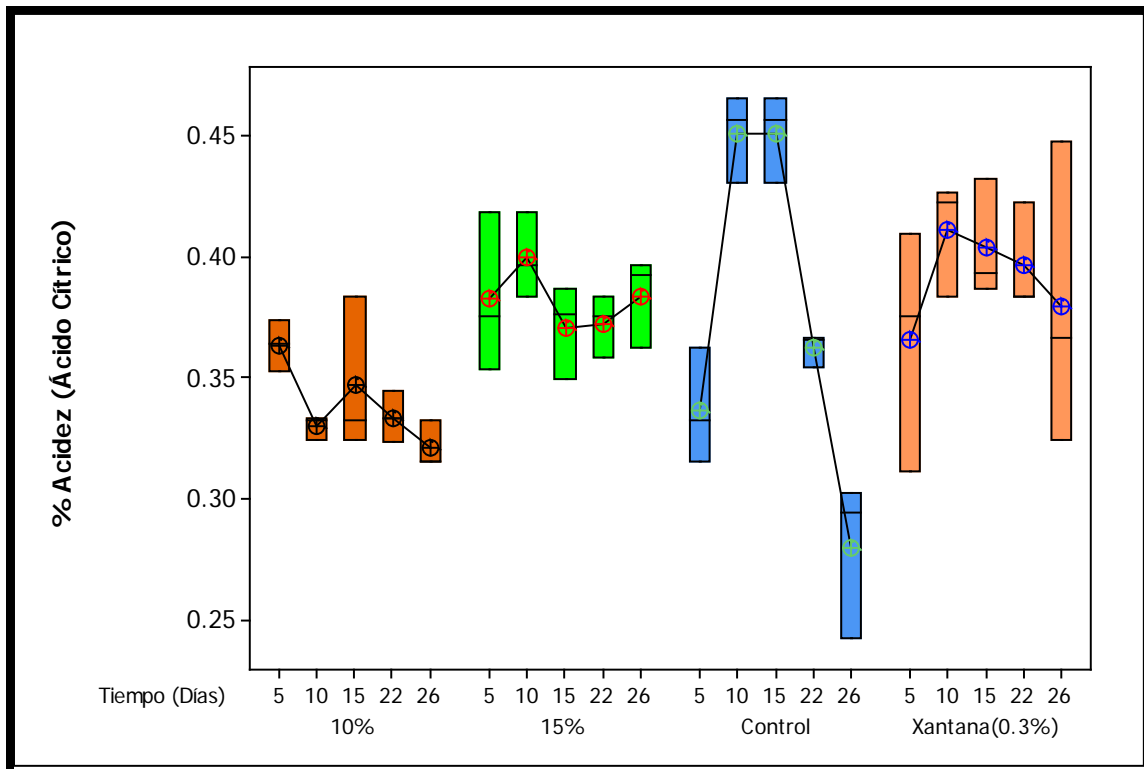


Figura 21 Acidez del tomate a 25°C.

3.4. Color

El color es un criterio importante de calidad y aceptabilidad de los consumidores, sobre todo en lo que respecta a los tomates. Durante la maduración, el pigmento verde clorofilas se degrada y hay acumulación de carotenoides, especialmente licopeno que dan el color rojo al tomate maduro (Asgar y col., 2010).

La Figura 22 muestra la evolución de los cambios de color en tomate durante su almacenamiento refrigerado expresados en función al ángulo Hue, observándose que las muestras que tuvieron un mayor cambio fueron las control y recubiertas con goma xantana, siendo mayor la velocidad de cambio para las muestras recubiertas con goma xantana que tuvieron un ángulo de color de 78° al final del almacenamiento (27 días) presentan un color rojo característico del tomate y que corresponde a un estado de madurez representando la máxima madurez previo a la senescencia del producto. Las muestras con 10 % NLS mostraron el menor cambio de color verde-rojo rallado lo que puede correlacionarse con un control de la maduración. Ésto se debe a que las NLS proporcionaron una barrera contra la producción de etileno y el intercambio de gases entre el ambiente interno y externo, por lo tanto retrasó la maduración de las muestras refrigeradas.

El licopeno, que es responsable del color rojo de los tomates, varía considerablemente entre cultivares, estado de madurez y condiciones de crecimiento; el contenido de licopeno aumenta conforme el proceso de maduración continúa, pero es afectado por la temperatura teniendo un retardo en la madurez de los tomates (Javanmaid, y col 2006).

Es por ello en las muestras con NLS obtuvieron un menor cambio en el color, mientras que las muestras control y goma xantana tuvieron los mayores cambios de color como se observa en la Figura 27.

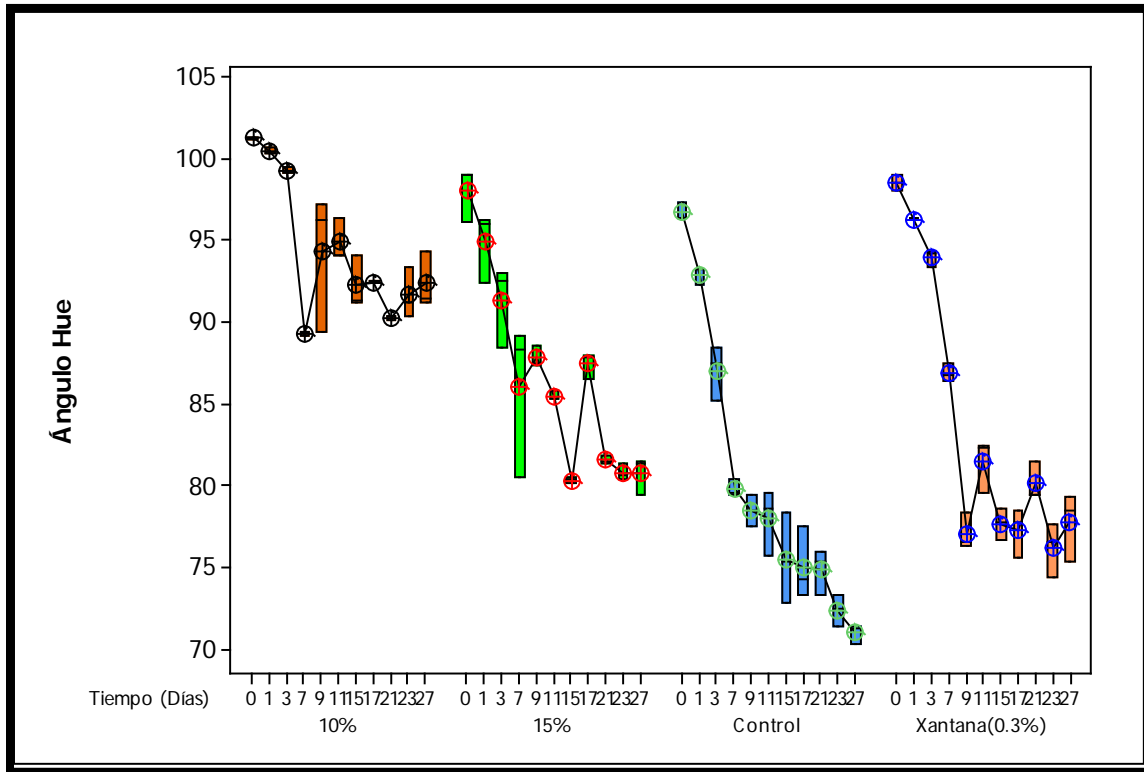


Figura 22 Ángulo HUE en tomate a 12°C.

En la Figura 23 se muestra la evolución de los cambios de color en el tomate transferido a temperatura ambiente (25°C), donde se muestra que de igual forma los mayores cambio de color con respecto al ángulo HUE se dan en las muestras control y goma xantana, mientras que las muestras con NLS tienden a disminuir tardíamente, observándose que las muestras con 15% de NLS llegan a 76° en el último día de almacenamiento, mientras que las muestras con 10 % de NLS solo llegan hasta los 86°, las muestras control y las recubiertas con goma xantana llegan a 58° y 60° provocando una maduración rápida en el tomate esto se observa en la Figura 29.

Asgar y col (2010) reportaron valores de 40° y 45° en tomates recubiertos con goma arábica a los 20 días de almacenamiento, mientras que en todas las muestras se obtuvieron valores por encima de estos, el menor valor se da en las muestras control con 58° en el último día de almacenamiento.

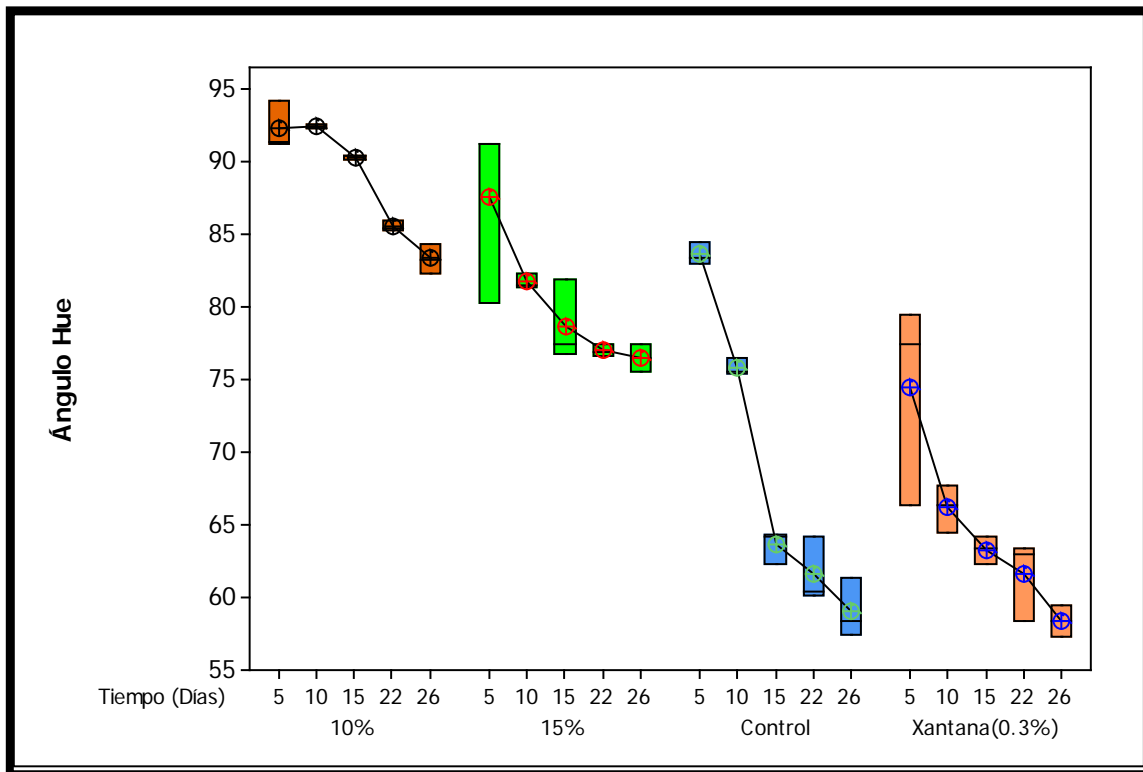


Figura 23 Ángulo HUE en tomate a 25°C.

3.4.1. Luminosidad (I*)

En la Figura 24 se muestra la evolución de la Luminosidad (I*) de tomate refrigerado a 12°C. El control tuvo una disminución del 10%, mientras que las muestras con goma xantana permanecieron constantes durante todo su almacenamiento, en cambio las muestras con NLS disminuyeron de igual forma un 10% pero la luminosidad fue inferior desde un principio comparado con el control y la goma xantana. Provocando que a mayor concentración de NLS mayor opacidad en el tomate, esto da lugar a que el tomate no tenga un brillo característico, o semejante al control como se observa en la Figura 27.

En todas las muestras hay un descenso en la Luminosidad es todo esto porque ha iniciado el proceso de maduración debido a que el tomate aumenta la luminosidad

en estado inmaduro, cuando comienza el proceso de maduración éste disminuye drásticamente hasta la senescencia (Akbudak, 2010).

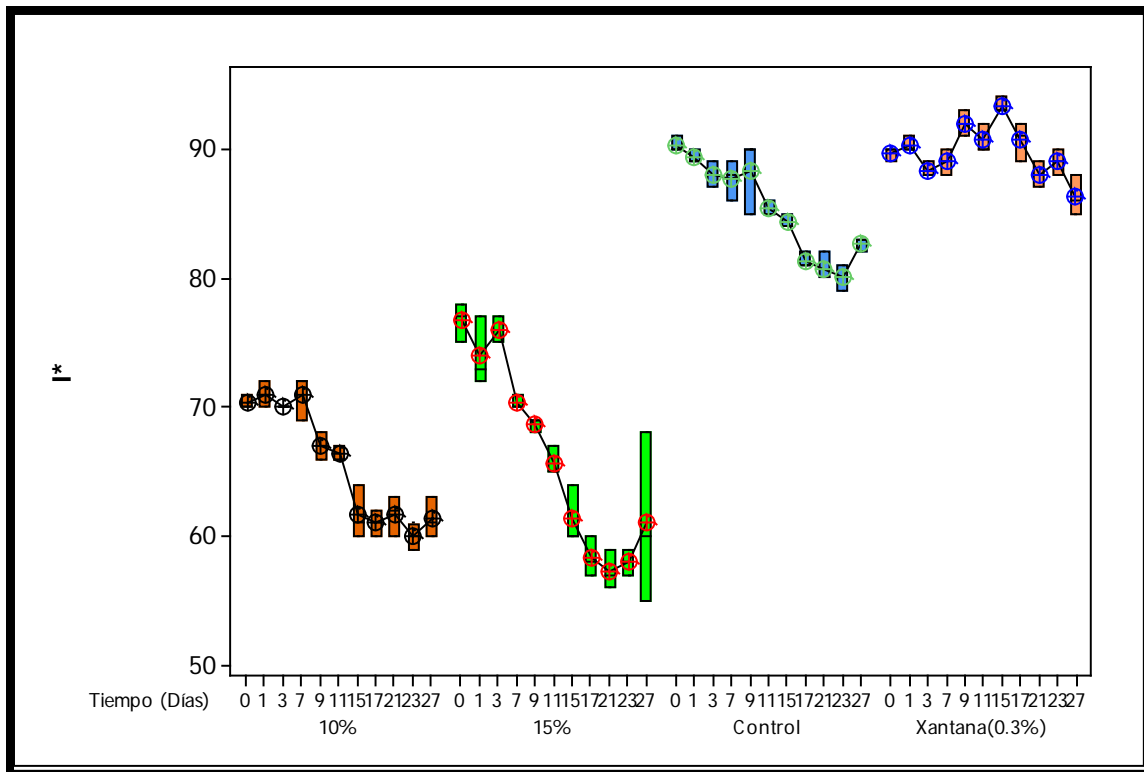


Figura 24 luminosity (I*) a 12°C.

La Figura 25 muestra la evolución de la luminosity (I*) durante la transferencia de tomates a temperatura ambiente (25 °C), observándose que el control obtuvo una pérdida de luminosity desde el primer día de almacenamiento con un 10%, mientras que las muestras con goma xantana disminuyeron drásticamente con un 20% después de los 15 días de almacenamiento. Las muestras con 10 % NLS permanecieron constantes en la luminosity en el periodo de almacenamiento, mientras que las muestra con 15 % de NLS obtuvieron una pérdida de luminosity al final del almacenamiento disminuyendo un 10%.

Ahmed y col (2013) utilizando suero de leche como recubrimiento en tomate, reportando valores inferiores a las muestras recubiertas con goma xantana y NLS teniendo una mejor apariencia esta.

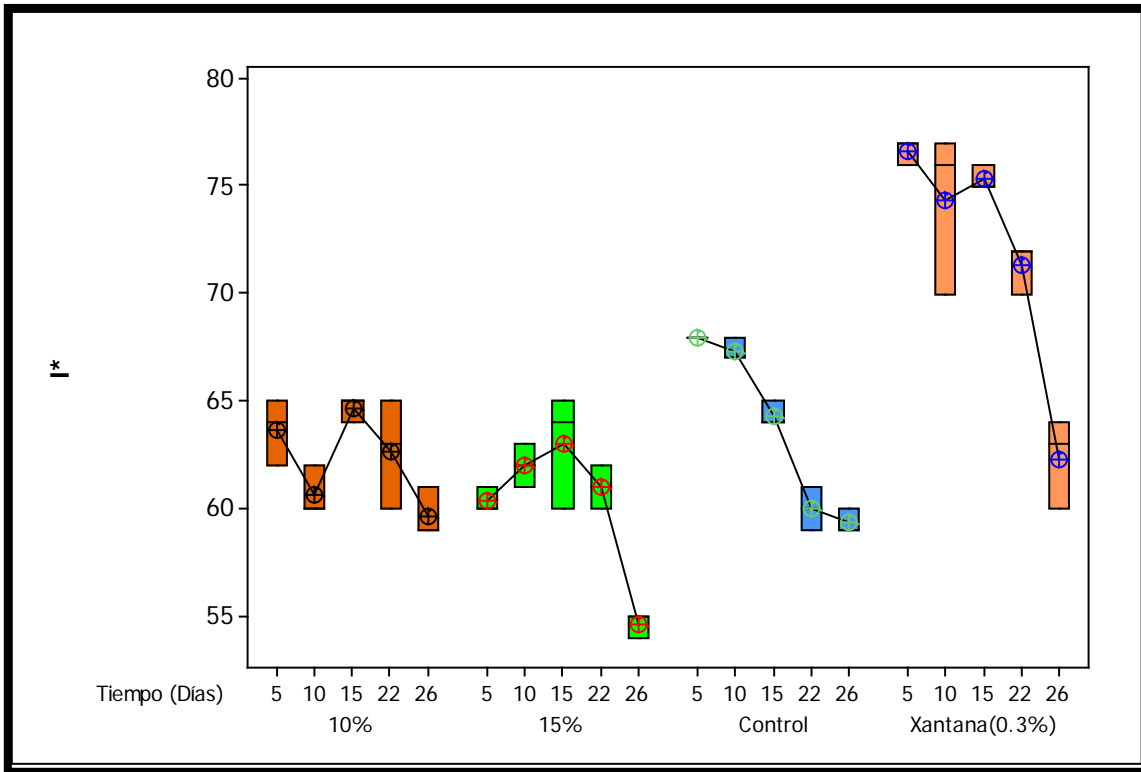


Figura 25 luminosidad (I*) a 25°C.

3.6. Índice de Decaimiento

En la Figura 26 se muestra el índice de decaimiento en el tomate durante su almacenamiento a 12°C, observándose que el control y la goma xantana tienen un decaimiento mayor que las muestras con NLS llegando al rojo intenso después de los 15 días de almacenamiento, mientras que las muestras con 15% de NLS llegaron al rojo después de los 17 días de almacenamiento y las muestras de 10% de NLS llegaron al rojo-rayado durante todo el tiempo de almacenamiento (27 días).

El uso de NLS retrasó el proceso de maduración provocando que no cambiara o no alcanzara el rojo intenso en el tomate.

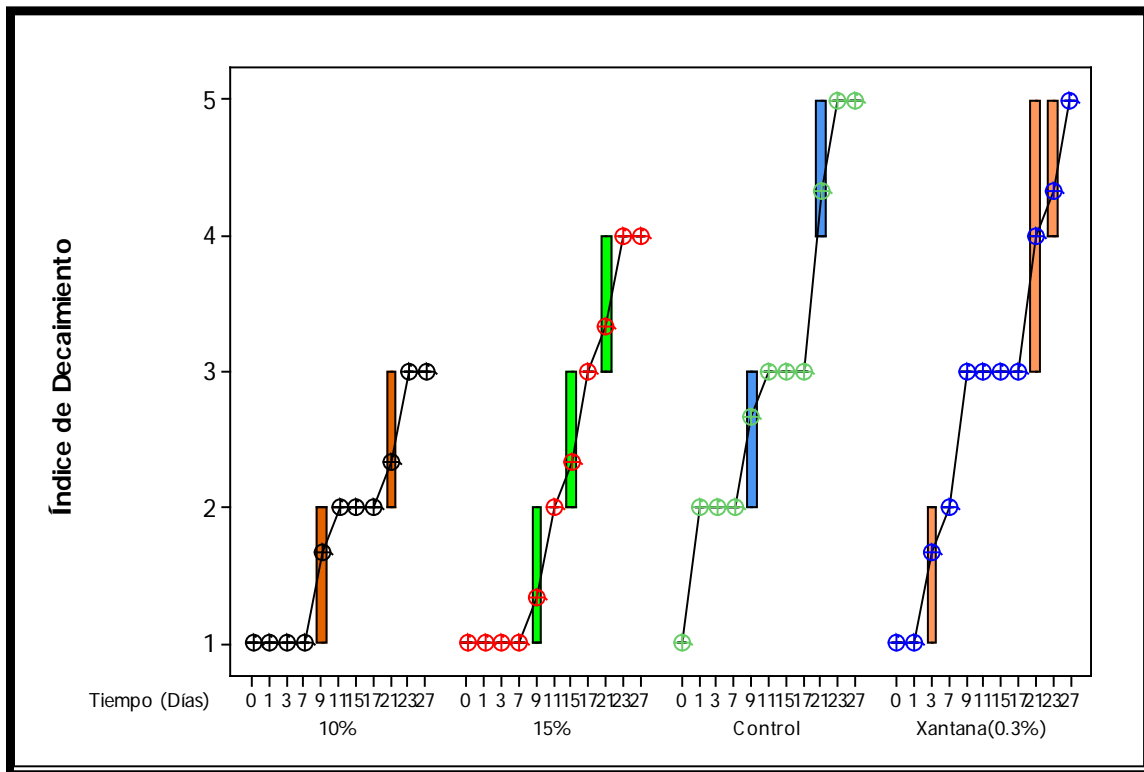


Figura 26 Índice de Decaimiento a 12°C.

En la Figura 27 se muestran los cambios visuales de tomate almacenado a 12 °C, observándose que los mayores cambios se dan en el control y el recubrimiento con goma xantana, aunque tuvieron mayor aceptación debido al brillo que presentaron, mientras que los recubrimientos con NLS tuvieron una opacidad debido al color blanquecino del recubrimiento, aunque la concentración utilizada es baja en comparación con la utilizada con guayaba entera (Zambrano-Zaragoza y col., 2013), afectó el aspecto visual, y a que se observaron opacos desde el comienzo hasta el final del almacenamiento.

El control mostró pequeñas picaduras después de los 15 días de almacenamiento, al contrario de las muestras con recubrimiento que no presentaron picaduras o lesiones de ningún tipo durante su almacenamiento, concluyendo que el uso de recubrimientos es favorecedor para extender la vida útil del tomate.

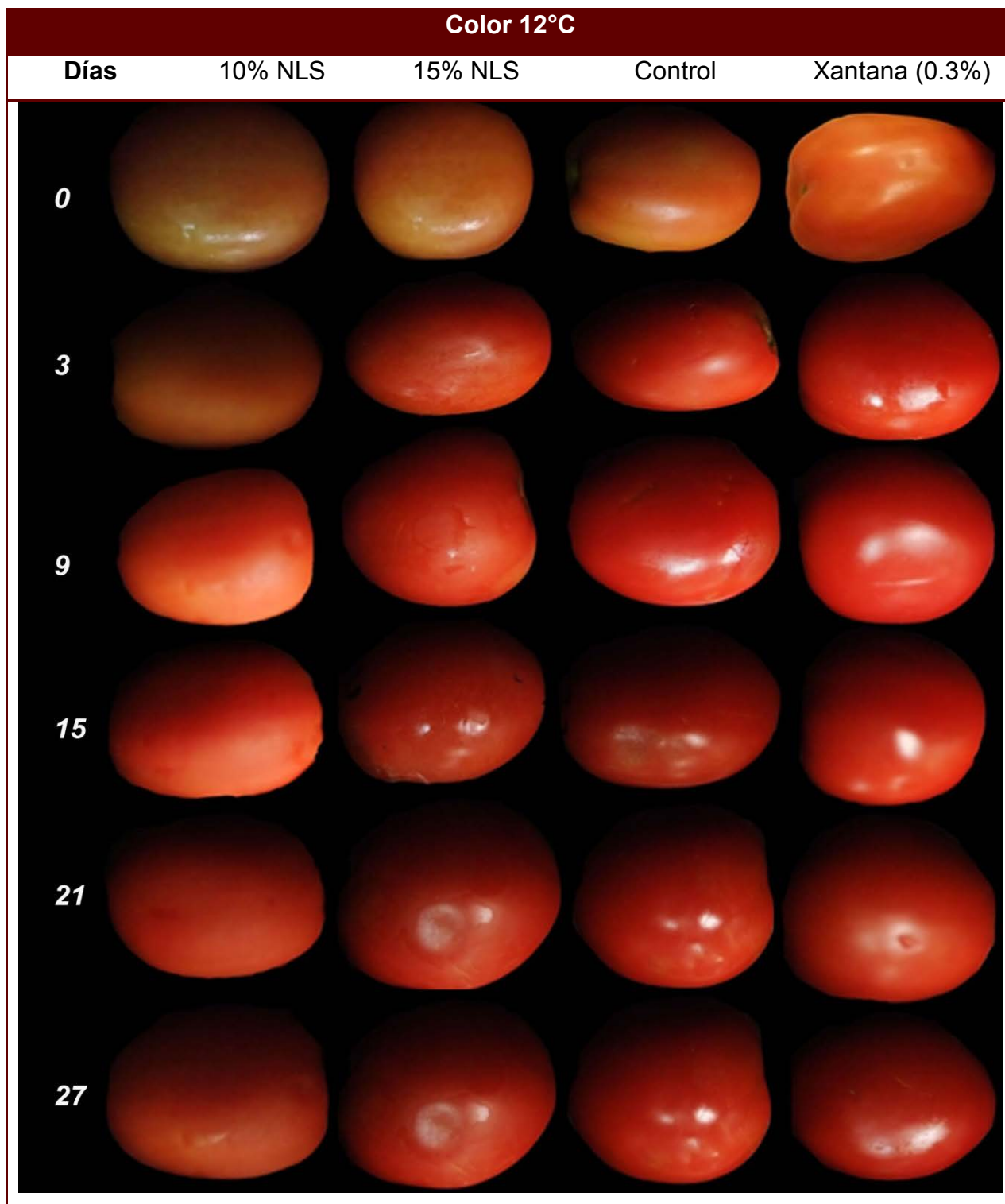


Figura 27 Imagen Visual de tomate a 12°C.

En la Figura 28 se muestra el índice de decaimiento en tomates transferidos a temperatura ambiente (25 °C), observándose que el control y las muestras con goma xantana comenzaron desde rojo y llegaron a rojo intenso, después de los 15 días de almacenamiento, mientras que las muestras con 15 % de NLS solo llegaron al rojo después de los 15 días y las muestras con 10% de NLS permanecieron en rojo rayado durante todo el periodo de almacenamiento.

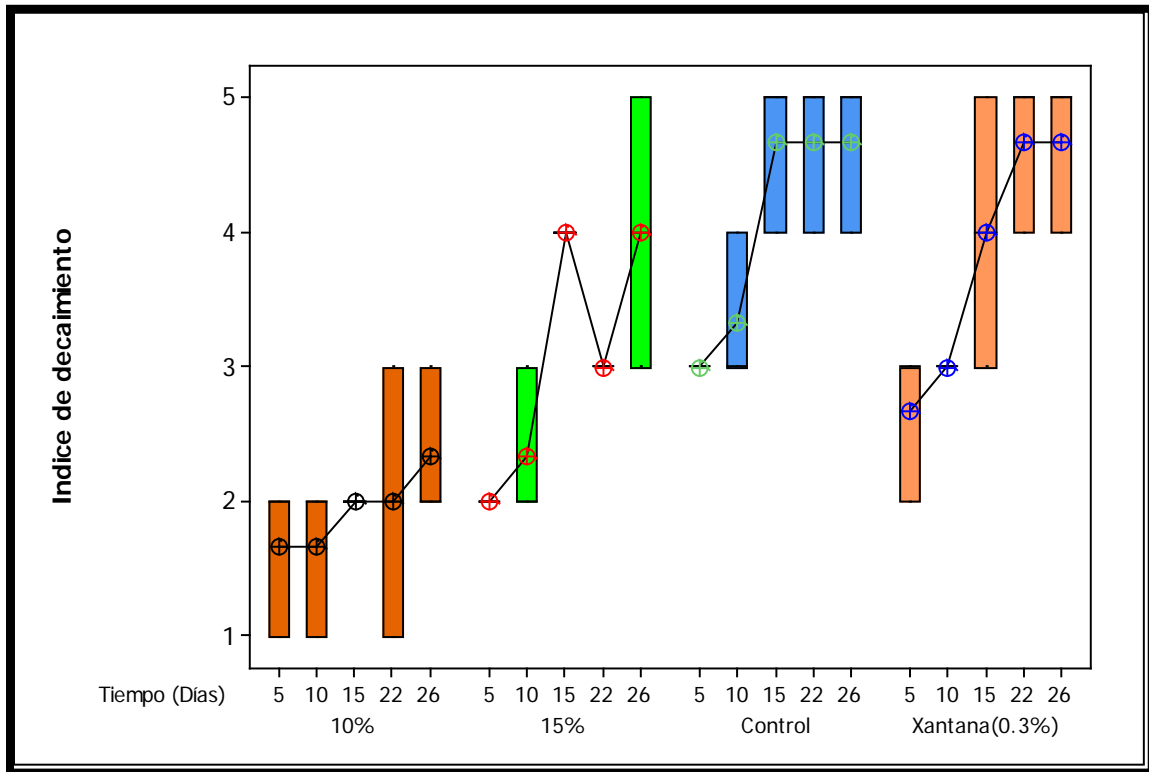


Figura 28 Índice de Decaimiento a 25°C.

En la Figura 29 se muestra el aspecto visual de tomates transferidos a temperatura ambiente, observándose que las muestras control comenzaron a tener picaduras después de los 15 días de almacenamiento, mientras que las muestras con goma xantana no presentaron estos problemas a pesar de que ambas llegaron al rojo intenso después de los 15 días de almacenamiento.

Las muestras con 15 % de NLS presentaron picaduras después de los 22 días de almacenamiento, pero llegaron al rojo intenso en el último día de almacenamiento,

mientras que las muestras con 10 % de NLS presentaron constantes durante todo el periodo de almacenamiento con un rojo rayado.

El aumento en la concentración de NLS no beneficia al tomate a temperatura ambiente debido a que provocó daños fisiológicos en éste después de los 22 días de almacenamiento.

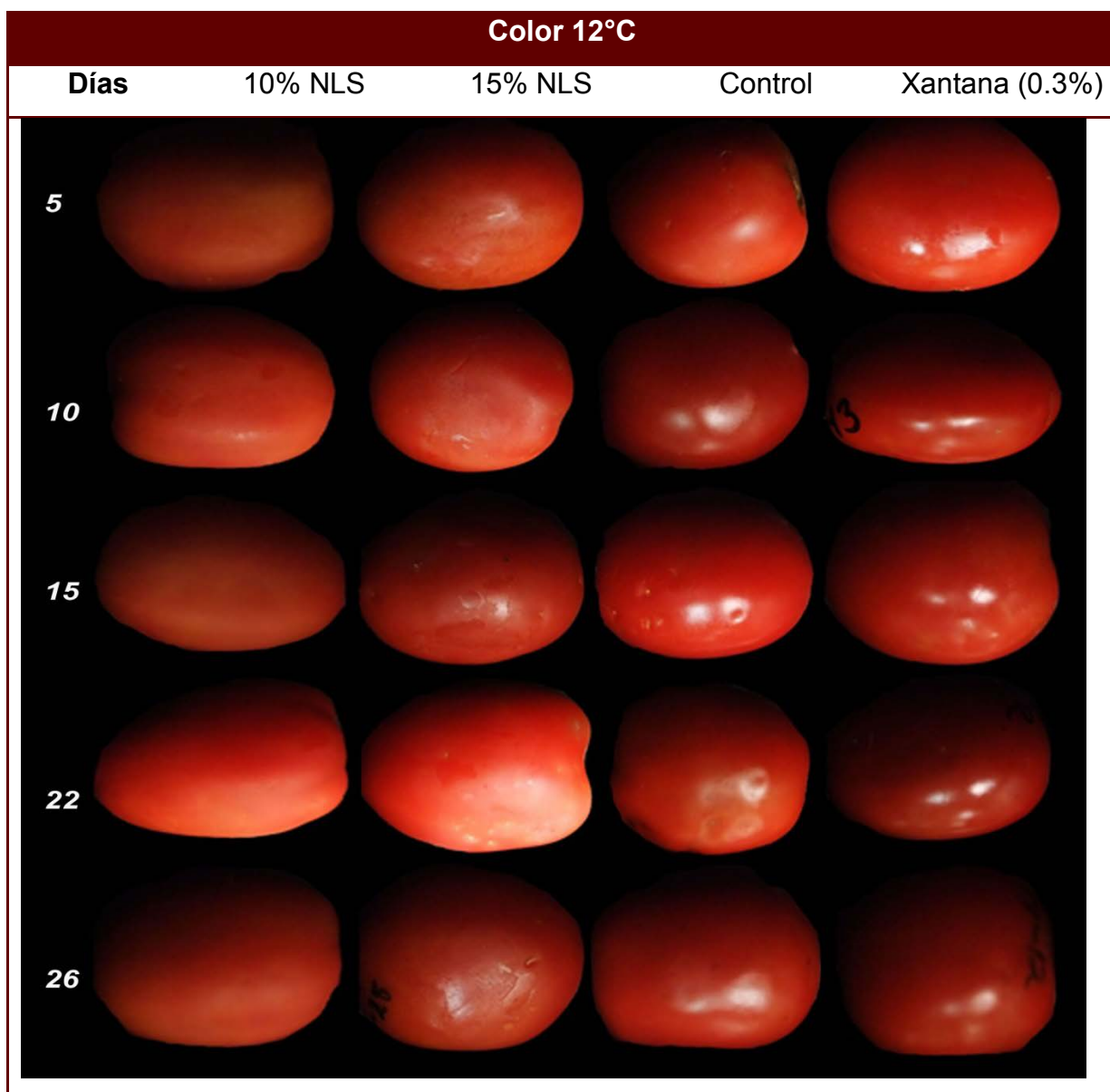


Figura 29 Imagen Visual de tomate a 25°C.

3.7. Microscopia electrónica de barrido

La Figura 30 muestra la imagen superficial del pericarpio de tomate obtenida por microscopía electrónica de barrido. Se presenta las micrografías de la superficie del tomate *c.v Saladett*, observándose a dos ampliaciones las cuales fueron realizadas a 2,000x y 250x respectivamente, así mismo en cada una de las imágenes aparecen las barras de medida correspondientes a 10 μ m para la primera ampliación y de 100 μ m para la segunda. La cual se presentó como referencia, y se comparó con las micrografías de las muestras con recubrimiento.

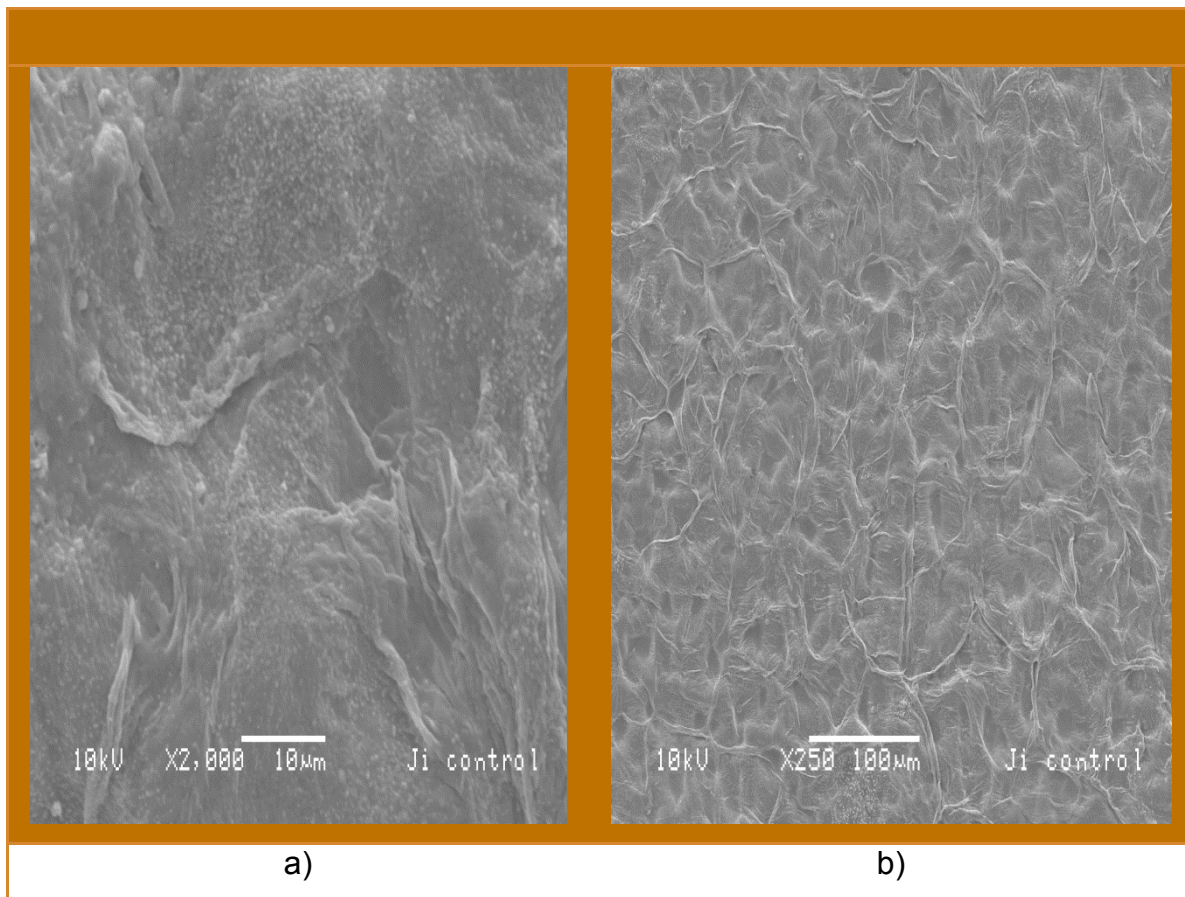
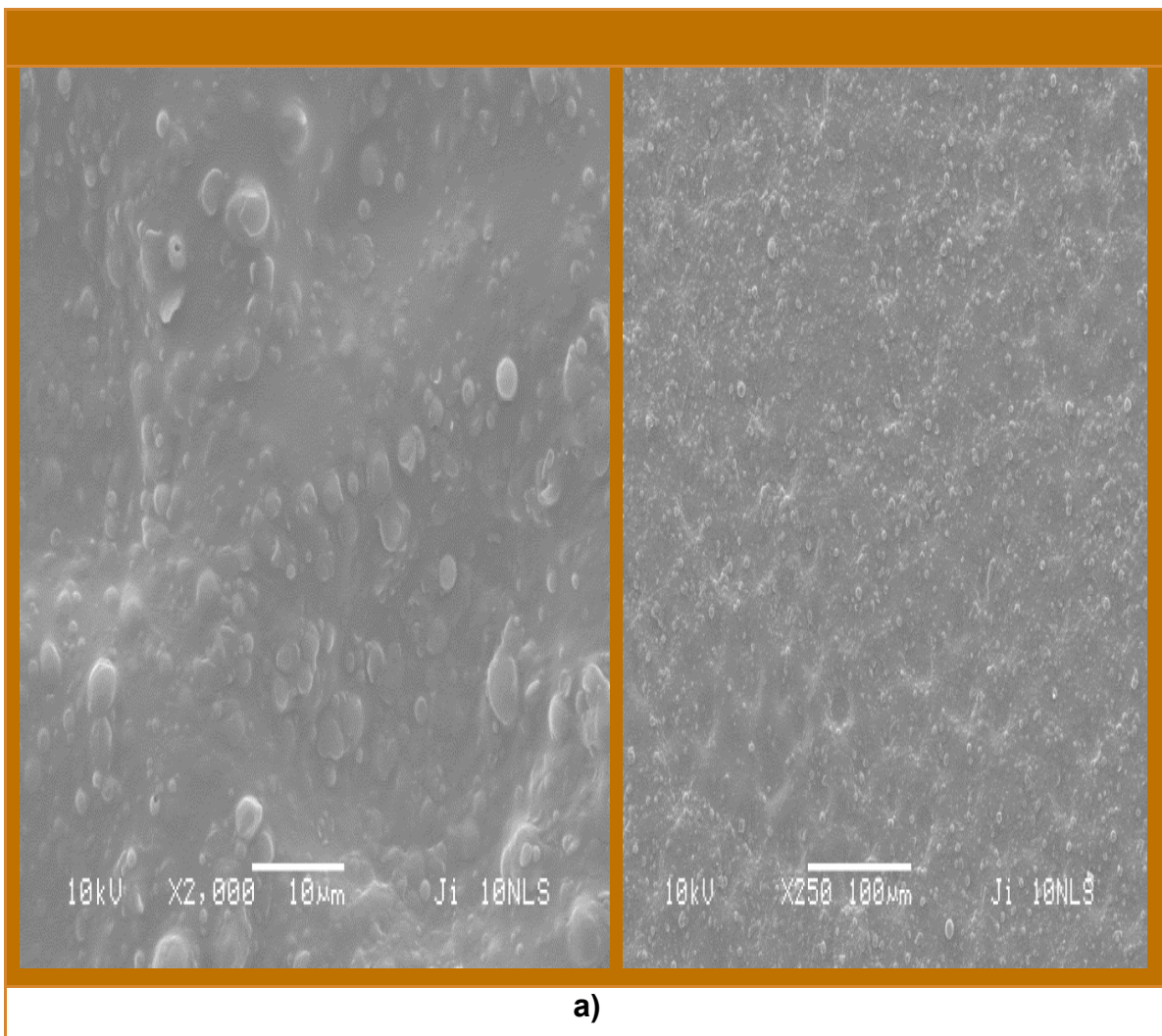


Figura 30 Micrografía de la superficie el tomate.

En la Figura 31 se observan las micrografías del tomate *c.v. Saladte* recubierto donde hay una diferencia en su aspecto ya que al ser recubierto se observan las NLS (a y b) y la goma xantana (c). Observándose que las muestras con 10% y 15% de NLS (a y b), tienen una distribución en el pericarpio de tomate. Las muestras con 15% de NLS evita la transpiración del fruto, acumulándose las NLS en las lenticelas, lo cual provocó un daño fisiológico en él, mientras que a 10% de NLS se obtuvo un intercambio de gases adecuado.

La goma xantana y antes aplicada como recubrimiento a manzanas frescas cortadas (Figura 4) se corrobora con la imagen c), que hay presencia de la goma xantana. El recubrimiento no deja espacios vacíos y la distribución es homogénea en el tomate.



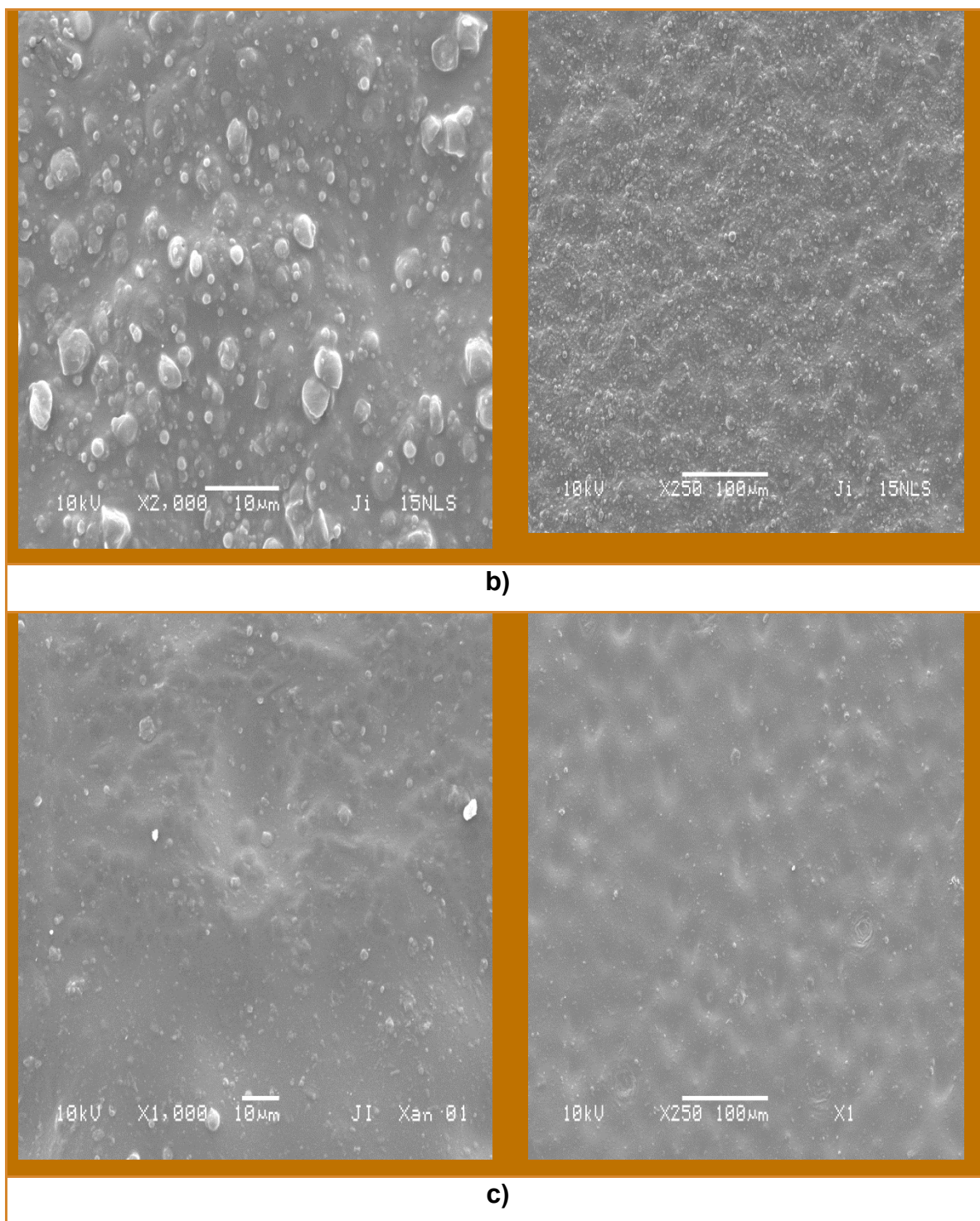


Figura 31 Micrografías del tomate recubierto a) 10 % de NLS b) 15 % de NLS c) Goma Xantana.

CONCLUSIONES

El uso de la goma xantana como recubrimiento comestible para extender la vida de tomate fue favorecedor, debido a que la pérdida de peso como parámetro de calidad tanto en refrigeración como a temperatura ambiente es menor que el control, mostrando que el uso de recubrimientos retarda el proceso de maduración, aunque el cambio de color es muy similar al control dando una apariencia brillante y muy agradable a la vista del ojo humano y alcanzando al rojo intenso. La goma xantana fue el polisacárido que mejor se adhirió al tomate, lo cual fue benéfico ya que éste fue el polisacárido matriz en las NLS.

Una adecuada concentración de NLS para el recubrimiento de frutos, retarda el proceso de maduración; pero también puede causar daño fisiológico, al utilizar el 15% de NLS almacenado a 12 °C no mostró ningún daño fisiológico, ni cambios en los parámetros de calidad (Firmeza, °Bx, pH y acidez). Mientras tanto al ser transferidos a temperatura ambiente (25 °C), se obtuvo una pérdida de peso mayor al 8% (Figura 13), presentando picaduras y manchas a los 22 días de almacenamiento, como se observa en la Figura 28 el cual tiene poca efectividad debido a que en refrigeración el fruto permanece constante y al ser transferido pierde sus propiedades.

El recubrimiento que mejor comportamiento tuvo fue el de 10% de NLS debido a que la pérdida de peso que menor al 3% en refrigeración como a temperatura ambiente, su alta firmeza tanto en refrigeración como en temperatura ambiente, en cuanto a sus parámetros de calidad fueron constantes, no alcanzando pH superior al 4.6 lo que indica que al ser superior a este valor hay presencia de microorganismos en cuanto al color se mantuvo en rojo durante 18 días no

alcanzando el rojo intenso pero si teniendo poca luminosidad comparando con el control.

El uso de partículas lipídicas sólidas favorece la vida útil del tomate incrementando su vida útil, con un control en la velocidad de transpiración y retardando el proceso de maduración por más de 27 días en refrigeración con una concentración de 10%. El uso de la nanotecnología mejoró la funcionalidad de los recubrimientos comestibles.

RECOMENDACIONES

- Utilizar concentraciones menores al 10% de NLS debido a que una concentración mayor es perjudicial en el tomate.
- Elaborar un recubrimiento transparente con la adición de NLS, debido a que es opaco provocando una luminosidad baja comparada con el control.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, L., Matin-Diana, A.B., Rico, D., & Ryan, C.B. (2013). Effect of delactosed whey permeate treatment on physico-chemical, sensorial, nutritional and microbial properties of whole tomatoes during postharvest storage. *LWT - Food Science and Technology*, 367-374.
- Akbudak, B. (2010). Effects of harvest time on the quality attributes of processed and non-processed tomato varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 334-343.
- Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., Verlinden, B.E., & Nicolai, B.M. (2004). Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 131-141.
- Anthon, G.E., & Barrett, D.M. (2012). Pectin methylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. *Food Chemistry*, 915-920.
- Anthon, G.E., Lestrangle, M., & Barrett, D.M. (2011). Changes in pH, acids, sugar and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1175-1181.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 15th edition. Washington, D.C.

- Asgar, A., Maqbool, M., Alderson, P., & Zahaid, N. (2013). Effect of gum arabic an edible coating on an tioxidant capacity of tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 119-124.
- 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.
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and wat can we gain in the future. *Annals of Botany*, 1085-1094.
- Baldwin, E.A., Queduras, J.K., Kazokas, W., B recht, J.K., Hagenmaier, R.D., & Bender, R.J. (1999). Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera i ndica L.*) r ipening dur ing s torage. *Postharvest Biology and Technology*, 215-226.
- Barry C.S., & Giovannoni, J.J. (2007). Ethylene and F ruit R ipening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 143-159.
- Beckles, D.M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and s ugar content of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 129-140.
- Bergougnoux, V. (2014). The hi story of t omato: F rom do mestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 170-189.
- Berube, D.M., Searson, E.M., Morton, T.S., & Cuming, C.L. (2010). Proyecto sobre Nanotecnologías E mergentes. I nventario de productos del c onsumidor evaluado. *Ley Nanotecnología y Negocios*, 152-163.
- Briones, V., & Aguilera, J.M. (2005). Imagen a nalysis of c hanges i n s urface of chocolate . *Food Research International*, 87-94.

- Brody. (2010). Packaging and the science of tiny. *Food Technology*, 74-76.
- Carpita, N. C., & Gibeaut, D.M. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *Plant J*, 1-30.
- 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.
- Cerqueira, M., Lima, M.A., Teixeira, J.M., Moreira, R.A., & Vicente, A.A. (2009). Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits. *Journal of Food Engineering*, 372-378.
- Chau, C., Wu, S.H., & Yen, G.C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 269-280.
- Chen, S., & Nussinovitch, A. (2000). The role of xanthan gum in traditional coatings of easy peelers. *Food Hydrocolloids*, 319-326.
- Chun, A. L. (2009). Will the public swallow nano food?. *Nature Nanotechnology*, 790-791.
- Consuelo, H., Nelia, C. 1998. Horticultura. Cuba: Ed Pueblo y Educación.
- Cortez-Vega, W.R., Pizato, S., Andreghetto de Souza, J.T., & Prentice, C. (2014). Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 197-202.

- Das Krishna Deba, D. H. (2013). Development of a rice starch-based coating with antioxidant and microbe-barrier properties and study of its effect on tomatoes stored at room temperature. *LWT - Food Science and Technology*, 272-278.
- Desmet, M., Lammertyn, J., Verlinden, B.E., & Nicolai, B.M. (2002). Mechanical properties of tomatoes as related to puncture injury susceptibility. *Journal of Texture Studies*, 415-429.
- Di-Matteo, A., Sacco, A., Anacleria, A., Pezzotti, M., Delledonne, M., Ferrarini, A., Frusciante, L., & Barone, A. (2010). The ascorbic acid content of tomato fruits is associated with the expression of genes involved in pectin degradation, *Plant Biology*. 163-175.
- Ducan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1-24.
- Dudo, A., Choi, D.H., & Scheutel, D.A. (2011). Food nanotechnology in the news. *Appetite*, 78-89.
- Estanyol, M.J., & Puigdomenech, P. (2000). Plant cell Wall glycoproteins and their genes. *Plant Physiol Biochem*, 97-108.
- El-Anany, H., Hassan, G.F., & Ali, F.R. (2009). Efectos de recubrimientos comestibles sobre la vida útil y la calidad de Ananás (*Malus domestica Borkh*) durante el almacenamiento en frío. *J. de Tecnología de Alimentos*, 5-11.
- Erba, D, Casiogh, C.M., Ribas-Agustín, A., Cáceres, R., Oriol, M., & Castellari, M. (2013). Nutritional value of tomatoes (*Solanum lycopersicum L.*) grown in

greenhouse by different agronomic techniques. *Journal of Food Composition and Analysis*, 245-251.

Faber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gorney, J.R., Garret, E.H., & Busta, F.F. (2003). Seguridad microbiológica de controlada y envasado en atmósfera modificada de los productos frescos y recién cortados. *Ciencias de los Alimentos y Seguridad Alimentaria*, 142-160.

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

Falguera, V., Quintero, J.P., Jimenez, A., Muñoz, J.A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 292-303.

F.A.O 2014. Food and Agriculture Organization. www.fao.org/home/en.. Visitada el 10 de Julio del 2014.

Giovanni, J.J. (2007). Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. *Current Opinion in Plant Biology*, 283-289.

Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. *Food Packaging and Preservation*, 371-394

Hetzroni, A., Vana, A., & Mizrach, A. (2011). Biomechanical characteristics of tomato fruit peels. *Biomechanical characteristics of tomato fruit peels*, 80-84.

Hong Kaqian, X. J. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 172-178.

- Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 151-155.
- Jolie, R. J., Duvetter, T., VanLoey, A. M., Hendrick, M. E. (2010). Pectin methylesterase and its proteolytic inhibitor: a review. *Carbohydrate Research*, 2583-2595.
- Kurt, M. K., Pineda, D., Nociones del Manejo de Post-Cosecha. [http://www.cipotato.org/papandina/Documentos/Nociones del Manejo de Postcosecha.pdf](http://www.cipotato.org/papandina/Documentos/Nociones_del_Manejo_de_Postcosecha.pdf). Visitada el 1 de Septiembre del 2014.
- Llabor, M. J., Palma, D. S., & Allemand, A. D. (2008). Nanopartículas poliméricas sólidas. *Farmacotecnia*, 40-47.
- Micham, E. J. (02 de Mayo de 2013). CE y AES Poscosecha Pomologist Unidad. Recuperado el 02 de Septiembre de 2013.
- Mehnert, W., & Mader, K. (2001). Solid lipid nanoparticles: Production, characterization and applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 165-195.
- Mora-Huerta, C. E., Fessi, H., Elaissari, A. (2011). Influence of process and formulation parameters on the formation of submicron particles by solvent displacement and emulsification-diffusion methods: Critical comparison. *Advances in Colloid and Interface*, 90-122.
- Murillo B. J. (1999). El cultivo del jitomate en México. México: Zaragoza.
- Namesny, A. (1999). Post-recolección de hortalizas. Ediciones de Horticultura. España.

- Navarro-González, I., García-Valdeverde, V., & García-Alonso, M. J. (2011). Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Research International*, 1528-1535.
- Padrón-Pereira, C. C., Padrón, G. M., Montes-Hernández, A. I., & Oropeza-Gonzalez, R. A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) con sistemas de visión computarizado durante la maduración. *Agronomía Costarricense*, 97-111.
- Park, H. J. (1999). Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 254-260.
- Perotti, V. E., Moreno A. S., Podestá, F. E. (2014). Physiological aspects of fruit ripening: The mitochondrial connection. *Mitochondrion*, 1-6.
- Pinela, J., Barros, L., Carvaiho, A. M., & Ferreira, I. C. (2012). Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food and Chemical Toxicology*, 829-834.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonzalez, E. M., & Silva, C. L. M. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato (*Solanum Lycopersium*. cv. "Zinac") during storage. *Journal of Food Engineering*, 338-345.
- Puga, A. V., Garcia-Valls, R., Fernández-Prieto, S., Smets, J., & York, D. (2014). Dual xanthan gum/poly(vinyl acetate) or alky-functionalized poly(vinyl alcohol) films as models for advanced coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(19)
- Quintanar-Guerrero D., Zambrano-Zaragoza M. L., Álvarez-Cárdenas A y Mercado-Silva E. (2012). WIPO Patente nº WO2012141566 A2. México.

Rao, V., & Agrowal, S. (2013). Role of Antioxidant Lycopene in Cancer and Heart. *Journal of the American College of Nutrition*, 37-41.

Real-Sandoval, S.A. (2013). Efecto de un recubrimiento de nanopartículas con α -tocoferol sobre la actividad de fenilalanina monooxigenasa como indicador del oscurecimiento en manzana fresca cortada. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Rogkong, A., McQuinn, R., Giovannoni, J.J., Rose, J.K., & Watkins, C. B. (2010). Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 106-113.

Rogkong, A., McQuinn, R., Giovannoni, J.J., Rose, J.K., & Watkins, C. B. (2011). Expression of ripening-related genes in cold-stored tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 1-14.

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

Rosalam, S., & England, R. (2006). Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp. *Enzyme and Microbial Technology*, 197-207.

SAGARPA. (Agosto de 2010). Monografía de cultivos. Recuperado el 19 de Septiembre de 2013, de Agronegocios, Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios:
<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>

- Sjöström, B., & Bergenståhl, B. (1992). Preparation of submicron drug particles in lecithin-stabilized oil emulsions. I. Model studies of the precipitation of cholesteryl acetate. *International Journal of Pharmaceutics*, 53-62.
- Tourgy, H.A. (2004). Extending shelf-life of peach and pear by using CMC from sugar beet pulp cellulose as a hydrophilic polymer in emulsions. *Food Hydrocolloids*, 215-226.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D.J., & González-Martínez, C. (2008). Recent advances in edible coating for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 496-511.
- Villalobos-Carvajal, R., Hernández-Muñoz, P., Albos, A., Chiralt, A. (2009). Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. *Food Hydrocolloids*, 536-535.
- Vinha, A.F., Alves, R.C, Barreira, S.V., Castro, A., Costa, A.S., & Oliveira, M.B. (2014). Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT. Food Science and Technology*, 197-202.
- Vu, T.S., Smout, C., Sila, D.N., Lyhuyen, B., Van Loey, A.M.L., & Hendrickx, M.E.G. (2004). Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. *Food Science and Emerging Technology*, 37-44.
- Wills, R. H. H. (1984). Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas por selección. Acribia, España.
- Wissing, S.A., Kayser, O., Müller, R.H. (2004). Solid lipid nanoparticles for parenteral drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 1257-1272.

- Xuan, Z., Wang, Q., Coo, J., & Jiang, W. (2008). Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*mangifera indica* l. cv. *tainong*) fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 770-784.
- 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.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado E., Ramírez P., Cornejo M.A., Gutiérrez (2014). The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut "Red Delicious" apples. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 188-196.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado-Silva E., Ramirez P., Cornejo M.A., Gutiérrez E., Quintanar D. (2013). Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava. *Food Research International*. 946-953.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado E., Gutiérrez E., Castaño, E., Quintanar D. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT - Food Science and Technology*, 1362-1368.
- Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coating to delay postharvest ripening process. *Science of Food and Agriculture*, 1287-1293.