



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Conservación de pera fresca cortada (cv. Starkrimson)  
con recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas-  
goma xantana en atmósferas modificadas**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A**

**JUAN LUIS GONZALEZ VILLALPANDO**

**ASESORES:**

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza

Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas

Cuautitlán Izcalli, Estado de México

2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

U.N.A.M.  
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

**Conservación de pera fresca cortada (cv. Starkrimson) con recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas-goma xantana en atmósferas modificadas**

Que presenta el pasante: Juan Luis Gonzalez Villalpando  
Con número de cuenta: 410048038 para obtener el Título de: Ingeniero 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 07 de Octubre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
SECRETARIO	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
1er. SUPLENTE	I.A. Miriam Álvarez Velasco	
2do. SUPLENTE	I.A. Ricardo Moisés González Reza	

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

Este trabajo fue financiado con el apoyo de:

- ✓ El proyecto PAPIIT, IT200814: “Desarrollo de sistemas nanoparticulados alimenticios para incrementar la vida útil y nutraceutica 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, promoción 2014, del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT).

## *AGRADECIMIENTOS*

A Dios, por permitirme cumplir una meta más de vida.

A ti padre querido, porque tu apoyo ha sido incondicional, tus consejos invaluable y tus regaños oportunos. Porque desde siempre me has enseñado a ser un hombre responsable, porque siempre tienes la respuesta, siempre esas palabras alentadoras que me motivan a seguir adelante. A mi mejor ingeniero del mundo, MUCHAS GRACIAS.

Mami, el camino fue largo, pero el tiempo transcurrió muy rápido. Me llena de alegría que estés conmigo al término de mi carrera profesional, ahora puedes ver un pequeño fruto de todo tu esfuerzo. Dios me dio la dicha de tener a la mejor madre del mundo y a ti dedico este trabajo. Seguiremos adelante mamá, TE AMO.

A mis hermanos Pedro, Marco, Edith y Víctor por contagiarme su energía, por darme el honor de ser el mayor de sus hermanos y por soportar mis momentos de mal humor. A mi hermanita Gaby, por ser motivo de inspiración y por demostrarme que en un ser tan diminuto podemos encontrar las grandes alegrías de la vida. Gracias por llenar de alegría nuestro hogar. LOS AMO HERMANOS.

A mis directoras de tesis, la Dra. Luz Zambrano y Dra. Ángeles Cornejo por permitirme trabajar con ustedes, por toda la paciencia, el tiempo, por los conocimientos e invaluable experiencias compartidas, por hacer este camino más ameno. Gracias a ustedes aprendí a tener más seguridad y confianza en mí mismo. TODO MI RESPETO E INFINITA ADMIRACIÓN.

Al Ing. Alfredo Álvarez por sus asesorías para la elaboración de este proyecto, sus sólidas enseñanzas, por su apoyo en mi desarrollo profesional y su gusto por impulsar a los INGENIEROS EN ALIMENTOS.

A la Dra. Elsa Gutiérrez, por su apoyo incondicional, los conocimientos compartidos, por su pasión por la profesión y por permanecer pendiente de mis avances académicos, ES GRATO CONTAR CON SU AMISTAD.

A la Maestra Alicia Del Real López por su colaboración en el tratamiento de imágenes en el MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.

A los sinodales, por su colaboración en la revisión de este trabajo, Ing. Guadalupe Franco, M. en C. Tais Nopal, Ing. Miriam Álvarez e Ing. Ricardo González. Igualmente por sus conocimientos compartidos durante mi formación profesional. PIEZA CLAVE CADA UNA DE SUS CÁTEDRAS.

A Gaby Ramírez, por el chispazo que hizo que ahora estemos juntos, por su calidad humana que comparte conmigo y por enseñarme a que la vida solo se vive una vez (*YOLO*). Por la paciencia que inviertes en mí y por soportar a "el novio ausente". SIEMPRE OCUPARAS UN LUGAR ESPECIAL EN MI CORAZÓN.

A mis grandes amigos: Pricila Escamilla, por permitirme ser su amigo desde el inicio de la carrera, por sus oportunos consejos y por confiar en mí. Por los buenos y malos momentos que pasamos juntos, por ser mi compañera de clases, fiestas y algunos desvelos. A Janelli Solís, Brenda Vega, Maricela Llanos, Gaby Hermosillo, Laura Barragán, Isela Guerrero, Aidee Nájera, Pablo Alcántara y Omar Moreno por ofrecerme su amistad y compartir parte de su vida conmigo. Todas las anécdotas vividas con ustedes las llevo en el corazón, TODAS.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO que me abrió sus puertas en 2009 y ahora me otorga una profesión, ORGULLO AZUL Y ORO, **¡¡¡INGENIERO EN ALIMENTOS!!!**.

*Juan Luis Gonzalez Villalpando*

*Ingeniería en Alimentos*

*Generación 34*



*“Por mí raza hablará el espíritu”*

**José Vasconcelos**

---

## RESUMEN

Los frutos frescos cortados presentan una acelerada pérdida de calidad debido a los procesos enzimáticos, fisiológicos y mecánicos que tienen lugar en éste tipo de alimentos. La pera es un fruto climatérico, rico en antioxidantes y otros componentes que contribuyen al mantenimiento de la salud, sin embargo, debido a su alto contenido de antioxidantes es susceptible a desarrollar oscurecimiento cuando esta es cortada, razón por la que es necesario buscar alternativas que ayuden a incrementar su tiempo de almacenamiento refrigerado manteniendo sus características de calidad. La nanotecnología en sistemas biológicos implica la reducción del tamaño de partícula que da como resultado la modificación de las propiedades de los sistemas como son el área superficial, propiedades de flujo, y comportamiento térmico. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la efectividad del recubrimiento incorporado con nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) envasadas en atmósfera modificada sobre los cambios de calidad asociados al tiempo de almacenamiento. La pera fue cortada en rodajas para posteriormente aplicarle un recubrimiento comestible con base en nanopartículas lipídicas sólidas -goma xantana. Se consideraron dos concentraciones de NLS (5 y 10%) y de plastificante (2 y 3%), permaneciendo constante la concentración de goma xantana en 0.4%. Los tratamientos que presentaron un menor índice de oscurecimiento fueron los que contenían 10% de NLS en su formulación, sin embargo, el aumento en la concentración de plastificante (glicerol) al 3%, logró producir un efecto antagónico sobre la transpiración, provocando la acumulación de agua en la superficie del fruto cortado. La prueba de firmeza estableció que el tratamiento que retardaba más la pérdida de textura fue el de 10% de NLS y 3% de glicerol. La microscopia óptica mostró que el daño fisiológico se retardo con la incorporación de NLS a la formulación de los recubrimientos comestibles, resultando más efectivos los que contenían 10% de NLS con 3% de glicerol. También se realizó un estudio de microscopia electrónica de barrido para evidenciar la presencia de las NLS en el recubrimiento aplicado sobre el tejido vegetal.

---



---

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

INTRODUCCIÓN .....	i
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Generalidades de la pera .....	1
1.1.1 Composición química.....	2
1.1.2 Parámetros indicadores de calidad.....	3
1.1.2.1 Color.....	4
1.1.2.2 Textura .....	5
1.1.2.3 Sólidos Solubles.....	6
1.1.2.4 Potencial de hidrógeno (pH).....	7
1.1.3 Métodos de conservación de pera .....	8
1.1.3.1 Conservación por frio: .....	8
1.1.3.2 Atmósferas modificadas .....	9
1.1.3.3 Recubrimientos comestibles.....	9
1.1.3.4 Irradiaciones.....	10
1.2 Frutos Frescos Cortados .....	10
1.2.1 Estado actual de los frutos frescos cortados .....	11
1.2.2 Proceso de elaboración de los frutos frescos cortados.....	13
1.2.2.1 Recepción .....	14
1.2.2.2 Control de calidad .....	15
1.2.2.3 Preenfriamiento .....	15
1.2.2.4 Lavado y desinfección.....	18

---

---

1.2.2.5	Picado o cortado en rodajas.....	19
1.2.2.6	Inmersión/Recubrimiento .....	19
1.2.2.7	Envasado .....	20
1.2.3	Cambios fisiológicos en los frutos frescos cortados .....	20
1.2.3.1	Preservación de la textura en frutas frescas cortadas.....	23
1.2.4	Actividad enzimática en frutos frescos cortados .....	24
1.2.5	Normatividad de los frutos frescos cortados .....	27
1.3	Recubrimientos comestibles.....	28
1.3.1	Propiedades físicas de los recubrimientos comestibles.....	30
1.3.1.1	Permeabilidad al vapor de agua.....	30
1.3.1.2	Permeabilidad a los gases .....	31
1.3.1.3	Transporte de aditivos.....	31
1.3.2	Propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles.....	32
1.3.3	Matrices estructurales de los recubrimientos comestibles .....	32
1.3.3.1	Matrices de lípidos .....	32
1.3.3.2	Matrices de proteínas.....	33
1.3.3.3	Matrices de polisacáridos.....	33
1.3.3.4	Matrices de mezclas de compuestos .....	35
1.3.4	Empleo de nanotecnología en recubrimientos comestibles .....	35
1.3.4.1	Métodos de preparación de las nanopartículas lipídicas sólidas.....	36
1.3.4.2	Propiedades de las nanopartículas lipídicas sólidas .....	40
1.4	Atmósferas modificadas .....	42
1.4.1	Principios y función de la atmósfera modificada en frutos frescos.....	43

---

---

1.4.2	Aplicación de atmósferas modificadas en frutos frescos .....	46
1.4.3	Gases empleados en atmósferas modificadas .....	48
1.4.3.1	Dióxido de carbono .....	48
1.4.3.2	Oxígeno .....	49
1.4.3.3	Nitrógeno.....	50
1.4.4	Ventajas del uso de atmósferas modificadas.....	50
CAPITULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL .....		52
2.1	Planteamiento de objetivos .....	52
2.1.1	Objetivo general.....	52
2.1.2	Objetivos particulares .....	52
2.1.2.1	Objetivo particular 1 .....	52
2.1.2.2	Objetivo particular 2 .....	53
2.1.2.3	Objetivo particular 3 .....	53
2.2	Justificación de variables.....	53
2.3	Diseño experimental.....	55
2.3.1	Acondicionamiento del almacén frigorífico.....	55
2.3.2	Preparación de dispersiones para recubrimiento.....	55
2.3.3	Selección y control de la materia prima .....	56
2.3.4	Cortado en rodajas .....	57
2.3.5	Aplicación de recubrimiento comestible.....	58
2.3.6	Envasado en atmósferas modificadas y almacenamiento refrigerado.....	58
2.3.7	Determinación de pérdida de peso y tasa de transpiración .....	60
2.3.8	Determinación del índice de oscurecimiento .....	61

---

---

2.3.9	Determinación del daño superficial de la pulpa .....	62
2.3.9.1	Microscopia óptica.....	62
2.3.9.2	Microscopia electrónica de barrido.....	62
2.3.9.3	Determinación de firmeza.....	63
2.3.9.4	Análisis de perfil de textura .....	63
2.3.10	Medición de sólidos solubles .....	64
2.3.11	Medición de pH.....	64
2.4	Tratamiento estadístico .....	64
CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		65
3.1	Pérdida de peso .....	65
3.2	Tasa de Transpiración.....	68
3.3	Mediciones de color .....	70
3.3.1	Parámetros L*, a* y b* .....	70
3.1.2	Índice de oscurecimiento .....	75
3.2	Análisis de perfil de textura .....	78
3.3	Prueba de punción .....	83
3.4	Análisis por microscopía óptica .....	85
3.5	Análisis por microscopia electrónica de barrido .....	90
3.6	Sólidos solubles (°Brix).....	94
3.7	pH.....	96
CONCLUSIONES .....		99
RECOMENDACIONES .....		100
BIBLIOGRAFÍA .....		101

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Pera variedad <i>Starkrimson</i>	2
Figura 2.	Diagrama de flujo del procesado mínimo de frutas y hortalizas	14
Figura 3.	Localización de compuestos fenólicos y enzimas oxidantes en una célula vegetal	26
Figura 4.	El mecanismo de acción de la polifenoloxidasas en monofenoles y difenoles	27
Figura 5.	Representación esquemática de las tres perspectivas de los productos envasados en atmósfera modificada	45
Figura 6.	Preenfriamiento por inmersión de peras <i>cv. Starkrimson</i>	57
Figura 7.	Etapas del cortado de pera fresca	58
Figura 8.	Selladora de vacío	59
Figura 9	(a) Pérdida de peso en pera fresca cortada con 2% de glicerol.	65
	(b). Pérdida de peso en pera fresca cortada con 3% de glicerol.	66
Figura 10.	Tasa de Transpiración en rodajas de pera fresca	69
Figura 11.	Cambios de Luminosidad ( $L^*$ ) en función a las variables seleccionadas en el procesamiento y almacenamiento	71
Figura 12.	Cambios en valor de $a^*$ como una función de las condiciones de Tratamiento	73
Figura 13.	Cambios en los valores de $b^*$ en pera fresca cortada refrigerada en función de las condiciones de tratamiento	74
Figura 14.	Índice de oscurecimiento en pera fresca cortada en función de las condiciones de tratamiento	76
Figura 15.	Efectos estandarizados para los factores considerados en el diseño a los 15 días de almacenamiento	77
Figura 16.	Cambios en Dureza obtenido del análisis de perfil de textura para rodajas de pera en función a las condiciones de almacenamiento	79
Figura 17.	Cambios en cohesividad en rodajas de pera en función al tratamiento, envasado y condiciones de almacenamiento	81
Figura 18.	Cambios en elasticidad en rodajas de pera en función al tratamiento, envasado y condiciones de almacenamiento	82

---

---

Figura 19.	Cambios en firmeza en rodajas de pera en función al tratamiento, envasado y condiciones de almacenamiento	84
Figura 20.	Imágenes de microscopía óptica para tratamientos con 3% de glicerol	87
Figura 21.	Imágenes de microscopía óptica para tratamientos con 2% de glicerol y control	89
Figura 22.	Imágenes de microscopia electrónica de barrido I	92
Figura 23.	Imágenes de microscopia electrónica de barrido II	93
Figura 24.	Grados Brix de rodajas de pera al 2% de glicerol	94
Figura 25.	Grados Brix de rodajas de pera al 3% de glicerol	95
Figura 26.	pH de rodajas de pera al 2% de glicerol	97
Figura 27.	pH de rodajas de pera al 3% de glicerol	97

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición de la pera (g/100 gramos de porción)	3
Tabla 2.	Factores y niveles de variación	54
Tabla 3.	Composición de dispersiones para recubrimiento	56
Tabla 4.	Datos técnicos de NLS	56
Tabla 5.	Mezclas de gases para envasado en atmósfera modificada	59

---

---

## INTRODUCCIÓN

La pera (*Pyrus communis L.*) es un fruto que una vez cortado tiene una rápida degradación, este conjunto de cambios fisicoquímicos se logra retardar disminuyendo la temperatura de almacenamiento y/o mejorando los métodos de conservación. La variedad *Starkrimson* fue seleccionada, debido a que presenta un alto oscurecimiento enzimático, cuando es cortada. Es una pera suave y dulce con un sutil aroma floral, su pericarpio posee un color rojo carmesí brillante lo cual la convierte en un fruto sensorialmente atractivo (Peras USA, 2014).

La vida de anaquel de los frutos frescos cortados es limitada, debido al oscurecimiento superficial y pérdida de sabor. El principal desafío que presenta la industria de los productos frescos cortados es satisfacer las necesidades del creciente segmento de consumidores que buscan la comodidad a la hora de comprar sus alimentos, pero al elegir el producto no baja sus expectativas sobre la calidad intrínseca de la fruta recién cortada, que se ve afectada principalmente por cambios de color. El oscurecimiento enzimático se produce por la ruptura celular que provoca la liberación de enzimas y sustratos entre los que se encuentran los fenoles y las enzimas polifenoloxidasas, que catalizan la reacción entre el oxígeno y los polifenoles para generar o-quinonas, que posteriormente se polimerizan, dando lugar a melaninas de un color oscuro (Gomes, *et al.*, 2014; Gorny, *et al.*, 2002).

El envasado en atmósferas modificadas (EAM o MAP por sus siglas en inglés, *modified atmosphere packaging*) es una alternativa para la conservación de productos frescos cortados que sumado a la refrigeración, contribuye a incrementar el periodo de almacenamiento del producto. Este método se basa en



---

la modificación de la atmósfera interior del envase, logrado por la interacción natural entre el proceso de respiración del producto y la transferencia de gases a través del envase, disminuyendo el O<sub>2</sub> disponible y por ende la cinética de deterioro fisiológico. Cuando el producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través del envase (Infoagro, 2014). En el envasado en MAP, puede reducir la tasa de respiración, la sensibilidad y los cambios fisiológicos causados por reacciones bioquímicas del fruto (Fonseca *et al.*, 2002).

La aplicación de atmósferas modificadas a los productos frescos brinda varios efectos positivos: conservan la calidad del producto, debido a que disminuye la velocidad de respiración y transpiración, contribuye a la retención de clorofila y otros pigmentos. Además, los niveles elevados de CO<sub>2</sub> reducen la tasa de crecimiento microbiano y el deterioro fisiológico. Sin embargo, el uso de MAP en productos frescos, tiene algunos riesgos potenciales; ya que la eliminación completa de O<sub>2</sub> genera como resultado una respiración anaeróbica, con producción de etileno que origina un deterioro dramático a la calidad del producto (Rodríguez y Oliveira, 2009).

Las nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) son sistemas coloidales submicrónicos de lípidos sólidos a temperatura ambiente (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2013), brindan una opción más para la conservación de productos mínimamente procesados como las frutas frescas cortadas, se puede complementar con el uso de MAP, potencializando así la conservación de frutos permitiendo una opción de presentación individual del producto. El empleo de la nanotecnología para la conservación y mejora de los productos alimenticios es un área que está incursionando y adquiriendo cada vez más importancia teniendo un amplio campo de aplicación Esta investigación experimental reúne información bibliográfica que

---

describe el retardo de los cambios fisicoquímicos en los frutos frescos cortados, aunado a la combinación de la conservación por frío y de las tecnologías emergentes. Resulta de particular importancia la aplicación de recubrimientos en frutas, vegetales y productos frescos cortados para mantener la calidad del producto y extender su vida de anaquel (Lin y Zhao, 2007). Los resultados experimentales presentan un análisis de los efectos producidos por las características fisiológicas del fruto y el efecto del cortado así como el retraso en la manifestación de alteraciones fisicoquímicas y mecánicas por la presencia de técnicas coadyuvantes del frío.

## CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades de la pera

El peral es un árbol frutal perteneciente a la familia de las *Rosáceas*, subfamilia *Maloideae* y al género *Pyrus*. Este género comprende más de veinte especies, de las cuales casi la mitad se encuentran en Europa y América del Sur (Westwood, 1982). Entre las especies de árboles frutales, la pera es el fruto climatérico considerado como el más antiguo de los cultivos en el mundo de las frutas (Nishitani y *et al.*, 2010). Existen más de 3000 variedades de peras que se cultivan alrededor de todo el mundo pero solo unas cuantas se cultivan en los campos templados de Estados Unidos de Norteamérica, destacando las variedades Anjou verde, Anjou roja, Bartlett, Bartlett roja, Bosc, Comice, Concorde, Forelle, Seckel y Starkrimson la cual es el objeto de estudio de este proyecto (Peras USA, 2014).

La pera (*Pyrus Communis L.*) cv. *Starkrimson* es un pomo con forma de globo que posee un brillante color rojo carmesí y posee un tallo grueso y robusto, sensorialmente se percibe como un fruto suave, dulce y con un sutil aroma floral. En la Figura 1 se muestra la imagen representativa de esta variedad de pera, (Peras USA, 2014).



Figura 1. Pera variedad *Starkrimson* (Peras USA, 2014).

### 1.1.1 Composición química

Debido a sus propiedades nutritivas, el buen gusto y su bajo contenido calórico, la pera es un fruto con alta apreciación por parte de los consumidores (Mocanu *et al.*, 2010). Tiene un bajo contenido de proteínas y lípidos, es una importante fuente de carbohidratos tales como fructosa, sorbitol y sacarosa. En cantidades pequeñas también aporta glucosa y fibra dietética (Pasquariello *et al.*, 2013). La pera también posee minerales, vitaminas, antioxidantes y elementos bioactivos que son importantes componentes nutritivos para una dieta saludable (Mocanu, *et al.*, 2010 y Silos-Espino, *et al.*, 2003).

**Tabla 1.** Composición de la pera (g/100 gramos de porción).

Compuesto	Porción
<b>Agua</b>	83.20
<b>Proteínas</b>	0.50
<b>Lípidos</b>	0.35
<b>Carbohidratos</b>	13.25
<b>Fibra</b>	2.20
<b>Vitaminas</b>	0.36
<b>Minerales</b>	0.17

Fuente: Infoagro 2014.

De la porción vitamínica reportada por Infoagro (2014) en la Tabla 1, las vitaminas A y C se encuentran en mayor cantidad. La concentración de ácido ascórbico es mucho mayor en la piel que en la pulpa. Además las peras también contienen biotina, ácido pantoténico, ácido fólico, y vitamina B<sub>12</sub> (Salunkhe y Kadam, 1995). En su contenido mineral, el potasio es el mineral más abundante, este elemento es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. La pera se caracteriza por ser baja en sodio (Eroski Consumer, 2014).

### 1.1.2 Parámetros indicadores de calidad

La calidad de las frutas y hortalizas recién cortadas determinan el valor para el consumidor y es una combinación de parámetros fisicoquímicos y sensoriales que incluyen la apariencia, textura, sabor y valor nutricional (Kader, *et al.*, 2002; Gil, *et*

*al.*, 2006). La importancia relativa de cada parámetro de calidad depende de la materia prima o del producto y si se come fresco o cocido. Los consumidores son jueces de la calidad de los productos frescos de frutas y hortalizas, y basan su compra en la apariencia y frescura del producto.

### **1.1.2.1 Color**

El CIE Lab (CIE- *Comission Internationale de l'Eclairage*), o espacios  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , describen la coloración de la superficie del objeto de estudio. Estos espacios de color se generan de manera consistentes sin importar el dispositivo que se utiliza para capturar la imagen.  $L^*$  es el componente de luminosidad que va de 0 a 100 y es un importante indicador de oscurecimiento en frutos frescos debido a la formación de melaninas, mientras que los parámetros  $a^*$  (verde a rojo) y  $b^*$  (azul a amarillo) son dos componentes cromáticos, con valores que van de -120 a 120, empleados para evaluar la saturación y el tono del color de frutas como manzanas y peras. En conjunto los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  son útiles para el cálculo del índice de oscurecimiento en la pulpa de fruta (Briones y Aguilera, 2005; Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013).

El color es uno de los primeros criterios de selección de los frutos cortados ya que este es un atractivo que tiene un papel clave en la elección, la preferencia y aceptación de alimentos, e incluso puede inferir en los umbrales de la percepción del sabor y dulzura (Clydesdale, 1993). El sistema de visión por computadora proporciona una técnica alternativa para la evaluación y cuantificación del color. Un sistema de este tipo se conforma de cinco componentes básicos: un iluminador, una cámara digital, una tarjeta de captura de imagen, un *hardware* u

ordenador y un *software* para procesar las imágenes. Un sistema de iluminación normalizada permite reducir la reflexión de la luz, sombras y ruido, mejorando así la calidad de la imagen y asegura que el experimento sea repetible. Mediante la cámara digital es posible aumentar la resolución de la captura fotográfica misma que se almacenará en un dispositivo externo. Una vez que se obtiene la imagen es posible realizar su análisis cuantitativo de color (Briones y Aguilera, 2005).

### **1.1.2.2 Textura**

La textura es el atributo más importante utilizado en la industria de los alimentos frescos y procesados para evaluar la calidad del producto y aceptación, si las frutas y hortalizas mantienen una textura firme y crujiente el consumidor asocia estos parámetros con frescura y calidad (Rico, *et al.*, 2007).

En productos vegetales la pérdida de firmeza se asocia directamente a cambios en las paredes celulares que se componen básicamente por celulosa, hemicelulosa y pectinas, de manera que, la degradación enzimática de los componentes de la pared, causada por las celulasas, hemicelulasas y enzimas pécticas, es la responsable de la degradación de la pared celular y por lo tanto, del ablandamiento de las frutas (Costa, *et al.*, 2012).

El análisis de perfil de textura APT (ó TPA, *Texture Profile Analysis*, por sus siglas en inglés) es una técnica que registra, mediante curvas de fuerza en función del tiempo, los eventos característicos ocurridos en las muestras durante la medición de la textura de los alimentos. El APT establece un vínculo de medición objetiva

de la sensación subjetiva y hace que las características de textura de los alimentos sean más predecibles. Esta prueba se basa en la imitación de la masticación con un ciclo de compresión doble. La prueba de APT puede evaluar una amplia gama de propiedades texturales de los alimentos frescos y procesados tales como dureza, elasticidad, cohesión y adhesividad (Chen y Opara, 2013; Ragni, *et al.*, 2010).

A nivel celular, los tres principales aspectos estructurales que contribuyen a las propiedades texturales de los alimentos de origen vegetal son: la turgencia, que representa la fuerza ejercida sobre la membrana celular por el fluido intracelular, la rigidez de la pared celular, y la adhesión célula-célula. En los últimos años, varios estudios se han llevado a cabo en frutas y verduras con el propósito de entender las relaciones entre la estructura y textura de los alimentos procesados (García-Loredo, *et al.*, 2013)

### **1.1.2.3 Sólidos Solubles**

El contenido de sólidos solubles se determina con el índice de refracción. Este método se emplea en el procesamiento de frutas y hortalizas para determinar la concentración de sacarosa de estos productos. La concentración de sacarosa se expresa en grados Brix (°Brix), a una temperatura de 20°C. Los °Brix son el equivalente al porcentaje en peso de la sacarosa contenida en una solución acuosa, de manera que, si a 20°C, una solución tiene 60 °Brix, significa que la solución contiene 60% de sacarosa (FAO, 2013).



#### **1.1.2.4      *Potencial de hidrógeno (pH)***

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad de una sustancia y está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H<sup>+</sup>) que se encuentran en la misma. El pH de los alimentos puede ser un factor determinante a la vulnerabilidad de microorganismos dentro de los cuales hay bacterias patógenas.

La mayoría de los microorganismos relacionados con frutas y hortalizas crecen mejor a pH cercano a la neutralidad aunque un pH cercano a 4.5 o superior también es favorable. Sin embargo, algunas bacterias comunes, tales como las ácido lácticas y las ácido acéticas, pueden crecer a pH 4.0 o inferiores. Los hongos, a diferencia de las bacterias, son más tolerantes al pH ácido, pudiendo crecer a valores tan bajos como 1.5 (Corlett y Brown, 1980).

Conociendo el pH relativo de una fruta u hortaliza es fácil predecir que especies de microorganismos son los que pueden crecer o constituir un problema. Las frutas debido a que normalmente tienen un pH menor a 4.0, son casi exclusivamente alteradas por los hongos. Por otro lado el pH de las hortalizas que se encuentra cercano a la neutralidad permitirá que crezca cualquier especie de microorganismo (Wiley, 1997).

Pocos estudios han abordado la influencia del pH sobre las propiedades físicas del tejido de la fruta. Almeida y Pinheiro, (2008) afirman que si el pH de la fruta fresca cortada se mantiene en valores cercanos a pH=3, la firmeza se verá afectada, originando un ablandamiento del tejido, debido a que las condiciones ácidas del

medio favorecen la disolución de pectinas.

### **1.1.3 Métodos de conservación de pera**

La conservación de las frutas y hortalizas constituye una importante etapa de proceso de elaboración que tiene como fin proporcionar seguridad, mantener la calidad, prolongar la vida útil y prevenir cualquier tipo de alteración una vez que han sido empacadas para su comercialización como producto fresco.

#### **1.1.3.1 Conservación por frío:**

El almacenamiento en frío es el método más ampliamente utilizado para la conservación de frutas y hortalizas. Esta operación se basa en la aplicación de ciertas temperaturas constantes a los frutos a conservar, siempre por encima del punto crítico para poder mantener sus cualidades organolépticas y nutritivas. Los frutos y vegetales frescos deben mantener activo su metabolismo y esto solo se puede conseguir en fase líquida por lo que no pueden someterse a temperaturas inferiores a las de congelación que oscilan entre 0°C y -1.5°C. El tiempo óptimo de refrigeración dependerá del fruto así como de su variedad, reflejado en su sensibilidad a las bajas temperaturas que se manifiesta por diferentes alteraciones y manchas en la piel conocidas generalmente como lesiones o daño por frío (Martínez-Jávega, 1997).

Para evitar la deshidratación junto con el empleo de las temperaturas bajas se

utilizan humedades relativas elevadas. La humedad relativa adecuada para un determinado producto dependerá de la relación superficie-volumen de este. A medida que esta relación es mayor, la transpiración también lo es. Un valor de humedad relativa entre 85 y 95% es lo aconsejable para lograr el objetivo de la conservación (Guerra, 1996).

### **1.1.3.2      *Atmósferas modificadas***

El envasado en atmósfera modificada es un dinámico proceso de alteración de la composición gaseosa dentro de un paquete (Caleb, *et al.*, 2012). Se basa en la interacción entre la tasa de respiración del producto y la transferencia de gases a través del material de embalaje (Finnegan, *et. al.*, 2013). Se emplean materiales de empaque con propiedades adecuadas de barrera de gas que mantienen la atmósfera a niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> recomendados para evitar la respiración anaerobia y otros trastornos fisiológicos. Mediante modelos matemáticos se puede representar una descripción cuantitativa de la tasa de respiración del producto fresco para diseñar la atmósfera modificada de envasado (Oliveira, *et al.*, 1998).

### **1.1.3.3      *Recubrimientos comestibles***

La aplicación de recubrimientos comestibles es un método de almacenamiento alternativo para los productos frescos y ha atraído cada vez más atención debido a consideraciones ambientales y las tendencias hacia el uso de alimentos de conveniencia (Özden y Bayindirli, 2002). Estos recubrimientos de base biológica se han empleado para evitar que las frutas y las verduras presenten deterioro causado por la inhibición de la respiración y transpiración. Los recubrimientos

comestibles se aplican sobre los frutos frescos cortados para producir una atmósfera modificada que retrasa la maduración y los cambios de color, mejora la apariencia y funciona como portador de agentes antimicrobianos, agentes antioscurecimiento, nutraceuticos y sabores (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005). Los recubrimientos comestibles pueden preservar la fruta coadyuvados con el almacenamiento en atmósfera modificada para preservar la calidad *post* cosecha (Park y Beuchat, 1999).

#### **1.1.3.4 Irradiaciones**

El término irradiación en alimentos se refiere fundamentalmente a radiaciones electromagnéticas mediante el cual se logra la desinfestación *post* cosecha de muchas frutas y hortalizas. Este método se ha seleccionado teniendo en cuenta la baja posibilidad de producir radiactividad significativa en los alimentos tratados. El departamento de agricultura de los Estados Unidos-Servicios de inspección animal y vegetal (USDA-APHIS), junto con otros organismos reguladores internacionales, como la Agencia Internacional de Energía Atómica y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, han emitido directrices para satisfacer las restricciones de exportación de productos con tratamiento de irradiación (Duvenhage, *et al.*, 2012).

## **1.2 Frutos Frescos Cortados**

Los hábitos de alimentación humana han cambiado mucho en las últimas dos décadas. El actual ritmo de vida, con escaso tiempo para preparar comidas

equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales naturales, frescos, saludables y dispuestos para consumir, como los productos frescos cortados denominados comercialmente alimentos de “IV gama”. Así la oferta de los productos frescos cortados ha aumentado notablemente en los países industrializados, siendo muy competitivos y aportando nuevos productos, desarrollando nuevas tecnologías emergentes y sostenibles. (Artes-Hernández, *et al.*, 2009). Los frutos frescos cortados tienen como objetivo ampliar la vida útil del alimento de 5 a 7 días a 4°C, al tiempo que garantiza la seguridad alimentaria y mantienen la calidad nutricional y sensorial (Cliffe-Byrnes y O’Beirne, 2005).

La Asociación Internacional de Productos Frescos Precortados (IFPA, por sus siglas en inglés) define los productos frescos cortados como frutas o verduras que han sido cortadas y/o peladas en un producto 100% utilizable que se embolsa o empaca para ofrecer a los consumidores alta nutrición, conveniencia y sabor, mientras que todavía mantienen su frescura (Lamikanra, 2002). Pérez-Cabrera, *et al.*, (2011) define un producto fresco cortado como aquel que ha recibido uno o varios tratamientos suaves en su acondicionamiento y preparación para el consumo, y que mantiene una apariencia y calidad próximas al producto fresco, donde el tejido vegetal permanece vivo.

### **1.2.1 Estado actual de los frutos frescos cortados**

Las frutas y hortalizas son elementos importantes de la alimentación humana y constituyen fuentes importantes de energía, grasas, carbohidratos, calcio, fósforo, hierro, magnesio y vitaminas como A, B6, B12, C, tiamina, riboflavina y niacina. Las frutas y hortalizas proporcionan más del 90% de la vitamina C en la

alimentación humana y son también excelentes fuentes de fibra, un componente de gran importancia en la dieta.

El consumo de productos vegetales frescos cortados es una tendencia que se encuentra en gran expansión. Son productos frescos que se procesan con el objetivo de proveer al consumidor de un alimento listo para consumir y con características similares a los productos frescos. Los consumidores esperan que dichos productos estén libres de defectos, que tengan un grado de madurez óptimo y que posean una elevada calidad organoléptica y nutricional, junto a una garantizada seguridad higiénica (Watada y Qi, 1999).

La demanda actual de productos frescos y fáciles de preparar, en especial frutas y verduras, ha traído consigo un aumento en el mercado de productos mínimamente procesados. Esta tendencia responde a la idea generalizada de que los vegetales son alimentos saludables, ya que cuanto más fresco es, mejores condiciones de calidad y seguridad pueden encontrarse. (Eroski consumer, 2014).

Las necesidades de mercado se basan en tener frutas preenvasadas más resistentes y de mayor vida de anaquel, lo cual implica una evolución tecnológica por parte de las unidades productivas. Además de la falta de investigación, la complejidad en este sector radica en la elevada cantidad de descarte en la producción, el elevado costo de las instalaciones y equipos, la necesidad de utilizar atmósferas modificadas y el mantenimiento de refrigeración en todas las etapas.

### **1.2.2 Proceso de elaboración de los frutos frescos cortados**

El procesado mínimo comprende distintas operaciones unitarias que, de forma general, se pueden resumir en las siguientes: selección del cultivar a procesar, elección del grado de madurez óptimo, clasificación, acondicionamiento, lavado del producto entero, deshojado, pelado, deshuesado, cortado, lavado y desinfectado (Ver Figura 2). Una vez que los productos se procesan, se empaquetan en bolsas selladas o en bandejas cubiertas con plásticos, con o sin atmósfera modificada para posteriormente ser almacenados y transportados bajo refrigeración (Wiley, 1997; Martínez-Ferrer, *et al.*, 2002).

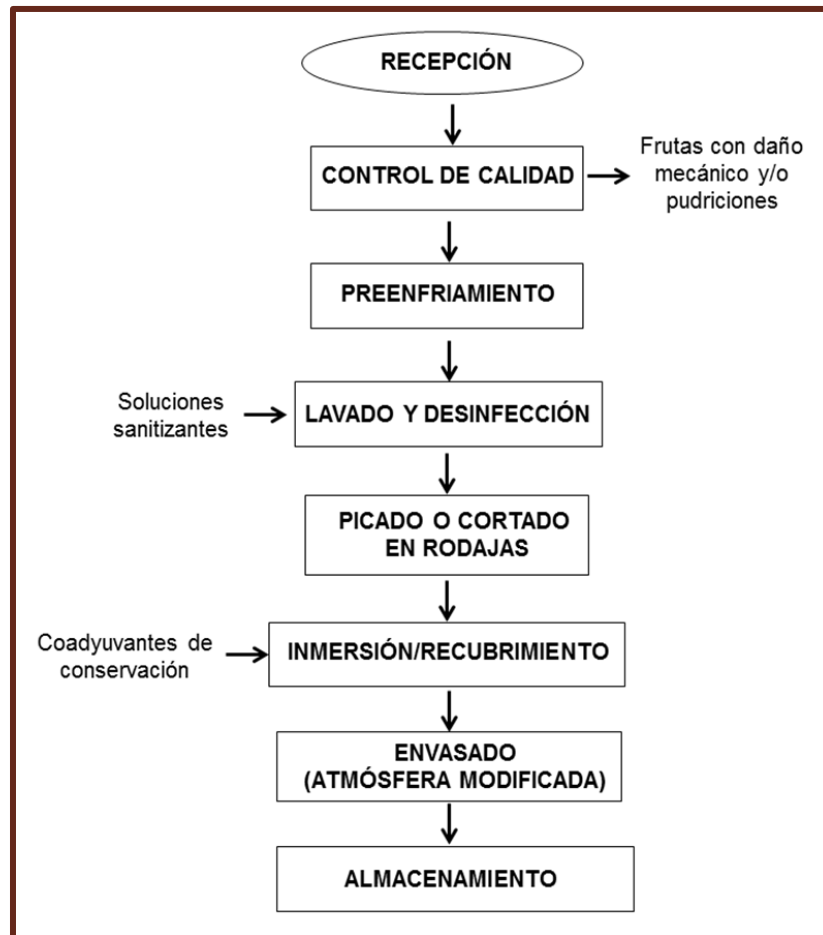


Figura 2. Diagrama de flujo del procesado mínimo de frutas y hortalizas (Adaptado de Wiley, 1997).

### 1.2.2.1 *Recepción*

Durante la recepción los productos deben separarse convenientemente para conseguir una correcta clasificación. Las frutas y hortalizas deben tener un tamaño estándar y se debe vigilar que el estado de maduración sea el adecuado para el tipo de proceso al que se va a someter (Wiley, 1997).



### **1.2.2.2 Control de calidad**

En esta evaluación se incluyen aspectos de seguridad de los productos, tales como residuos de pesticidas, elevadas cargas microbianas, metales tóxicos y compuestos indeseables naturalmente presentes. Es recomendable que la evaluación de la calidad de los productos frescos se realice rápidamente y por métodos no destructivos (Wiley, 1997).

### **1.2.2.3 Preenfriamiento**

El preenfriamiento es el retiro rápido del calor de campo de frutas y vegetales recientemente cosechados antes de enviar a almacenamiento o procesado. El enfriado rápido inhibe o retarda el crecimiento de microorganismos que causan la senescencia, reduce la actividad respiratoria y enzimática y reduce la pérdida de agua. En consecuencia el preenfriamiento apropiado reduce los desperdicios, retarda la pérdida de frescura y calidad post cosecha. Esta operación es distinta al almacenamiento refrigerado y requiere del empleo de equipos diseñados específicamente para esta función. (Becker y Fricke, 2002).

La fisiología del producto, referente a la madurez de cosecha y a temperatura de cosecha, determina en gran parte los requisitos y los métodos de preenfriado. Algunos productos son altamente perecederos y deben comenzar a enfriarse cuanto antes posible después de la cosecha; como por ejemplo: espárragos, habas, brócoli, coliflor, maíz dulce, melones, calabazas, coles de Bruselas, col, apio, zanahorias y guisantes. Las frutas comercialmente importantes que

necesitan preenfriado inmediato son: albaricoques, aguacates, ciruelas, guayabas, mangos, papayas y piñas. Las cerezas dulces, uvas, peras y cítricos tienen una vida *post* cosecha más larga y solamente se enfrían con el fin de preservar su alta calidad.

#### **1.2.2.3.1 Principales métodos de preenfriamiento**

El preenfriamiento se puede realizar en el campo, en instalaciones centrales de refrigeración, o en el edificio de empaque. Los principales métodos son enfriamiento húmedo, aire forzado, refrigeración por evaporación de aire forzado, por hielo y enfriamiento al vacío.

##### **a) Enfriamiento húmedo (aspersión o inmersión)**

Este es un método rápido ya que el agua fría fluye alrededor de los productos, bajando la temperatura de la superficie igual a la del agua. Las frutas y hortalizas se rocían con agua fría mediante un sistema de aspersión. Si es por inmersión, entonces se sumergen en un baño turbulento de agua fría. El método es eficaz y económico, sin embargo, puede producir efectos fisiológicos y patológicos sobre ciertos productos, por lo tanto, su uso es limitado (Ryall y Lipton 1979).

**b) *Enfriamiento por aire forzado***

Técnicamente, las tasas de enfriamiento por aire pueden ser comparables a las del enfriamiento húmedo bajo ciertas condiciones de exposición del producto y temperatura del aire. En el enfriamiento por aire, el valor óptimo del coeficiente superficial de transferencia térmica es considerablemente más pequeño que el enfriamiento húmedo. A continuación se enlistan las diferentes formas en que se pueden enfriar los productos mediante el empleo de aire forzado (Barreiro y Sandoval, 2006):

- Aire circulado en cuartos refrigerados acondicionados para este proceso.
- Aire circulado en túneles de enfriamiento, donde los productos pasan a través de este en una banda transportadora.
- Durante el transporte, empleando el equipo de enfriamiento especial portátil.

**c) *Enfriamiento evaporativo por aire forzado***

Este método consiste en enfriar los productos con el aire de un refrigerador evaporativo, circulando aire a través de un panel mojado antes del contacto con el producto o empaque, sustituyendo la refrigeración mecánica. Un refrigerador evaporativo correctamente diseñado produce aire algunos grados sobre la temperatura de bulbo húmedo del exterior y resulta ser más económico que un sistema de refrigeración mecánica (Soto 1999).

**d) *Enfriamiento por paquetes de hielo***

El hielo finamente triturado colocado en envases puede enfriar con eficacia alimentos que no sufren daños al contacto con el hielo. Enfriar un producto de los 35°C a 1 o 2°C requiere de hielo que se derrite hasta en un 38% de su masa inicial. Hielo adicional debe derretirse para eliminar el calor que liberan los alimentos y remover el calor del contenedor (Barreiro y Sandoval, 2006).

**e) *Enfriamiento al vacío***

En el enfriamiento al vacío, el agua, como refrigerante primario, se vaporiza en un compartimiento que se encuentra a baja presión. La presión en el compartimiento se baja hasta el punto de saturación que corresponde a la temperatura requerida más baja del agua. El enfriamiento al vacío de productos frescos por evaporación rápida del agua del producto, funciona mejor con frutas y hortalizas que tienen un área superficial grande y un alto coeficiente de transpiración (Barreiro y Sandoval, 2006).

**1.2.2.4 *Lavado y desinfección***

En una línea de procesamiento de frutas y hortalizas, la operación de lavado se realiza generalmente en una cámara aislada con restricción de entradas, de forma que el contacto humano esté limitado. En este momento el producto se convierte en listo para consumir y también para ser conservado. Para este fin el producto se lava

mediante cloración de hasta 200 ppm, quedándose libre de la mayoría de los microorganismos. El producto mínimamente procesado se sumerge en un baño donde se mantiene burbujeándole aire a través de una boquilla. Esta turbulencia permite la eliminación de prácticamente todas las trazas de tierra y sustancias extrañas sin producir magulladura del producto. La adición del cloro al agua de lavado previene la contaminación microbiana (Wiley, 1997).

#### ***1.2.2.5 Picado o cortado en rodajas***

Esta operación puede ser una etapa esencial para mejorar el sabor, digestibilidad, facilidad de manipulación y transferencia de calor en los productos, aunque también tiene ciertos inconvenientes. El corte en los productos acelera la respiración, provoca daños mecánicos y ablanda el tejido vegetal. Los tejidos cortados constituyen barreras menos eficaces a la difusión de los gases y toleran concentraciones más elevadas de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> que los productos intactos. De ahí que los productos troceados deban enfriarse a 4°C inmediatamente después del cortado.

#### ***1.2.2.6 Inmersión/Recubrimiento***

Los tratamientos de superficie que implican sumergir trozos de fruta en soluciones acuosas que contienen agentes microbianos, antioxidantes, sales de calcio o ingredientes funcionales, tales como minerales y vitaminas se practican ampliamente para mejorar la calidad de la fruta recién cortada. Sin embargo, la eficacia de estos compuestos se puede mejorar en forma significativa con la

incorporación de recubrimientos comestibles. La aplicación de recubrimientos comestibles para suministrar sustancias activas es uno de los últimos grandes avances tecnológicos con el fin de aumentar la vida útil de los alimentos frescos cortados (Oms-Oliu, *et al.*, 2010).

#### **1.2.2.7 Envasado**

Robertson, *et al.*, (2011), identifica cuatro atributos de los envases sobre los alimentos: contención, protección, conveniencia y comunicación. Así mismo el envase protege al producto de daños físicos y previene la contaminación patógena. El sector de la industria alimenticia de IV Gama emplea el envasado en atmósferas modificadas como una técnica de conservación. Esto implica rodear la materia prima con una composición de gases que generalmente presenta bajos niveles de O<sub>2</sub> y altos niveles de CO<sub>2</sub> para reducir la tasa de respiración de los alimentos con el fin de retrasar el deterioro fisiológico y extender la vida útil de los productos frescos (Saltveit, 1993; Rico, *et al.*, 2007).

#### **1.2.3 Cambios fisiológicos en los frutos frescos cortados**

La fruta mínimamente procesada es uno de los principales segmentos de crecimiento en los mercados minoristas de alimentos. Las dietas ricas en frutas y verduras pueden ayudar en la prevención de enfermedades, incluyendo el cáncer y las enfermedades cerebro y cardiovasculares, debido a los antioxidantes que contienen (Martin-Belloso, *et al.*, 2010). Sin embargo, las operaciones mecánicas a las que son sometidos los frutos frescos son las responsables de causar daños

irreversibles en la estructura celular como: pérdidas de humedad, actividad enzimática, susceptibilidad al exceso de microorganismos procesos de podredumbre, decoloración y respiración, generando así el mayor obstáculo para su comercialización, su vida de anaquel limitada (Parry, 1993; Robles Sánchez, *et al.*, 2009; Oms Oliu, *et al.*, 2010).

Durante el procesado mínimo de los frutos frescos, los tejidos vegetales manifiestan una respuesta al estrés fisiológico al que son sometidos, produciendo un incremento en la velocidad de respiración y en algunos casos producción de etileno. Cuando un fruto climatérico tiene una exposición continua al etileno se produce un incremento en la velocidad de respiración y por consiguiente una rápida maduración, ocasionando la pérdida de agua, y un descenso en el contenido de carbohidratos, vitaminas y ácidos orgánicos afectando principalmente en un oscurecimiento oxidativo, el ablandamiento de tejidos, la pérdida de agua, y la producción de sabores y olores indeseables (Martín-Belloso, *et al.*, 2010). La actividad respiratoria, medida por la intensidad de producción de CO<sub>2</sub>, es un proceso bioquímico complejo que se ve afectado por diversos factores como: tamaño del producto, variedad, madurez, tipo de tejido y grado de preparación. De manera que si el producto ha sido cortado la actividad respiratoria puede ser varias veces mayor a uno que se encuentra entero. El empleo de bajas temperaturas durante el almacenamiento y distribución de los productos frescos cortados reduce significativamente la actividad respiratoria, el crecimiento de los microorganismos productores de podredumbre y retrasa el deterioro (Parry, 1993; Wiley, 1997).

Los frutos frescos cortados que mantienen una textura firme y crujiente son muy deseables por los consumidores ya que asocian estas texturas con fresca y

calidad. Si un producto fresco cortado presenta una textura suave o blanda puede dar lugar al rechazo del consumidor antes de su consumo. Los cambios texturales en los tejidos vegetales están relacionados con ciertos procesos enzimáticos y no enzimáticos. La degradación enzimática de las pectinas es catalizada por la pectil metilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG). Primero la pectina sufre un desmetilado parcial causado por la PME, y más tarde se despolimeriza por la PG a ácido poligalacturónico causando una pérdida de firmeza.

La pérdida de humedad acompañada del marchitamiento y ablandamiento son las principales causas de la pérdida de frescura de las frutas y hortalizas con procesamiento mínimo. Puesto que las frutas y hortalizas tienen un contenido de agua de entre 80-95%, pierden humedad rápidamente siempre que la humedad relativa (HR) es inferior al 80-95%. Una pérdida de humedad de entre 3-6% es suficiente para provocar un marcado deterioro de la calidad de muchos tipos de productos. En consecuencia, es importante reducir estas pérdidas de humedad mediante la disminución de la temperatura, incremento de la HR y reducción del movimiento del aire. Todos estos métodos para reducir la pérdida de humedad de los productos frescos se pueden conseguir mediante el envasado en paquetes en atmósferas modificadas. Sin embargo, si la humedad relativa al interior del envase es demasiado alta se produce la condensación del agua y las condiciones favorables para el crecimiento microbiano, provocando la podredumbre del producto. Si se mantiene la temperatura óptima de refrigeración durante las etapas de procesamiento de los productos frescos se puede prevenir las pérdidas de humedad por transpiración y la posterior condensación en el interior del envase (Zagory y Kader, 1988; Parry, 1993; Chassagne-Berces, *et al.*, 2009).



### **1.2.3.1 Preservación de la textura en frutas frescas cortadas**

La calidad de las frutas frescas cortadas depende en gran medida de la historia *post* cosecha de la fruta antes de su procesamiento. Algunos estudios han revelado que el almacenamiento prolongado de las manzanas, incluso en condiciones controladas, provoca cambios en la fruta que conducen a una vida de anaquel más corta (Varela, *et al.*, 2005; Gorny, *et al.*, 2002). En el caso de las peras, un almacenamiento prolongado disminuye la aceptabilidad de los consumidores debido a la presencia de deterioros texturales, presentando ablandamiento y una pérdida de integridad de la pared celular (Varela, *et al.*, 2007).

Cuando los frutos frescos se someten a operaciones de corte, la ruptura celular de los tejidos provoca la liberación de enzimas que se propagan a través del tejido y entran en contacto con sus sustratos. El ablandamiento de la fruta fresca cortada se debe principalmente a la degradación enzimática de la pared celular, que se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y pectinas. Las enzimas tales como PME y PG juegan un papel muy importante en el ablandamiento de la fruta. La PME desmetila a la pectina, lo que resulta en la producción de metanol y una molécula de pectina con un grado inferior de metilación. Esto permite que la despolimerización de la PG lleve a cabo la degradación de la pared celular. Sin embargo el empleo de tratamientos con sales de calcio puede promover el fortalecimiento de la estructura de la pared celular. Por lo tanto, con el fin de evitar cualquier pérdida de textura y para preservar la estructura en la fruta fresca cortada, esta puede ser tratada con sales de calcio tales como cloruro de calcio, lactato de calcio, ascorbato de calcio y propionato de calcio.

El cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) ha sido una de las sales de calcio empleadas con más frecuencia en los frutos frescos cortados. Cuanto mayor es la concentración de cloruro de calcio, más firme es la fruta. La combinación del tratamiento de  $\text{CaCl}_2$  y el envasado con una concentración mínima de  $\text{O}_2$  fue más eficaz que el empleo de solamente  $\text{CaCl}_2$  para mantener la firmeza de ciertas frutas frescas cortadas a lo largo de varias semanas de almacenamiento, tal es el caso de los melones cv. “Piel de Sapo” (Oms Oliu, *et al.*, 2008), peras cv. “Conferencia” y manzanas cv. “Golden Delicious” (Soliva-Fortuny, *et al.*, 2003). El inconveniente de esta sal de calcio es que contribuye a un sabor amargo en el producto. Un enfoque sensorial integrado publicado por Varela, *et al.*, (2007) con el fin de evaluar el uso de diferentes sales de calcio en rodajas de manzanas recién cortadas cv. “Fuji” obtuvo que si se sumergen en una solución de  $\text{CaCl}_2$  a una concentración de 1% durante 3 minutos, estas mantienen la aceptabilidad general de los panelistas, durante al menos ocho días de almacenamiento.

Otra de las propiedades benéficas de las sales de calcio es que impiden el oscurecimiento y actúa como regulador de acidez. De esta manera, cuando se agregan sales de calcio a los alimentos se estabiliza el pH, generando un efecto importante para la conservación de alimentos a nivel industrial, ya que se puede mejorar la eficacia de otros aditivos tales como conservadores y aromas, que solo actúan en un estrecho rango de pH (Oms Oliu, *et al.*, 2010).

#### **1.2.4 Actividad enzimática en frutos frescos cortados**

El color es una propiedad fundamental de la calidad de frutas frescas cortadas

como pera, manzana y plátano, ya que las operaciones de reducción de tamaño a menudo conducen a un oscurecimiento enzimático. El oscurecimiento es un trastorno importante de los frutos y puede conducir a considerables pérdidas económicas (Franck, *et al.*, 2007).

La principal enzima responsable del oscurecimiento enzimático es la polifenoloxidasas (PFO) que se encuentra en las células vegetales y es la responsable de las reacciones de oscurecimiento enzimático que ocurre durante el almacenamiento, manipulación y procesamiento de frutas y vegetales (Oms Oliu, *et al.*, 2010). Otra enzima importante en el oscurecimiento enzimático es la peroxidasa (POD), la cual funciona oxidando donantes de hidrógeno en presencia de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). Se acepta una amplia gama de polifenoles donantes de hidrógeno. Sin embargo, la generación de  $H_2O_2$  durante la oxidación de algunos compuestos fenólicos catalizados por PFO podrían seguir una posible acción sinérgica entre PFO y POD en los procesos de oscurecimiento enzimático (Subramanian, *et al.*, 1999) Estas reacciones modifican las características organolépticas y nutricionales del alimento, depreciando su calidad (Gasull y Becerra, 2006). La Figura 3 muestra a detalle la localización subcelular de los compuestos fenólicos y las enzimas que interactúan con ellos para causar el oscurecimiento.

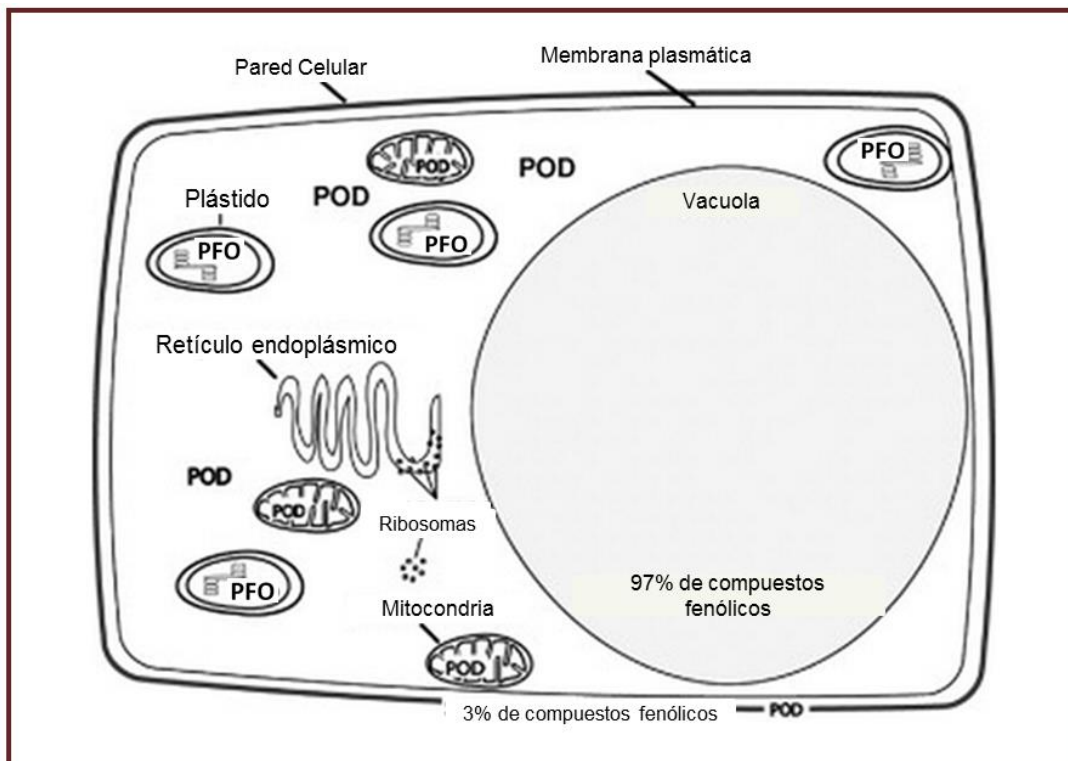


Figura 3. Localización de compuestos fenólicos y enzimas oxidantes en una célula vegetal. POD: peroxidasa; PFO: polifenoloxidasas (Adaptado de: Toivonen y Brummell, 2008).

El mecanismo de oscurecimiento enzimático implica la interacción de sustratos polifenólicos con PFO en presencia de oxígeno. La PFO cataliza dos reacciones: una es la hidroxilación de monofenoles a difenoles y la otra es la oxidación de difenoles a quinonas, como se muestra a detalle en la Figura 4. La reacción de hidroxilación es relativamente lenta y no genera cambio de color, mientras que la reacción de oxidación sucede en un menor tiempo y las quinonas resultantes son las responsables de aportar el color. Reacciones posteriores de las quinonas conducen a la acumulación de melanina, que es el pigmento de color marrón o negro con el que se asocia el cambio de color en los tejidos vegetales.

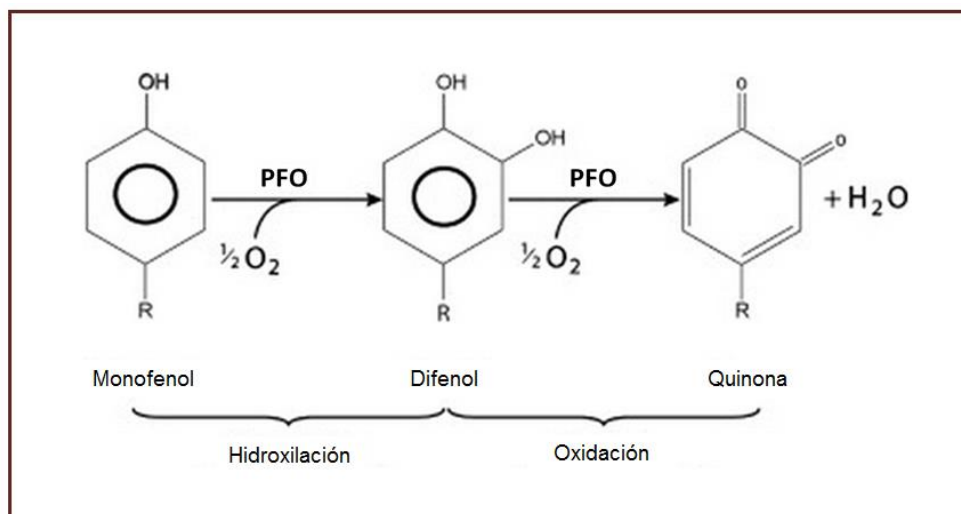


Figura 4. El mecanismo de acción de la polifenoloxidasasa en monofenoles y difenoles (Adaptado de: Toivonen y Brummell, 2008).

La actividad de las enzimas PFO presente en frutas y vegetales puede ser inhibida por calentamiento o por remoción de alguno de sus componentes necesarios:  $O_2$ , enzima,  $Cu^{2+}$  o sustrato (Guerrero-Beltrán, *et al.*, 2005). Agentes reductores, antioxidantes e inhibidores enzimáticos previenen el oscurecimiento reduciendo químicamente las ortoquinonas a difenoles coloreados, inhibiendo la actividad de la enzima por disminución del pH, o quelando el  $Cu^{2+}$  en el alimento.

### 1.2.5 Normatividad de los frutos frescos cortados

Para los alimentos frescos, la *Food and Agriculture Organization* (FAO) recomienda aplicar los sistemas de gestión de calidad, como las buenas prácticas agrícolas (BPA), las buenas prácticas de higiene (BPH), las buenas prácticas de manufactura (BPM) y el análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP), garantizando de tal modo que se mantenga la calidad en cada una de

las etapas de la cadena. La organización también aspira a incrementar el valor del producto por medio de la aplicación de tecnologías de relación costo-eficacia que sean respetuosas con el medio ambiente, especialmente aquellas que contribuyen a la reducción de las pérdidas, aumentan la eficacia del sistema de *post* producción y proporcionan la calidad y la comodidad demandada por los consumidores. A nivel institucional, la FAO participa con las autoridades locales, los organismos normativos y los encargados de la formulación de políticas para facilitar el suministro de servicios e infraestructuras necesarias para mantener la calidad e inocuidad de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria.

Para el caso de México podemos concretar la elaboración de productos mínimamente procesados al calce de la “**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-093-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. PRÁCTICAS DE HIGIENE Y SANIDAD EN LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS QUE SE OFRECEN EN ESTABLECIMIENTOS FIJOS**” en esta Norma Oficial Mexicana establece las disposiciones sanitarias que deben cumplirse en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos con el fin de proporcionar alimentos inocuos al consumidor. Es de observancia obligatoria en el territorio nacional para las personas físicas o morales que se dedican a la preparación de alimentos.

### **1.3 Recubrimientos comestibles**

Uno de los principales desafíos para la industria de los productos frescos cortados es el oscurecimiento enzimático, resultado de la actividad enzimática que ocurre después de pelar y cortar la fruta. La ruptura celular sucedida en estas operaciones es la responsable de que se liberen productos intracelulares, tales

como enzimas y ácidos orgánicos, afectando el color, sabor y textura de los frutos frescos cortados (Rocha y Morais, 2003). Los recubrimientos de material comestible aplicado como una capa fina, mejoran la calidad y mejoran la vida útil de los productos frescos cortados. Estos funcionan como una barrera para la reducción de la respiración y la pérdida de agua en el fruto (Kester y Fennema, 1986); Los recubrimientos comestibles se aplican sobre los frutos frescos cortados para proporcionarles una atmósfera modificada en su superficie, reduciendo la maduración, y previniendo los cambios de color, mejorando la apariencia y vida útil de la fruta (Olivas, *et al.*, 2007; Zambrano Zaragoza, *et al.*, 2014).

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento (Hoorfar, 2014). Los recubrimientos comestibles deben incluir al menos un componente base que sea capaz de formar una matriz estructural continua, en base a esto se pueden emplear polisacáridos, proteínas o lípidos. Los recubrimientos formados por polisacáridos de alto peso molecular generalmente presentan buenas propiedades de barrera al oxígeno, sobre todo en condiciones de humedad baja (Guilbert, *et al.*, 1996).

Una de las funciones más importantes de los recubrimientos comestibles es reducir la pérdida de humedad, debido a que se deben mantener ciertos niveles de actividad de agua ( $a_w$ ) ya que este es un factor de suma importancia en la calidad y seguridad del alimento (Labuza y Contreras-Medellin, 1981). Algunas de las propiedades funcionales que desempeñan los recubrimientos comestibles aplicados a algunos alimentos son (Kester y Fennema, 1986):

- ✓ Reducir la pérdida de humedad
- ✓ Reducir el transporte de gases (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>)
- ✓ 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
- ✓ Retener componentes volátiles
- ✓ Contener aditivos

### **1.3.1 Propiedades físicas de los recubrimientos comestibles**

Los recubrimientos comestibles pueden contribuir a prolongar la vida útil de los alimentos mínimamente procesados, trabajando como barrera a los gases, vapor de agua y solutos, garantizando así la seguridad microbiológica (Park, 1999; Bonilla, *et al.*, 2012). En la mayoría de los casos, la efectividad del recubrimiento cuando se aplica a frutas y hortalizas depende fundamentalmente de un control efectivo de la permeabilidad al vapor de agua y a los gases.

#### **1.3.1.1 Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad al vapor de agua es una medida de la facilidad con la que el vapor de agua puede penetrar un material. Es un proceso de disolución y difusión en el que el vapor se disuelve de un lado de la película y entonces se difunde a través del otro lado. La estructura química, polaridad relativa, grado de cristalinidad, densidad, orientación molecular, peso molecular y presencia de



plastificantes y aditivos, influyen directamente sobre las propiedades de barrera de vapor de agua de los recubrimientos comestibles (Pastor-Navarro, 2010). El empleo de plastificantes disminuye las fuerzas intermoleculares de las cadenas de los polímeros, y por tanto, le confiere una mayor movilidad molecular, aumentando su permeabilidad al agua, gases o aromas. La intensidad de estos efectos depende del tipo, cantidad y peso molecular de los agentes plastificantes utilizados (Forssell, *et al.*, 2002; Rojas-Graú, *et al.*, 2007).

### **1.3.1.2 Permeabilidad a los gases**

La permeabilidad a los gases es otro factor que influye en gran medida en la estabilidad de los alimentos sensibles a la oxidación de lípidos, vitaminas y pigmentos y en la vida de anaquel del producto recubierto. Si se limita la disponibilidad de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se puede producir un descenso en la actividad respiratoria, evitando así que se presenten condiciones de desarrollo microbiano de tipo anaerobio.

### **1.3.1.3 Transporte de aditivos**

Los recubrimientos comestibles también pueden ser utilizados como vehículo para la incorporación de aditivos con el fin de modificar las condiciones superficiales del alimento y añadir otras funcionalidades a la película comestible resultante. Entre los aditivos comúnmente empleados se encuentran: antioxidantes, antimicrobianos, vitaminas, colorantes, saborizantes o microorganismos para el control biológico (Lee, *et al.*, 2003; Pérez-Gago, 2006; Rojas-Graü, *et al.*, 2009).

### **1.3.2 Propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles**

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles dependen de la cohesión estructural del material a partir del que se obtienen. La cohesión es el resultado de la capacidad de los polímeros de formar fuertes y numerosas uniones moleculares de cadenas poliméricas, dificultando así la separación de las cadenas. Esta capacidad depende de la estructura del polímero y su fuerza molecular, geometría, distribución, peso molecular y tipo y posición de grupos laterales (Pastor-Navarro, 2010). Las propiedades mecánicas están ligadas a las condiciones de formación del recubrimiento como por ejemplo, el tipo de proceso, solventes empleados, velocidad de enfriamiento o de evaporación, técnica de aplicación, tipo de plastificante así como la matriz estructural que lo conforma.

### **1.3.3 Matrices estructurales de los recubrimientos comestibles**

Las matrices estructurales que conforman los recubrimientos comestibles están formuladas principalmente a base de lípidos, proteínas y polisacáridos de alto peso molecular, aunque también existen los elaborados por mezcla de estos componentes.

#### **1.3.3.1 *Matrices de lípidos***

Los recubrimientos elaborados a base de lípidos son muy eficientes para reducir la

deshidratación de los productos. Debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua. Estos recubrimientos presentan algunas limitaciones tales como deficiencia en sus propiedades mecánicas y en ocasiones mala apariencia (García, *et al.*, 2000). Rhim y Shellhammer (2005), recomienda que los recubrimientos a base de lípidos se mezclen con polisacáridos para proporcionar mayor estabilidad y reducir la pérdida de humedad. Actualmente, a la mayoría de los recubrimientos se les adiciona glicerol, utilizándolo como plastificante o simplemente para garantizar en el recubrimiento mayores propiedades de barrera a la pérdida de vapor de agua (Rojas-Grau, *et al.*, 2007).

### **1.3.3.2 Matrices de proteínas**

Los recubrimientos fabricados a base de proteínas presentan mejores propiedades de barrera a los gases, sin embargo la resistencia que presentan al vapor de agua es menor dado su naturaleza hidrofílica, es por esto que su uso se recomienda ampliamente para frutas y vegetales (Ramos, *et al.*, 2013). Las proteínas brindan una alta barrera al paso de oxígeno, obteniendo así un recubrimiento que previene la oxidación enzimática en el alimento.

### **1.3.3.3 Matrices de polisacáridos**

Los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos se han utilizado para extender la vida útil de frutas y hortalizas mediante la reducción de la respiración y el intercambio de gas debido a permeabilidades selectivas a O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (Nísperos-Carriedo, 1994; Nussinovitch y Hershko, 1996). Wong, *et al.*, (1994), indicó que la

respiración y producción de etileno de piezas de manzana cortada recubiertas con una pectina o recubrimiento en bicapa de gelano-lípido se puede reducir de manera significativa. Recubrimientos comestibles de alginato y gelano han demostrado eficacia para prolongar el tiempo de conservación de trozos de manzana *c.v. Fuji* por 2 semanas en comparación con trozos de fruta sin recubrir (Tapia, *et al.*, 2008).

Dentro de los polisacáridos que han sido probados para ser utilizados en los recubrimientos comestibles se incluyen derivados de celulosa y almidón, quitosano, carrageninas, pectinas, alginatos y gomas como el agar, xantana y el mucilago de nopal (Vargas, *et al.*, 2012; Espino-Díaz, *et al.*, 2010).

La goma xantana es un polisacárido que se obtiene de la fermentación de un carbohidrato producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Su importancia industrial se basa en su capacidad de controlar la reología de los sistemas a base de agua. Aún a bajas concentraciones, las soluciones de goma xantana muestran una viscosidad alta en comparación con otras soluciones de polisacáridos. Sin embargo, el uso de la goma xantana como un recubrimiento comestible en las frutas frescas cortadas ha sido poco explorado a pesar de sus propiedades mecánicas y capacidad de retener el aroma y el sabor en la fruta, lo que lo convierte en una opción interesante para ser utilizado como recubrimiento en combinación con otras partículas (Druzian y Pagliarini, 2007).

#### **1.3.3.4 Matrices de mezclas de compuestos**

Los recubrimientos comestibles se pueden elaborar a partir de mezclas polisacáridos-lípidos, proteínas-polisacáridos y proteínas-lípidos, permitiendo aprovechar las características funcionales de cada compuesto. El objetivo principal de realizar estas mezclas es mejorar las propiedades mecánicas y de permeabilidad de los gases y vapor de agua. El recubrimiento es aplicado en forma de emulsión, dispersión o suspensión de los constituyentes no miscibles en un solvente común.

#### **1.3.4 Empleo de nanotecnología en recubrimientos comestibles**

Las aplicaciones de la tecnología en tamaño *nano* en la industria alimentaria pueden incluir sistemas nanoparticulados, por ejemplo, micelas, liposomas, nanopartículas, nanoemulsiones de biopolímeros y cubosomas. Actualmente existen múltiples aplicaciones de la nanotecnología en alimentos, según la “*Nanotechnology in Agriculture and Food*” un alimento es un nanoalimento cuando para su fabricación se utilizan herramientas o procesos nanotecnológicos o bien incluyen nanopartículas, todo esto en cualquiera de las etapas de su desarrollo, ya sea el cultivo, producción o envasado. La nanotecnología ha sido utilizada con gran éxito en una amplia gama de aplicaciones tales como la purificación del agua, la rotura de la pared celular, liberación lenta de nutraceúticos, microencapsulación, desodorización, desinfectantes, agentes antimicrobianos y antifúngicos y aumento de vida útil. De hecho la incorporación de nanopartículas de lípidos en los alimentos y bebidas es actualmente una de las aplicaciones más utilizadas de la

nanotecnología en la industria alimentaria (Chau, *et al.*, 2007; McClements, 2013).

Bibliográficamente existe poca información que describa el retardo de los cambios fisicoquímicos en la pera fresca cortada, aunado a la combinación de la conservación por frío y de las tecnologías emergentes. Resulta de particular importancia la aplicación de recubrimientos en frutas, vegetales y productos mínimamente procesados para incrementar la calidad del producto y extender su vida de anaquel (Lin y Zhao, 2007). La nanotecnología brinda entonces una opción más para la conservación de productos mínimamente procesados como lo son las frutas frescas cortadas. Este coadyuvante de frío puede complementarse con el uso de atmósferas modificadas para dar sinergismo a la tecnología de conservación.

#### ***1.3.4.1 Métodos de preparación de las nanopartículas lipídicas sólidas***

Las NLS constan de un núcleo de lípidos bioactivos sólidos con el que forman parte de la matriz lipídica. La partícula está estabilizada por una capa de surfactante que actúa como agente emulsionante. La composición lipídica determinará el tipo de cristal que se genera al enfriarse, lo que influye en la estabilidad de las nanopartículas lipídicas sólidas. Para el empleo de NLS se recomienda tener un tamaño de partícula preferente de entre 50 y 500 nm para conformar un *nano* recubrimiento o película que se utiliza para incrementar la vida de anaquel, de almacenamiento y durante la transportación de los alimentos naturales frescos como semillas, cereales, frutas u hortalizas (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2012).

Los ingredientes de preparación de las NLS suelen ser lípidos sólidos, emulsificantes y agua. Como lípidos se incluyen triglicéridos, glicéridos parciales, ácidos grasos, esteroides y ceras. Como estabilizador de dispersiones de lípidos se incluyen todos los tipos de emulsificantes para prevenir la aglomeración de las partículas (Trotta *et.al.*, 2003). Se emplea una gran variedad de emulsificantes iónicos y no iónicos de diferente peso molecular para estabilizar la dispersión de los lípidos. Los más utilizados son compuestos de polímeros, polisorbatos, lecitina y ésteres de ácidos grasos.

A continuación se mencionan los diferentes métodos de elaboración de nanopartículas:

#### ***a) Homogenización a alta cizalla***

Para producir NLS por cizalla se utiliza un homogeneizador de alta cizalla que por medio de la emulsificación de un lípido sólido a temperatura de fusión llega al tamaño deseado de partícula. Es muy importante tener el control sobre las variables críticas que son el tiempo de emulsificación, velocidad de agitación y las condiciones de refrigeración sobre el tamaño de partícula y el potencial zeta (Mehnert y Mäder, 2001)

#### ***b) Homogenización a alta presión***

La homogeneización a alta presión ha surgido como una técnica fiable y potente para la preparación de NLS. Homogeneizadores de alta presión empujan con un líquido de 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). La alta velocidad de cizallamiento y las fuerzas de cavitación interrumpen las partículas hasta el rango submicrónico. Los contenidos típicos de lípidos están en el rango de 5-10% y no representan problema para el homogeneizador.

Dos enfoques generales de la etapa de homogeneización para la producción de SLN son las técnicas de homogeneización en caliente y en frío, que se describen a continuación:

✓ *Homogenización en caliente*

La homogeneización en caliente se lleva a cabo a temperaturas por encima del punto de fusión del lípido y por lo tanto puede considerarse como la homogeneización de una emulsión. Mediante un dispositivo de mezcla a alta cizalla se obtiene una pre emulsión de los lípidos y la fase acuosa emulsionante. La calidad de la pre emulsión afecta a la calidad del producto final en gran medida y es deseable para obtener gotas diminutas en el rango de tamaño de unos pocos micrómetros. En general, las temperaturas más altas resultan en tamaños de partículas inferiores debido a la disminución de la viscosidad de la fase interna. La etapa de homogeneización se puede repetir varias veces. El aumento de la presión de homogeneización 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 (Müller *et.al.*, 2002).



El producto primario de la homogeneización en caliente es una nanoemulsión debido al estado líquido del lípido. Las partículas sólidas son formadas por el siguiente enfriamiento de la muestra a temperatura ambiente o a temperaturas inferiores.

#### ✓ *Homogenización en frío*

La homogeneización en frío se lleva a cabo con el lípido sólido y representa una molienda de alta presión de una suspensión de sólidos. El control y la regulación de la temperatura aseguran el estado no fundido del lípido debido al aumento de la temperatura durante la homogenización (Bunjes *et.al.*, 2004).

El primer paso de preparación es el mismo que en el procedimiento de homogeneización en caliente e incluye la solubilización o dispersión del polisacárido en la masa fundida del lípido mayor. Después la alta velocidad de enfriamiento favorece una distribución homogénea del polisacárido dentro de la matriz lipídica. A continuación el sólido lípido formado se muele a micropartículas. 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 refrigerados. La pre-suspensión se somete a homogeneización a alta presión en o por debajo de temperatura ambiente. En general, en comparación con la homogeneización en caliente, en la homogenización en frío se observa un mayor tamaño de partícula y una mayor distribución de tamaño (Mühlen, *et. al.*, 1998).

#### ***c) Emulsificación-Evaporación***

Este método 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. Los disolventes que se pueden emplear son tolueno o cloroformo, por ejemplo. En la técnica, los disolventes se saturan inicialmente con agua para asegurar el equilibrio termodinámico de la mezcla, posteriormente la mezcla se disuelve con el solvente saturado para después emulsificarse con una solución de surfactante a elevada temperatura. 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. Los tamaños de partícula obtenidos por este método son cercanos a los 100 nm con un índice de polidispersión pequeño (Wissing *et. al.*, 2004).

#### **1.3.4.2 Propiedades de las nanopartículas lipídicas sólidas**

Una caracterización detallada de estos sistemas es también muy importante cuando se considera que las propiedades de los materiales de los lípidos sólidos, en particular la fusión, cristalización y el comportamiento polimórfico, puede cambiar drásticamente cuando las sustancias se dispersan en partículas en la parte baja de un rango de tamaño manométrico (Müller *et. al.*, 2002).

A continuación se mencionan los parámetros más importantes para la caracterización de las nanopartículas en dispersiones sólidas de lípidos:

**a) Tamaño de partícula e índice de polidispersión**

Las determinaciones del tamaño de partícula son en su mayoría para confirmar si se cumple el rango deseado del tamaño coloidal que se ha obtenido durante la preparación y que se mantiene durante el almacenamiento o la transformación posterior. De igual manera con el tamaño de partícula se evalúa la dependencia del tamaño de la nanopartícula en las propiedades de la matriz (Xu, 2008).

Últimamente ha surgido la demanda para la medición de partículas más pequeñas en el rango nanométrico que requiere instrumentos más sensibles como para detectar débiles señales de dispersión de pequeñas partículas o moléculas. En la preparación de sistemas submicrónicos se presenta una variedad de tamaños de partícula obtenidos, la importancia de conocer el índice de polidispersión es dimensionar que tan distribuidos se encuentran dichos tamaños de partícula con la finalidad de conocer la probabilidad de desestabilización del sistema (Lynd, et.al., 2008).

**b) Potencial zeta ( $\zeta$ )**

Para las pequeñas partículas en el líquido, no hay ninguna técnica satisfactoria para determinar la carga superficial de las partículas. La práctica común consiste en determinar el potencial eléctrico de una partícula en un lugar lejos de la superficie de la partícula. Esta ubicación, relacionada con el movimiento de partículas en líquido, se denomina plano de deslizamiento o cizallamiento. El potencial medido en este plano se denomina potencial zeta que es un parámetro muy importante para coloides o nanopartículas en suspensión. Su valor está

estrechamente relacionado con la estabilidad de la suspensión y la morfología de superficie de la partícula, de manera que, a mayor potencial zeta la agregación de las partículas en el almacenamiento será menor. Entre los tres métodos existentes para la determinación del potencial zeta de las partículas en suspensión se encuentran los basados en la dispersión de la luz electroforética, métodos acústicos y electroacústicos, debido a su sensibilidad, precisión y versatilidad (Wissing *et. al.*, 2004).

#### **1.4 Atmósferas modificadas**

La técnica de conservación en atmósfera modificada consiste en empacar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida de anaquel de los productos (Gonzalez-Aguilar, 2000).

Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO<sub>2</sub> y pobres en O<sub>2</sub> los cuales reducen el proceso de respiración en los productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas (Parry, 1993).

El envasado en atmósfera modificada es un método de empaquetado que implica la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases. La mezcla de gases a emplear depende del tipo de producto. La

atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase (Parry, 1993).

#### **1.4.1 Principios y función de la atmósfera modificada en frutos frescos**

La demanda de productos de “IV Gama” está creciendo rápidamente, pero mantener la calidad del producto ha sido un problema importante (Ospina y Caratagena., 2008). Varios tipos de productos frescos varían ampliamente, desde frutas a verduras de raíz, y esos productos continúan su proceso respiratorio *post* cosecha. Es difícil conservar productos frescos de corte para el almacenamiento prolongado a causa de la respiración, la transpiración, la actividad enzimática del tejido vivo y la actividad microbiológica (Argañosa, *et al.*, 2008). La respiración implica una cadena de reacciones de oxidación-reducción, cada uno de los cuales es catalizada por una enzima específica y rompe reservas orgánicas en moléculas más simples (Kays, 1991; Fonseca, *et al.*, 2002 ).

La respiración es el principal proceso de producción de energía de las células aerobias. Consiste en la degradación oxidativa, enzimática y exotérmica de sustancias orgánicas almacenadas en las células, ricas en potencial, para transformarlas en sustancias más simples con desprendimiento de energía en formas utilizables (Wills, *et al.*, 1981)

La respiración puede ser aerobia o anaerobia. Si es de forma aerobia los

productos de la oxidación de glucosa son agua, dióxido de carbono y liberación de energía en forma de calor. Como resultado de la reacción bioquímica se presenta una pérdida de peso causada por la oxidación. Cuando no hay presencia de oxígeno la respiración es anaerobia, lo cual da lugar a un proceso fermentativo poco eficiente que forma como productos etanol y dióxido de carbono.

Cuando se decide aplicar una atmósfera modificada (MAP, por sus siglas en inglés, *Modified Atmosphere Packaging*) como método de conservación de frutas frescas cortadas es con la finalidad de disminuir la velocidad de respiración, el metabolismo, la maduración del producto, pérdidas de frescura y peso.

La modificación de la atmósfera en frutas, tiene algunos riesgos potenciales; la eliminación completa de  $O_2$  genera resultados en la respiración anaeróbica, la producción de etileno y, posteriormente, un deterioro rápido y dramático de la calidad del producto (Rodríguez y Oliveira, 2009). Además que se potencializa el riesgo de crecimiento microbiano patógeno de tipo anaerobio como el *Clostridium botulinum*. De manera que se recomienda una concentración mínima de oxígeno de 2 a 3% para evitar condiciones peligrosas para el fruto cortado (Fonseca, *et al.*, 2002).

La permeabilidad del polímero con el que se fabrica el envase es el responsable de brindar una atmósfera modificada adecuada, esto se logra si las transferencias de  $O_2$  y  $CO_2$  a través de la película son iguales a las frecuencias respiratorias del producto. El equilibrio se logra después de determinado tiempo, dependiendo de los requerimientos del producto vegetal y permeabilidad, los cuales están en función de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento, la Figura 5 ilustra esquemáticamente este panorama. Cuando se alcanza el equilibrio pueden

lograrse concentraciones alrededor del producto entre 2-5% de  $O_2$  y 3-8% de  $CO_2$ . Se ha observado que estas concentraciones son eficaces para ampliar la vida útil de una amplia gama de frutas y hortalizas retrasando los procesos de maduración y de deterioro bioquímico, tales como degradación de la clorofila, ablandamiento, oscurecimiento enzimático y disminución de los síntomas de daño por frío (Parry, 1993). La medición de la concentración de gases en la atmósfera modificada permite monitorear la velocidad de respiración del fruto conservado.

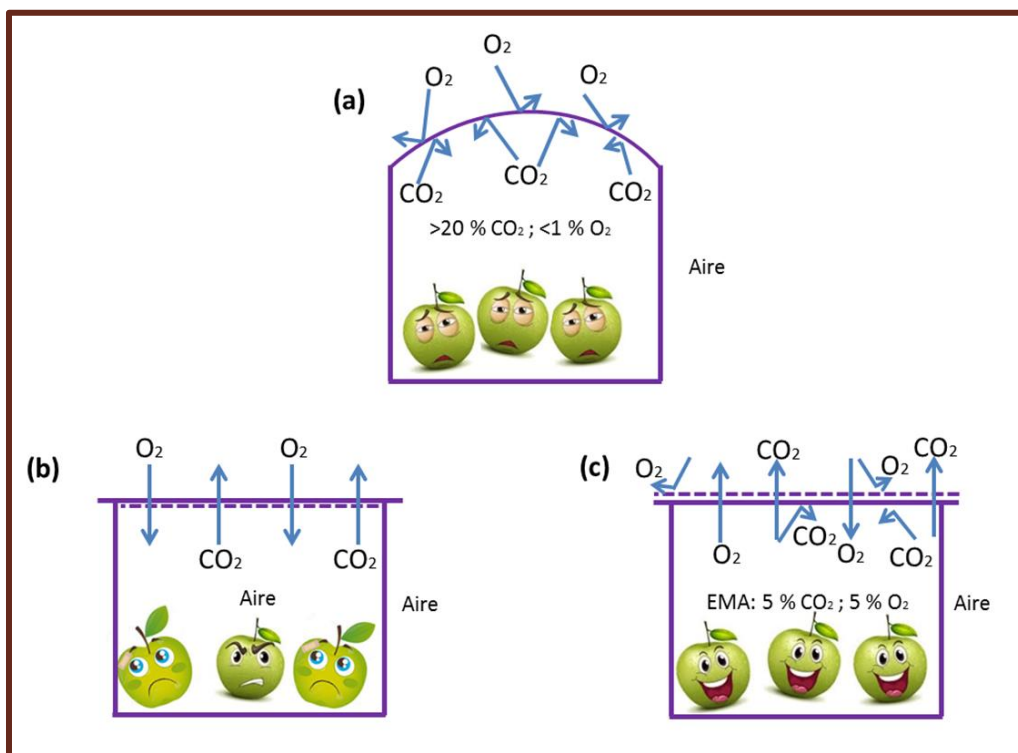


Figura 5. Representación esquemática de las tres perspectivas de los productos envasados en atmósfera modificada. (a) Película de alta barrera: condiciones anaerobias indeseables. (b) Película totalmente permeable: modificación atmosférica no deseable. (c) Película de permeabilidad intermedia: adecuada atmósfera modificada de equilibrio (AMdE) (Adaptado de Parry, 1995).

En el almacenamiento en atmósfera controlada, que es distinto al de atmósfera modificada, la actividad metabólica de los frutos se reduce mediante el control de las presiones parciales del O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, por lo general en combinación con una reducción de temperatura. Las condiciones óptimas de almacenamiento son imprescindibles: por ejemplo, la temperatura debe ser disminuida para minimizar la actividad metabólica evitando al mismo tiempo daño por enfriamiento o congelación, la presión parcial de O<sub>2</sub> debe ser disminuida con el fin de minimizar la respiración aerobia aun evitando la fermentación, mantener una elevada presión parcial de CO<sub>2</sub> ayuda a preservar el color, pero puede inducir trastornos de almacenamiento. Los factores externos pueden interrumpir, limitar o acelerar los procesos metabólicos normales y causar trastornos fisiológicos de almacenamiento (Kays, 1991). El oscurecimiento es un trastorno importante de la fruta de pera que puede conducir a considerables pérdidas económicas (Franck, *et al.*, 2007).

#### **1.4.2 Aplicación de atmósferas modificadas en frutos frescos**

El envasado en atmósfera modificada por sí solo no previene efectivamente el oscurecimiento en la superficie de corte ni la pérdida de la firmeza de los frutos frescos recién cortados. Además, las películas poliméricas usadas en esta técnica de envasado tienen algunas limitaciones debido a su estructura y características de permeación. Estas pueden promover la pérdida de agua, lo que puede resultar en cambios en la textura, translucidez, y / o deshidratación superficial, o por el contrario, pueden aumentar la formación de agua de condensación que favorecen la proliferación microbiológica (Oms-Oluj, *et al.*, 2008).



La generación de la atmósfera modificada suele darse mediante dos maneras, una es la **modificación pasiva**, en donde después de ser cosechadas las frutas y vegetales frescos continúan sus procesos metabólicos, consumen  $O_2$  y producen  $CO_2$  más vapor de agua. La modificación de la atmósfera alrededor del producto se suscita pasivamente por efecto de la respiración y la permeabilidad de la película polimérica que conforma el envase. Cuando el producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica (Infoagro, 2014). La **modificación activa** se refiere a la incorporación de ciertos aditivos en la matriz del envase o dentro del envase para modificar la atmósfera interna y prolongar la vida de anaquel del producto. Bajo esta definición, el envasado activo puede utilizar: absorbedores de  $O_2$ , absorbedores-liberadores de  $CO_2$ , liberadores de etanol y absorbedores de etileno. Esta tecnología es relativamente nueva, sin embargo los costos son más altos que la atmósfera modificada normal.

La generación de atmósferas modificadas a los productos frescos tienen varios efectos positivos: conservan la calidad del producto, ya que ralentizan la respiración, disminuyen las tasas de ablandamiento y mejorar la retención de clorofila y otros pigmentos. Además, como en otros productos, los niveles elevados de  $CO_2$  reducen la tasa de crecimiento microbiano y el deterioro. Sin embargo, el uso de MAP con productos frescos, especialmente frutas, tiene algunos riesgos potenciales; la eliminación completa de  $O_2$  genera resultados en la respiración anaeróbica, la producción de etileno y, posteriormente, un deterioro rápido y dramático de la calidad del producto (Rodríguez y Oliveira, 2009).

### 1.4.3 Gases empleados en atmósferas modificadas

Algunos microorganismos necesitan  $O_2$  para su desarrollo por lo tanto una forma de conservar los alimentos preservándolos del desarrollo de este tipo de microorganismos será ponerlos fuera del contacto del aire, por ejemplo envasándolos en atmósferas pobres de  $O_2$  lo cual se consigue por medios físicos y da lugar a otros métodos industriales de conservación: vacío, gases inertes y atmósferas controladas o atmósferas modificadas. A continuación se mencionan los gases empleados en la modificación de atmósferas:

#### 1.4.3.1 *Dióxido de carbono*

Gas no combustible, incoloro a temperatura ambiente y presión normal, con olor y sabor ácidos, soluble en agua a temperatura ambiente en relación 1/1. Se encuentra en la atmósfera en una concentración entre 300-500 ppm, más denso que el aire y más soluble en diluciones acuosas que el  $N_2$  y el  $O_2$ .

El efecto del  $CO_2$  se fundamenta en que desplaza el  $O_2$ , gas vital para muchos microorganismos y cambia las condiciones de pH en la superficie del alimento. Actúa principalmente frente a los microorganismos aerobios estrictos, los mohos son muy resistentes al  $CO_2$  y su crecimiento no puede ser totalmente detenido mediante tratamiento de  $CO_2$  a presión normal. El  $CO_2$  ejerce un efecto inhibitorio sobre el crecimiento bacteriano y fúngico, aunque su acción depende de factores como concentración en la atmósfera y la temperatura de almacenamiento ya que temperaturas bajas aumentan la solubilidad del gas tanto intra como

intercelularmente. Las altas concentraciones de gas (superiores al 20%) inducen reacciones anaerobias.

Se ha observado que altas concentraciones de este gas reducen la tasa respiratoria de frutas y hortalizas y niveles superiores de 1%, pueden inhibir la acción del etileno. El modo de acción de este gas es que compite por los sitios activos con el etileno y evita su acción fisiológica en el fruto. Sin embargo, se ha observado que algunos productos son muy sensibles al CO<sub>2</sub>, provocando daño en el tejido vegetal que se manifiesta físicamente en el producto disminuyendo su calidad *post* cosecha.

#### **1.4.3.2 Oxígeno**

Concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores a la normal (21%) existentes en el aire ambiente provocan una reducción de la intensidad respiratoria, un retraso en la maduración y un aumento de la vida comercial de los productos vegetales, siendo la respuesta más o menos pronunciada según el producto y variedad de que se trate.

Concentraciones superiores a la normal del aire, pueden o no, elevar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración. Concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 2,5% aumentan la producción de anhídrido carbónico y generan sabores y olores anormales como consecuencia del establecimiento del proceso fermentativo por falta de O<sub>2</sub>. A niveles del 1% de O<sub>2</sub> se han detectado sabores alcohólicos en manzanas, plátanos, aguacates, alcachofas y pimientos. Todo esto hace que en casos excepcionales no se recomienda el empleo prolongado de atmósferas con

concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 2%. Por otra parte, evitar el agotamiento del O<sub>2</sub> mediante la aireación en los empaques así como en el manejo adecuado de los productos en almacenamiento, es posible conociendo el estudio fisiológico para cada producto en particular. A bajas temperaturas, el efecto de un nivel bajo de O<sub>2</sub>, es menos marcado que a temperaturas altas.

#### **1.4.3.3 Nitrógeno**

El N<sub>2</sub> es un gas totalmente inerte y muy poco soluble en agua y grasas lo que le convierte en un producto ideal para la conservación de alimentos y bebidas. Por sus características fisicoquímicas el N<sub>2</sub> es utilizado en el empaque en atmósferas modificadas para reemplazar el O<sub>2</sub> del interior del envase y evitar problemas oxidativos en productos de alto contenido de grasa; otra de sus funciones es actuar como gas de relleno evitando el "colapso de envase" cuando se utilizan altas concentraciones de CO<sub>2</sub>. Es efectivo contra los microorganismos pero es inoperante contra las bacterias anaerobias. Para garantizar que dichas bacterias no se desarrollen en el empaque se utiliza una pequeña cantidad de O<sub>2</sub>.

#### **1.4.4 Ventajas del uso de atmósferas modificadas**

Las principales ventajas que ofrece la atmósfera modificada a la conservación de frutas y hortalizas son:

1. Reducción de la intensidad respiratoria y del máximo climatérico.
2. Aumento de los periodos de tiempo pre y climatérico del fruto, lo que permite realizar el envasado del mismo en un estado fisiológico más

cercano a la madurez sensorial.

3. Limitación de la pérdida de peso y disminución de los procesos de ablandamiento de los tejidos.
4. Reducción de los efectos de etileno en los frutos climatéricos y consecuentemente un retraso en el deterioro bioquímico.
5. Mantenimiento de la textura del producto.
6. Disminución más lenta de los contenidos de azúcares, ácidos y vitamina C.
7. Retraso de la degradación de clorofilas y síntesis de pigmentos (carotenoides y antocianinas).
8. Limitación total o parcial de alteraciones fisiológicas, como daños por frío, escaldado, oscurecimientos, etc.
9. Reducción del desarrollo de microorganismos, como consecuencia de la acción fungistática y bactericida del CO<sub>2</sub>.

## **CAPITULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

### **2.1 Planteamiento de objetivos**

#### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos de nanopartículas lipídicas sólidas-goma xantana y atmósferas modificadas de envasado sobre cambios de transpiración, fisicoquímicos y de textura que permitan el establecimiento de las mejores condiciones de conservación de pera fresca cortada refrigerada.

#### **2.1.2 Objetivos particulares**

##### **2.1.2.1 *Objetivo particular 1***

Inferir el efecto del envasado en atmósferas modificadas y el empleo de nanopartículas lipídicas sólidas sobre los cambios en el índice de oscurecimiento de pera fresca cortada mediante un análisis de imagen que permita el establecimiento de las condiciones que mejor controlen el cambio de color del producto.

### **2.1.2.2 *Objetivo particular 2***

Relacionar el efecto de la composición de recubrimientos a base de nanopartículas lipídicas sólidas y atmósferas modificadas sobre los cambios texturales, como parámetros indicadores de calidad en la conservación de pera fresca cortada refrigerada.

### **2.1.2.3 *Objetivo particular 3***

Analizar el efecto de la aplicación de nanopartículas lipídicas sólidas como tratamiento previo al envasado en atmósferas modificadas sobre los cambios en pH y grados Brix como indicadores de la evolución fisicoquímica del almacenamiento de pera fresca cortada refrigerada.

## **2.2 Justificación de variables**

La industria de los productos frescos cortados presenta como principal limitante de vida útil el oscurecimiento enzimático, la pérdida de propiedades texturales y la modificación de las propiedades fisicoquímicas. El propósito de este proyecto fue evaluar la tecnología de conservación de pera fresca cortada utilizando recubrimientos comestibles a base de nanopartículas lipídicas sólidas en conjunto con un agente plastificante (glicerol) para reducir la pérdida de textura y las reacciones de oscurecimiento enzimático. Este método de conservación se complementó con el envasado en atmósferas modificadas variando la

concentración de gases en el interior del envase para mantener la calidad sensorial que caracteriza a los productos mínimamente procesados. Las rodajas de pera fresca cortada fueron almacenadas a  $4 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa de  $80 \pm 5\%$  en bolsas de nylon selladas herméticamente con un contenido de  $80 \pm 10 \text{ g}$  y se envasaron en atmósfera modificada a dos concentraciones diferentes de gases. A las muestras se les determinó la tasa de transpiración, el índice de oscurecimiento, el daño superficial de la pulpa y se monitoreo el cambio en el pH y  $^{\circ}\text{Brix}$ . En la Tabla 2 se muestran los factores, niveles de variación, las variables dependientes y de respuesta así como la técnica o instrumento de medición empleados en el desarrollo experimental.

**Tabla 2.** Factores y niveles de variación

Factor de variación	Nivel de Variación	Replicas/repeticiones	Variables dependientes	Variable de respuesta	Técnica o instrumento de medición
Concentración de gases en atmósferas modificadas	Envasado con atmósfera; a) 2% O <sub>2</sub> y 10% CO <sub>2</sub> b) 5% O <sub>2</sub> y 10% CO <sub>2</sub> .	3	Cambio en las concentraciones internas de los gases	Tasa de transpiración del fruto	Analizador de humedad y punto de rocío (USB.- Datalogger)
				Pérdida de peso	Balanza Sartorius
Concentración de nanopartículas lipídicas sólidas.	0, 5 y 10 % de una dispersión al 10 % de cera	3	Cambio de coordenadas a*, b* y L*.	Índice de oscurecimiento en la pulpa	Análisis de color por imagen (Briones y Aguilera, 2005)
			Pérdida de firmeza de la pulpa	Daño superficial de la pulpa	Microscopía óptica digital y microscopía electrónica de barrido (Análisis de imagen) APT y firmeza en Texturómetro CT3
Concentración de glicerol	2 y 3 %	3	Cambios fisicoquímicos	pH	Potenciómetro
				$^{\circ}\text{Bx}$	Medidor de $^{\circ}\text{Bx}$ por refractómetro



## **2.3 Diseño experimental**

### **2.3.1 Acondicionamiento del almacén frigorífico**

El almacén frigorífico fue caracterizado con el propósito de proporcionar la temperatura deseada durante el almacenamiento de las muestras. Se manipuló el termostato para modificar la temperatura y así alcanzar los 4 °C. Se monitoreo la temperatura interna con un registrador de temperatura y humedad relativa (USB-Datalogger EI-USB-2-LCD, EUA) para obtener la historia térmica del aire. Además para evitar el incremento de temperatura debido a la carga térmica exterior durante la apertura y cierre de puertas se implementó una cortina tipo hawaiana de PVC. La temperatura en el interior se monitoreo con termómetro bimetálico (*Checktemp 1 Thermometer HANNA Instruments* fabricado en Europa).

### **2.3.2 Preparación de dispersiones para recubrimiento**

Las NLS fueron proporcionadas en el Laboratorio L-16 de Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes en Alimentos de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, y preparadas por el método de homogenización en caliente a alta velocidad empleando cera de candeuba al 10%. En la Tabla 3 se muestran los datos técnicos de las NLS empleadas en las dispersiones. A partir de esta dispersión se prepararon seis diferentes recubrimientos con base en NLS, goma xantana y glicerol. En la Tabla 4 se muestran las diferentes composiciones de las dispersiones empleadas como recubrimiento.

**Tabla 3.** Datos técnicos de las NLS.

	5% NLS	10% NLS
Diámetro de partícula (nm)	313 $\pm$ 3	308 $\pm$ 4
Índice de polidispersión	0.216 $\pm$ 0.07	0.131 $\pm$ 0.06
Potencial zeta (mV)	44.2 $\pm$ 1.1	37.8 $\pm$ 1.2

**Tabla 4.** Composición de dispersiones para recubrimiento.

	NLS	Goma xantana	Glicerol		NLS	Goma xantana	Glicerol
1	0%	0.4%	2%	4	0%	0.4%	3%
2	5%	0.4%	2%	5	5%	0.4%	3%
3	10%	0.4%	2%	6	10%	0.4%	3%

### 2.3.3 Selección y control de la materia prima

Se empleó un lote de 20 kg de pera roja importada de la variedad *Starkrimson* adquirido en la central de abastos de Cuautitlán México, el cual fue llevado para su estudio experimental al Laboratorio 16. Primeramente se seleccionaron aquellas peras que cumplieran con los parámetros físicos y de color aceptables a una maduración moderada apta para la comercialización en presentación como producto fresco cortado desechando aquellos frutos que presentaban daño mecánico o cualquier síntoma de podredumbre así como aquellos que mostraban ablandamiento en el área peduncular. Se hizo el muestreo correspondiente registrando el peso inicial de cada pera para verificar su rendimiento.

Previo a su preparación las peras seleccionadas fueron pre enfriadas por inmersión en agua a 8°C/15 min. Posteriormente fueron lavadas y sanitizadas con una solución acuosa de plata ionizada a una concentración de 500 ppm durante 3 minutos. En la Figura 6 se ejemplifica la forma en que se llevó a cabo esta operación.



Figura 6. Preenfriamiento por inmersión de peras cv. *Starkrimson*

#### 2.3.4 Cortado en rodajas

Cada pera fue cortada en cuatro rodajas transversales cuidando que el grosor de cada una sea de  $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , en esta operación se desechó el pedúnculo, el sépalo y el corazón, este último se retiró con ayuda de un descorazonador de acero inoxidable. Por ultimo cada rodaja se cortó por la mitad, quedando la forma final de semicírculo. En la Figura 7 se muestran las etapas de corte para la obtención de las rodajas de pera.

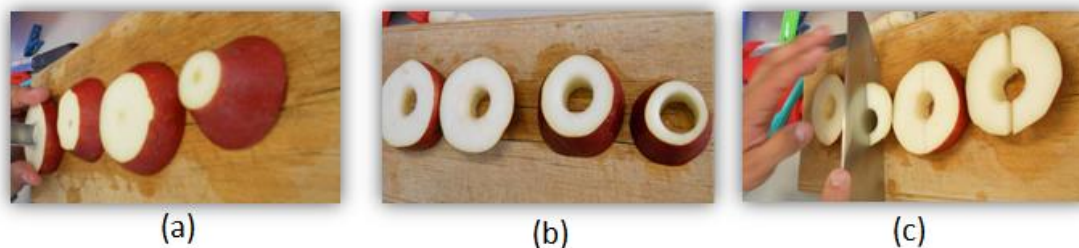


Figura 7. Etapas del cortado de pera fresca. (a) Corte transversal y eliminación de pedúnculo y sépalo; (b) Descorazonado; (c) Corte de rodajas en semicírculo.

### 2.3.5 Aplicación de recubrimiento comestible

Previo a la aplicación del recubrimiento, las rodajas de pera fueron sumergidas en una solución acuosa de cloruro de calcio por tres minutos. Posteriormente el recubrimiento se aplicó por inmersión de las rodajas de pera en las dispersiones de NLS durante tres minutos.

### 2.3.6 Envasado en atmósferas modificadas y almacenamiento refrigerado

El envasado se realizó en una selladora de vacío marca Multivac (modelo A300/16, Alemania) mostrada en la Figura 8, los envases empleados fueron de polímero tipo Nylon con dimensiones de 0.125 m por 0.129 m con baja permeabilidad al oxígeno, marca ITISA Alimentos México. En la Tabla 5 se muestran las mezclas de gases empleadas para el envasado en atmósfera modificada proporcionado por INFRA México, S.A. de C.V. Cada muestra envasada fue pesada, etiquetada, sellada y almacenada en refrigeración.

|



Figura 8. Selladora de vacío. (a) Envasadora Multivac; (b) Acomodo de envases para inyección de aire.

**Tabla 5.** Mezclas de gases para envasado en atmósfera modificada

Gas	Mezcla 1	Mezcla 2
Oxígeno	2%	5%
Dióxido de carbono	10%	10%
Nitrógeno	88%	85%

Para llevar a cabo el sellado hermético de las muestras de pera se agregó una cantidad de aproximadamente 80 g de producto, posteriormente se realizó la programación de la selladora, ajustando un desplazamiento de aire de 150 mbar, una inyección de aire de 500 mbar con un tiempo de sellado de 1.8 s. Una vez selladas las muestras fueron contenidas en un almacén frigorífico marca FRIOCIMA modelo FCD-120-G03 que fue acondicionado a una temperatura de 4°C, que es una temperatura óptima para la conservación de pera fresca cortada (Peras USA, 2014).

### 2.3.7 Determinación de pérdida de peso y tasa de transpiración

#### ***Pérdida de Peso***

La pérdida de peso se evaluó mediante la diferencia entre la masa inicial y final de cada tratamiento desde el envasado hasta el día de cada muestreo utilizando una balanza Sartorius con una precisión de 0.01 g. Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso como se muestra en la ecuación 1 (Arias, *et al.*, 2009).

$$\%Perdida\ de\ peso = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} * 100 \quad (Ec. 1)$$

#### ***Transpiración***

Para el cálculo de la tasa de transpiración fue necesario acondicionar un trozo de pera fresca cortada a diferentes condiciones de recubrimiento dentro de un frasco de cristal, el cual se encontraba herméticamente sellado, se agregaron 100 mL de una disolución de agua-glicerol al 50% p/p con la finalidad de preservar una atmósfera con alta humedad relativa de  $90 \pm 5\%$ , se colocó dentro del frasco un analizador de humedad y punto de rocío USB.-Datalogger, el cual se programó para sensar la temperatura y humedad relativa cada cinco minutos durante un periodo de cinco horas. Se registró el peso de la muestra antes y al final de la medición. La tasa de respiración se determinó de acuerdo con la ecuación 2 (Sousa, *et al.*, 2013).

$$TR = \frac{Mi - Mf}{t * \frac{Mi}{1000}} \quad (Ec. 2)$$

Dónde: TR = Tasa de transpiración (g/kg\*h); Mi = Masa inicial de la muestra (g); Mf = Masa final de la muestra (g); t = Tiempo de medición (h).

### 2.3.8 Determinación del índice de oscurecimiento

Los cambios de color fueron determinados a partir de las coordenadas L\*, a\* y b\* mismas que fueron obtenidas a través de análisis de imagen de acuerdo a la metodología propuesta por Briones y Aguilera (2005) con algunas modificaciones. Se utilizó una caja negra acondicionada con dos focos de 7 watts Smart-light de 120 volts inclinados hacia la parte inferior de la caja en un ángulo de 45°. La imagen se adquirió con una cámara digital marca *Fujifilm* de 12 megapíxeles, sin zoom, sin flash y temporizador de 10 segundos. Las imágenes se analizaron a través del programa Adobe Photoshop CC con el cual se obtuvieron los parámetros CIELAB (L\*, a\* y b\*) para después obtener el índice de oscurecimiento utilizando las ecuaciones 3 y 4 (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2014).

$$\text{Índice de oscurecimiento} = \frac{(x - 0.31)}{0.172} * 100 \quad (Ec. 3)$$

$$X = \frac{(a^* + 1.75 L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (Ec. 4)$$

### **2.3.9 Determinación del daño superficial de la pulpa**

El daño superficial de la pulpa se determinó mediante tres métodos diferentes, siendo estos microscopía óptica, prueba de firmeza y análisis de perfil de textura. Cada experimento fue realizado con el fin de observar características particulares de la textura de la pera fresca cortada en diferentes situaciones durante su historial de conservación. El análisis por microscopía electrónica de barrido fue empleado para evidenciar la presencia de NLS adheridas a la superficie del fruto fresco cortado.

#### **2.3.9.1 Microscopía óptica**

Se realizó microscopía óptica a las rodajas de pera para observar las modificaciones en la superficie del tejido vegetal asociadas a los cambios fisiológicos y enzimáticos. Se empleó un microscopio óptico USB *Digital Microscope* modelo BW 908X08 *Series* el cual se ajustó a un zoom intermedio con la luz de LED al 40%. Se tomaron tres micrografías a cada rodaja de pera y posteriormente se evaluó visualmente en que día de almacenamiento se presentó el mayor deterioro de los tejidos vegetales y cambio de color, así como la protección que brindan los recubrimientos en la superficie del fruto.

#### **2.3.9.2 Microscopía electrónica de barrido**

El método de microscopía electrónica de barrido se utilizó para visualizar el tejido



en el área de corte y detectar la adherencia de las NLS al tejido vegetal. Este método requiere de una preparación especial de la muestra la cual fue cortada en forma de laminilla cuidando de no remover el recubrimiento, después las muestras fueron colocadas en portamuestras de cobre y/o bronce y fueron sometidas a secado en una cámara de refrigeración a 11 °C durante 72 horas, posteriormente fueron llevadas a una evaporación catódica con una capa de oro (~20 nm) usando un JFC-1100 *Sputter* (JEOL, Tokio, Japón), y a continuación se observaron en un microscopio electrónico de barrido a régimen de vacío (LV-SEM, JSM 5600 LV) con una resolución de 5 nm (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2011).

### **2.3.9.3 Determinación de firmeza**

Para la evaluar la firmeza de las muestras de pera se utilizó un Texturómetro CT3 marca Brookfield empleando una celda de carga de 20 kg, el cual fue acondicionado con una sonda de punción de 0.005 m de diámetro a una velocidad de prueba de 3 mm/s, con una distancia objetivo de 50% de profundidad para obtener la firmeza de la muestra al final del ciclo.

### **2.3.9.4 Análisis de perfil de textura**

El análisis de perfil de textura se realizó en un Texturómetro CT3 marca Brookfield empleando una celda de carga de 25 kg. El Texturómetro fue acondicionado con una sonda de compresión de 0.038 m de diámetro a una velocidad de 0.001 m/s. El equipo se programó para realizar dos ciclos de compresión a una distancia objetivo de 2 mm de profundidad. Los datos obtenidos fueron dureza, cohesividad

y elasticidad. (García-Loredo, *et al.*, 2013).

### **2.3.10 Medición de sólidos solubles**

Los sólidos solubles fueron medidos con un refractómetro marca HANNA Instruments modelo HI96801 el cual se calibró con agua destilada al inicio de cada muestreo. Previo a la medición, la muestra fue sometida a trituración para extraer el jugo concentrado del tejido vegetal de la pera.

### **2.3.11 Medición de pH**

El pH se midió con un potenciómetro marca HANNA Instruments modelo pH 213. El potenciómetro se calibró con dos soluciones amortiguadoras a pH de 4 y 7, respectivamente. El pre tratamiento de las rodajas de pera fue el mismo que en el caso de la medición de sólidos solubles.

## **2.4 Tratamiento estadístico**

Todas las mediciones se realizaron por triplicado, se utilizó un diseño de experimentos factorial completo general. Los resultados fueron analizados mediante un modelo lineal general de análisis de varianza (ANOVA) considerando un nivel de significancia ( $P = 0.05$ ) mediante un software estadístico MINITAB 16.

### CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Pérdida de peso

La pérdida de masa de las rodajas de pera durante el almacenamiento a 4 °C se muestra en la Figura 9 a y b, se aprecia el comportamiento de pérdida de peso con 2 y 3% de glicerol en el recubrimiento. Los valores reportados son el promedio del porcentaje de pérdida de masa en tres muestras en cada punto de la curva. Se observa que después del envasado, las muestras presentan una pérdida promedio de entre 1 y 1.5% debido a la exposición del tejido vegetal a un ambiente con una humedad relativa inferior, provocando una pérdida de peso, que es dependiente de las características de permeabilidad del tejido (Zhou, *et al.*, 2008).

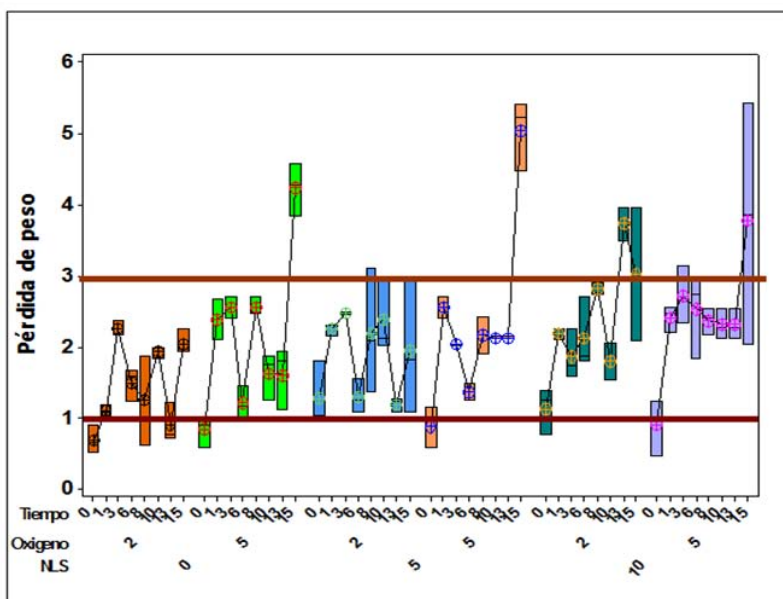


Figura 9 (a). Pérdida de peso en pera fresca cortada con 2% de glicerol.

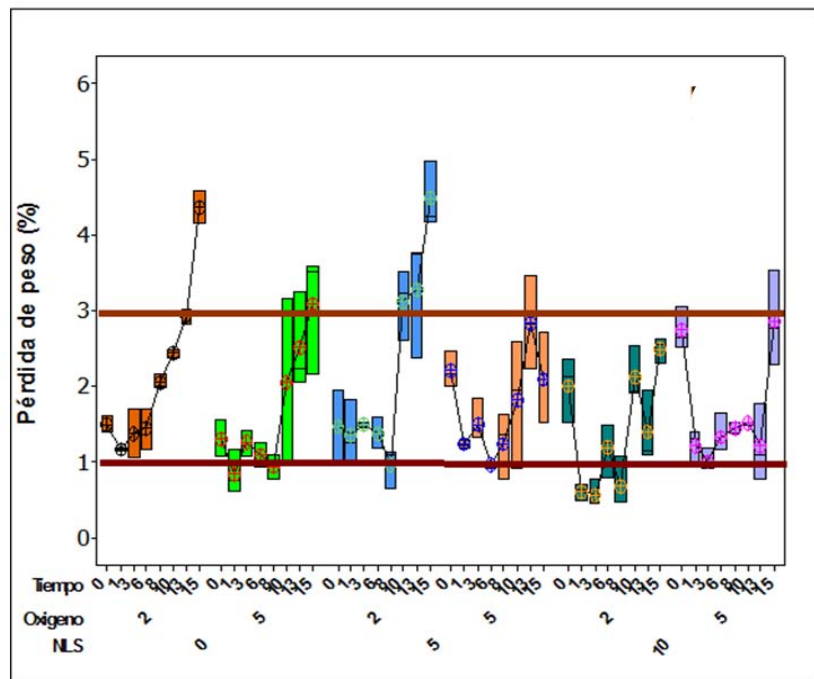


Figura 9 (b). Pérdida de peso en pera fresca cortada con 3% de glicerol.

Las muestras control presentaron una pérdida de peso superior en comparación con el resto de los tratamientos. Dichos porcentajes de pérdida de peso se encontraban en un promedio de 2.2% durante el periodo de conservación. A diferencia de los tratamientos recubiertos, tanto para el 2 y 3% de glicerol, la pérdida de peso se encontró en un rango de 1 y 3%, observándose que la mayoría de los tratamientos se ubicaron en porcentajes inferiores al 2%. El bajo índice de pérdida de peso es consecuencia de que el ambiente en el que se encuentran envasadas las muestras no genera estrés abiótico representativo, causal de una mayor pérdida de peso (Toivonen y Brummell, 2008).

Las muestras al 3% de glicerol presentaron un descenso el segundo día de almacenamiento con respecto al primero, esto representa un cambio notorio en el efecto de la composición de los recubrimientos ya que se manifiesta una mejor barrera de vapor de agua con 3% de glicerol. Para el día 15 los porcentajes de pérdida de peso se incrementaron para las muestras almacenadas al 2% de oxígeno en atmósfera modificada llegando a valores de entre 3.8 y 4.5%. El aumento en la pérdida de peso se debe principalmente a la transpiración del fruto, la cual se ve incrementada a medida que la concentración de oxígeno reduce con el paso de los días, reflejando el daño fisiológico en la liberación de agua en el envase.

El recubrimiento que presentó menores porcentajes de pérdida de peso en las rodajas de pera fresca fue el que se formuló con 3% de glicerol con 10% de NLS a 5% de O<sub>2</sub>, mostrando valores inferiores al 2%. Con este resultado se puede inferir que a medida que aumenta la distribución de las partículas submicrónicas se puede reducir la pérdida de peso de la muestra con lo que se favorece la preservación del fruto fresco. Olivas, *et al.*, (2007) mencionaron que si los recubrimientos no contienen lípidos en sus formulaciones presentan un retraso en la pérdida de peso, aunque es bien sabido que los hidrocoloides presentan baja capacidad como barreras de vapor de agua en alimentos con elevada actividad de agua. Sin embargo, para el caso de las rodajas de pera, los recubrimientos de NLS, con goma xantana y glicerol, realizaron una buena función de barrera de vapor de agua dado que los datos índices de pérdida de peso se colocaron por debajo del 2%. Este efecto es atribuible a que el calcio adicionado forma puentes iónicos con los grupos carboxílicos del ácido galacturónico presente en las pectinas. Además también se considera que la capacidad de las películas conformadas de hidrocoloides funcionan como buenas barreras de vapor a medida que la solubilidad en agua disminuye (Fennema, 1989; Olivas, *et al.*, 2007).

Estudios previos indicaron que la pérdida de peso de aproximadamente 3 a 5% conduce a un arrugamiento superficial de la pulpa. Para el caso de las uvas un 5% de pérdida de peso se considera un límite aceptable normal (Bai, *et al.*, 2003). Sin embargo para el caso de las peras *cv. Starkrimson* de este estudio, durante el almacenamiento no se presentó ningún ablandamiento superficial de la pulpa así como tampoco en las muestras control.

### **3.2 Tasa de Transpiración**

En la Figura 10 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos en la superficie de pera cortada en función de la concentración de NLS y de glicerol, en esta se observa que la mayor tasa de transpiración fue para las muestras control. El resto de los tratamientos presenta una tendencia de pérdida de agua del fruto decreciente a medida que la concentración de NLS aumenta en presencia del agente plastificante, esto debido a la naturaleza hidrófila del glicerol que le da la capacidad de formar puentes de hidrogeno con el agua que se encuentra en el medio, que en este caso es el corte de pera fresca.

Los valores de la tasa de transpiración para las muestras con 2% de glicerol y 0% de NLS promediaron 3.7 g/kg h. Este valor representa una tasa de transpiración elevada pero es común que se proyecte de esta manera ya que el fruto carece de pericarpio (Mahajan, *et al.*, 2008). Durante el experimento se monitoreo la humedad relativa del medio la cual oscilaba en valores de entre 84 y 86% una vez que se manifestaba constante.

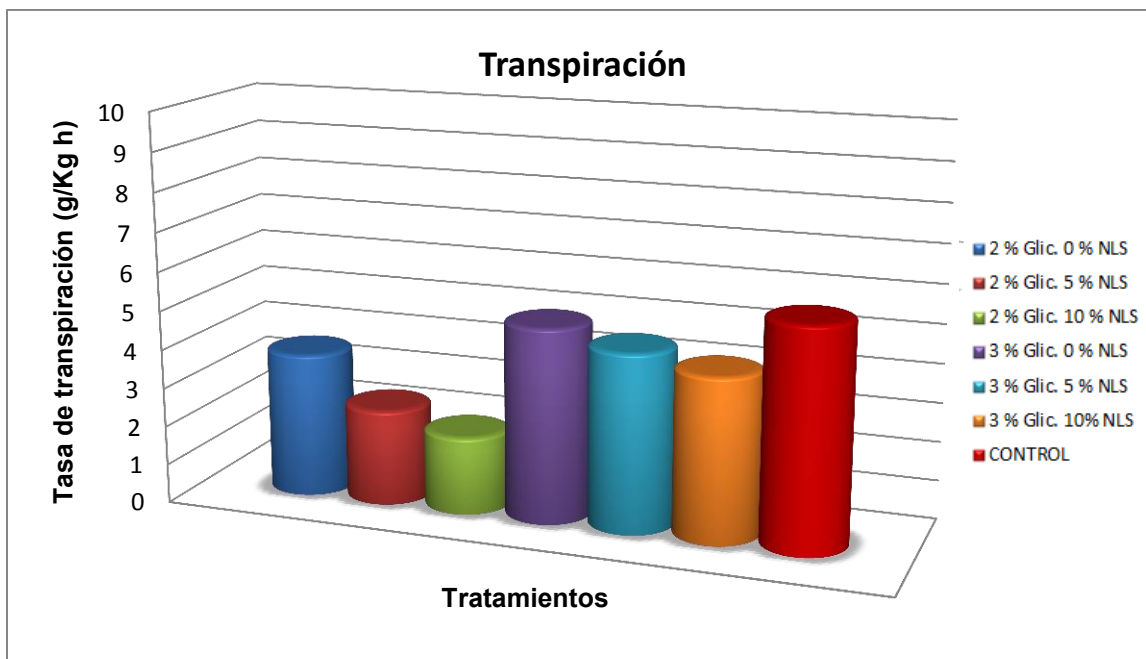


Figura 10 .Tasa de Transpiración en rodajas de pera fresca.

Para tratamientos con 2% de glicerol la tasa de transpiración se mostró reducida a medida que la concentración de NLS aumentaba, denotando valores de 2.4 g/kg h promedio para recubrimientos con 5% de NLS y de 1.9 g/kg h promedio para recubrimientos con 10% de NLS.

Las muestras con 3% de glicerol a las distintas concentraciones de NLS mostraron un comportamiento similar a la tendencia de las muestras tratadas con 2% de glicerol, es decir, a medida que la concentración de NLS era mayor, la tasa de transpiración disminuía. La transpiración adoptó valores promedio de 5, 4.5 y 4.2 g/kg h a una concentración de NLS de 0, 5 y 10% respectivamente. Este comportamiento es atribuible a que la permeabilidad al vapor de agua del recubrimiento aumenta en función de la concentración de glicerol y de las NLS (Chiumarelli y Hubinger, 2014).

Los recubrimientos comestibles, en cualquiera de sus distintas formulaciones fueron capaces de reducir las tasas de transpiración hasta 50% para el caso de los tratamientos al 2% de glicerol y 19.4% para los de 3% no mostrando variación significativa ( $\alpha = 0.05$ ) entre los tratamientos con NLS.

### **3.3 Mediciones de color**

#### **3.3.1 Parámetros $L^*$ , $a^*$ y $b^*$**

Uno de los principales problemas que presenta la conservación de fruta fresca cortada durante el almacenamiento es el oscurecimiento enzimático del tejido vegetal, lo que limita el tiempo de conservación de las rodajas de pera fresca cortada. El parámetro luminosidad ( $L^*$ ) se ha utilizado como buen indicador de las reacciones de oscurecimiento. En las Figura 11 se muestran los cambios de  $L^*$  para los tratamientos con recubrimiento al 2 y 3% de glicerol. Resaltándose con un círculo rojo aquellas que tuvieron la menor pérdida de luminosidad.



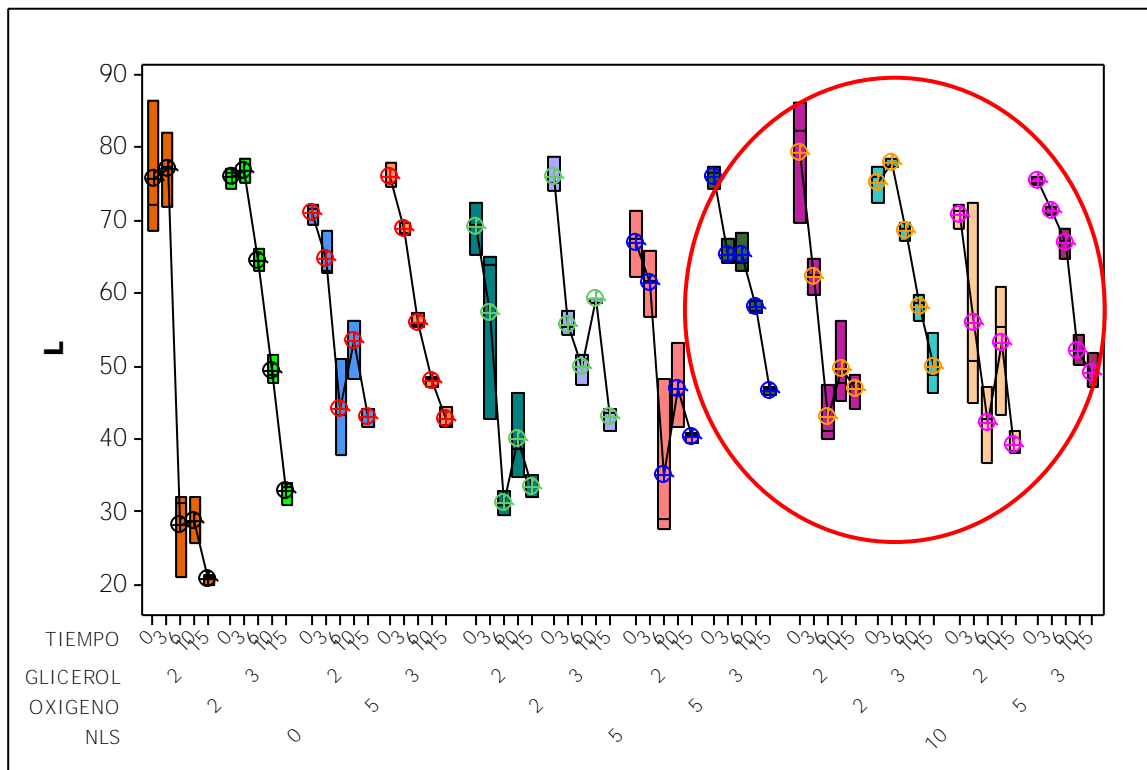


Figura 11. Cambios de Luminosidad (L\*) en función a las variables seleccionadas en el procesamiento y almacenamiento.

En los tratamientos con 2% de glicerol la luminosidad presentó valores iniciales de entre 65 y 84 unidades, estos valores mostraron un descenso gradual durante el periodo de almacenamiento. Los valores finales de L\* en el día 15 de almacenamiento se encontraban en un rango de entre 22 y 46 unidades. Las NLS permitieron que la variación de la luminosidad de las fuera mínima por mayor tiempo, comparado con los tratamientos al 0% de NLS, que con 2% de oxígeno, presentaron un descenso elevado a partir del día 6 de almacenamiento llegando a las 38 unidades de L\*. Un comportamiento similar es reportado por Robles Sánchez *et al.*, (2013) en magos frescos cortados *cv. Kent*, en donde a partir del día 6 de conservación se presentan descensos mínimos en la variación de L\* en los tratamientos de mango pretratado con ácido ascórbico y cloruro de calcio.

Los tratamientos al 3% de glicerol presentaron valores iniciales de  $L^*$  de entre 75 y 85 unidades. Es en esta concentración de glicerol donde se aprecia que las muestras tratadas con 10% de NLS y 5% de oxígeno preservaron el valor de  $L^*$  por más tiempo, reportando valores cercanos a 45 unidades para el día 15 de conservación.

Este resultado es semejante a estudios realizados previamente (Pastor Navarro, 2010; Pérez y Jong, 2014 y Özden y Bayindirli, 2002)), en donde la aplicación de atmósferas modificadas y recubrimientos comestibles, inhiben el oscurecimiento enzimático de la fruta fresca cortada, lo cual se aprecia al comparar los valores de  $L^*$  de las muestras control, que se perfilaron por debajo de las muestras con recubrimiento comestible y atmósferas modificadas. El oscurecimiento de las rodajas de pera fresca cortada está relacionado con el aumento de la actividad de las enzimas polifenoloxidasas resultando en una disminución de  $L^*$ , así como un aumento de 40% en la producción de pigmento color café (Xiao, *et al.*, 2010). Un comportamiento similar lo reportó Gomes *et al.* (2014) obteniendo una reducción de 30% en el valor de  $L^*$  en el día 12 de almacenamiento en manzanas frescas cortadas pretratadas con partículas de óxido de zinc.

En la Figura 12 se muestran las variaciones del parámetro  $a^*$ , para tratamientos al 2 y 3% de glicerol. Este parámetro indica el cambio de color de verde (valores negativos) a rojo (valores positivos). Las muestras tratadas con 2 y 3% de glicerol mostraron el mismo comportamiento de  $a^*$  con respecto al tiempo. Este valor ascendía de negativo a positivo, lo que indica que existe un oscurecimiento representativo en la pulpa de la fruta.

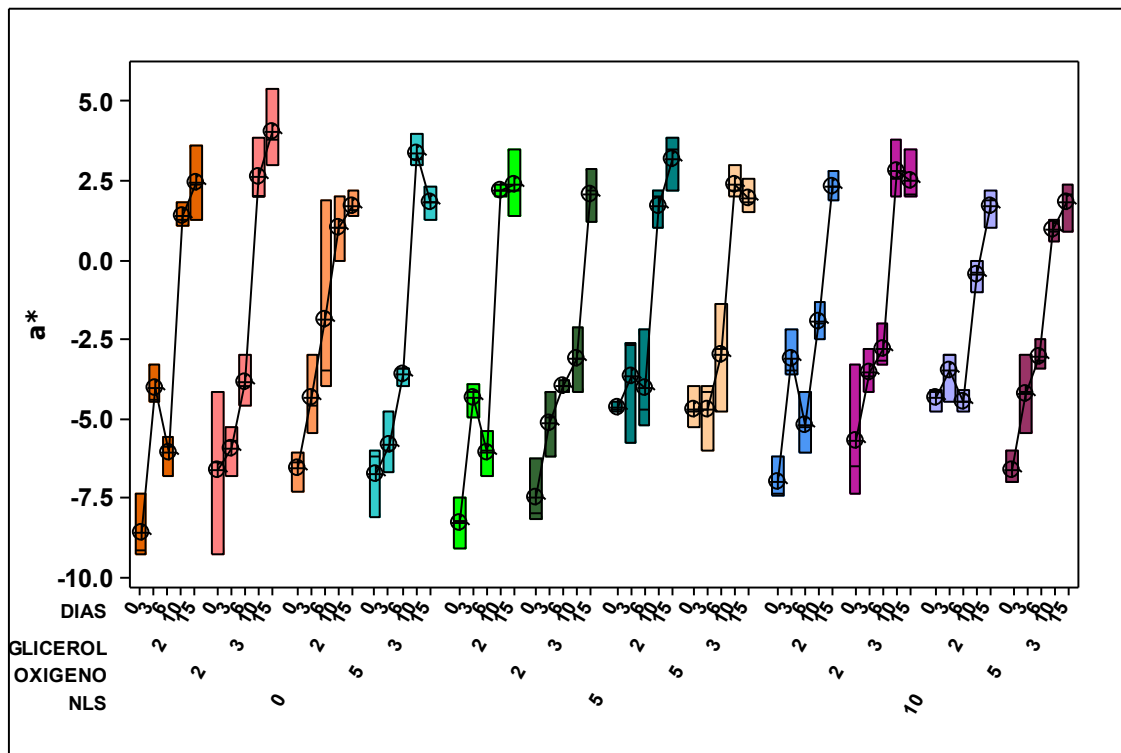


Figura 12. Cambios en valor de  $a^*$  como una función de las condiciones de tratamiento.

Para las muestras de 2% de glicerol se mostró que el valor de  $a^*$  se encontraba en valores negativos durante los primeros 6 días de almacenamiento. Teniendo en este día un punto crítico de cambio de color, según lo que indica este parámetro. El tratamiento que presentó menor valor de  $a^*$  fue el de 5% de oxígeno y 10% de NLS permaneciendo negativo hasta el día 10 de almacenamiento.

Las muestras control y las tratadas con 3% de glicerol, mostraron anticipadamente el punto crítico de cambio de color, en comparación con las tratadas al 2% de glicerol. Los valores de  $a^*$  al final del periodo de almacenamiento fueron superiores para las muestras al 3% de glicerol, teniendo como mejor tratamiento, las muestras tratadas con 5% de oxígeno y 10% de NLS.

El parámetro  $b^*$  mide las variaciones de color amarillo (valores positivos) y azul (valores negativos). Los valores de  $b^*$  mostraron variaciones mínimas, pero tendencias similares entre los distintos tratamientos durante el periodo de conservación, como se aprecia en la Figura 13. Sin embargo, estos cambios no representan un cambio de color significativo ( $p \leq 0.05$ ) en tratamientos al 2 y 3 % de glicerol.

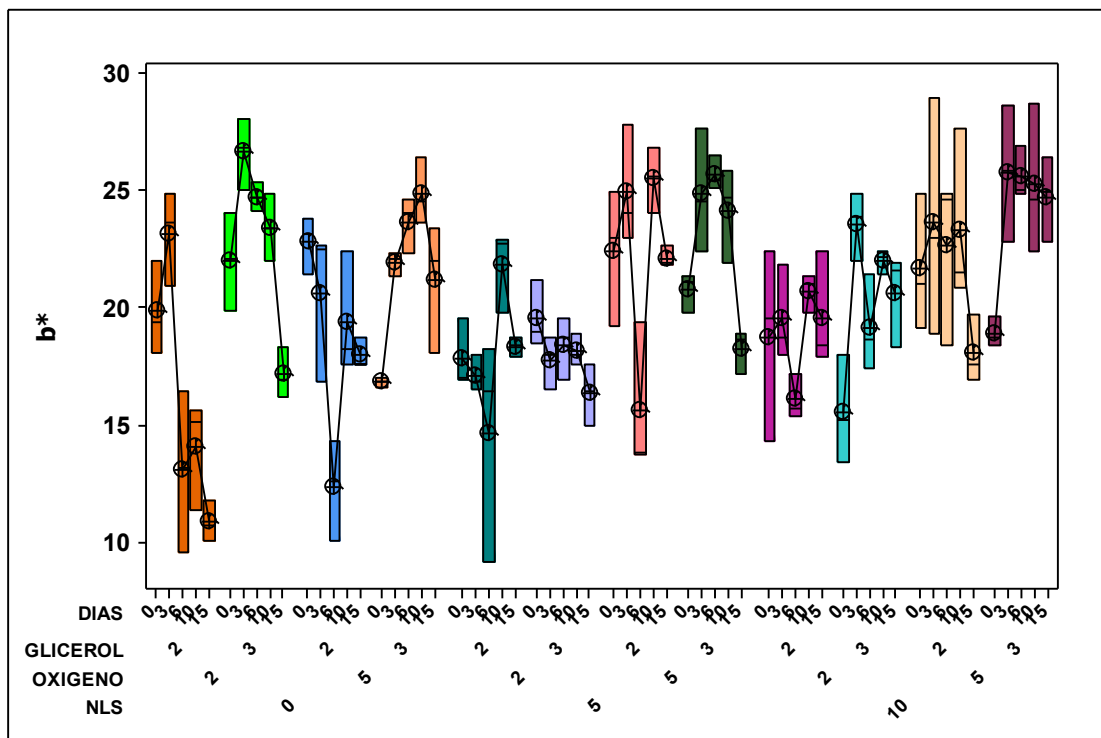


Figura 13. Cambios en los valores de  $b^*$  en pera fresca cortada refrigerada en función de las condiciones de tratamiento.

El cambio que presenta el parámetro  $b^*$  se muestra reflejado en el parámetro  $L^*$  y por ende deberá modificar el índice de oscurecimiento de la pera fresca cortada. Siendo de suma importancia la determinación de  $b^*$  para calcular el índice de oscurecimiento. La variación de este parámetro no implica un cambio

representativo en el oscurecimiento de la pulpa de la fruta fresca cortada. Sin embargo los resultados positivos en el valor de  $b^*$  sugieren que el recubrimiento comestible ayuda a preservar el sutil tono amarillo que presentan las frutas al momento de ser cortadas (Soliva y Martín, 2003).

### 3.1.2 Índice de oscurecimiento

El índice de oscurecimiento mide la pureza del color marrón, y se considera un parámetro necesario en la evaluación del color. En la Figura 14 se muestra el comportamiento del índice de oscurecimiento durante el periodo de almacenamiento para rodajas de pera en función al tratamiento realizado. Se observa que las muestras sin NLS mostraron la mayor capacidad de oscurecimiento existiendo diferencia entre las muestras al 2 y 3% de glicerol. El índice de oscurecimiento presentó poca variabilidad durante los primeros ocho días de almacenamiento, sin embargo fue mayor para las muestras con 3% de glicerol y 5% de oxígeno sin NLS, disminuyendo cuando la concentración de glicerol fue de 2% con 5% de oxígeno. El tratamiento que presentó menor índice de oscurecimiento fue el de 3% de glicerol, 2% de oxígeno y 10% de NLS, dónde la media de los valores en el periodo de conservación era de 37%, encontrándose diferencia significativa con respecto a las medias de los demás tratamientos. Una tendencia similar la reportó Zambrano-Zaragoza *et. al.* (2014) cuando empleó una dispersión de nanocápsulas con mucilago de nopal, con la cual logró reducir la actividad de las enzimas PFO en manzanas frescas cortadas cv. “Red Delicious” obteniendo una media de 29% de índice de oscurecimiento durante 20 días de conservación. Además resaltó que gracias al empleo de sistemas nanoparticulados se logra reducir la actividad enzimática polifenoloxidasasa hasta 62%, evidenciando así la eficacia que brinda la reducción de tamaño de partícula.

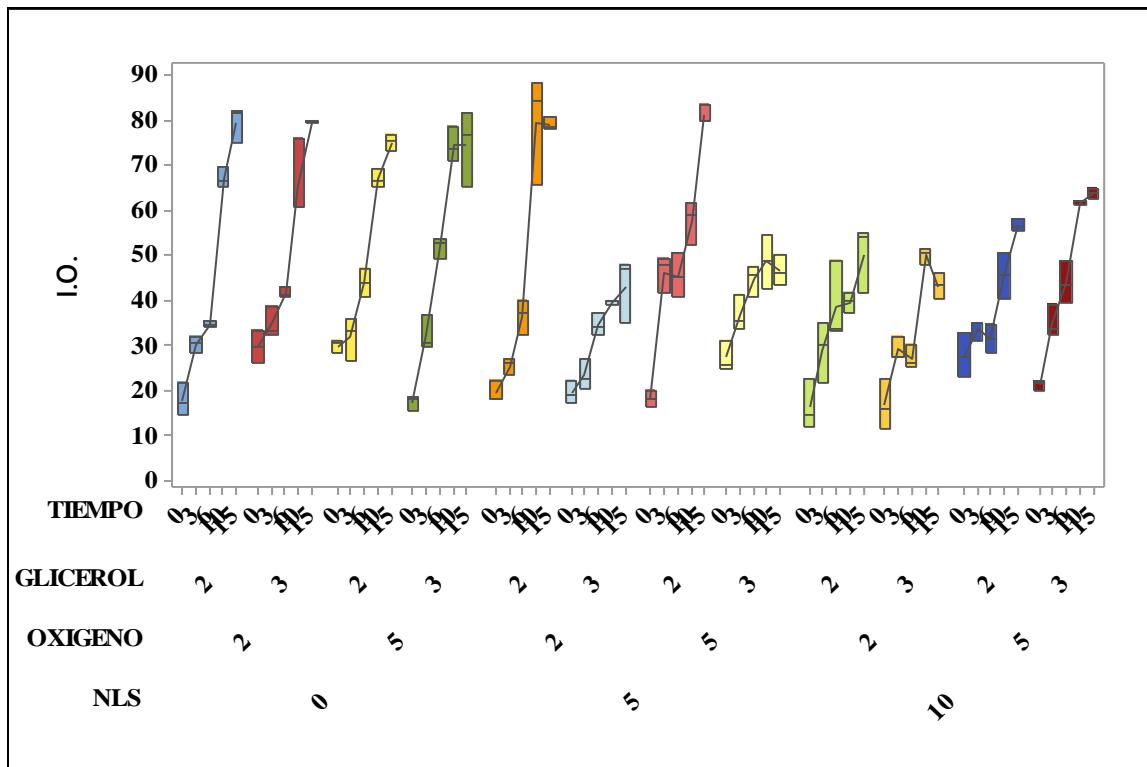


Figura 14. Índice de oscurecimiento en pera fresca cortada en función de las condiciones de tratamiento.

En las muestras tratadas con 3% de glicerol, se observa que los tratamientos con MAP y NLS presentaron porcentajes inferiores de índice de oscurecimiento que los tratamientos con 0% de NLS, impidiendo que la pulpa de pera oscureciera sustancialmente. A este beneficio se suma la naturaleza protectora del recubrimiento, que en contacto con el fruto reduce la cantidad de oxígeno disponible para el metabolismo celular y la actividad enzimática.

El índice de oscurecimiento obtuvo valores iniciales de entre 18 y 30% para todos los tratamientos. Durante las primeras 24 horas de almacenamiento el índice de oscurecimiento incrementó de 6 a 10% más con respecto a los valores iniciales para todos los tratamientos en general, siendo las muestras control las registran

un incremento acelerado durante las primeras 24 horas llegando hasta 48%. Gomes, *et al.*, (2014) reportaron valores máximos de índice de oscurecimiento de 75% promedio para trozos de melocotón y nectarina durante las primeras 24 horas. En la Figura 15 se muestra el diagrama de Pareto en función a los efectos estandarizados con un  $\alpha = 0.05$ , donde se muestra que la concentración de NLS es el factor de mayor influencia en el desarrollo de oscurecimiento en rodajas de pera frescas cortada, seguidas por la concentración de glicerol y finalmente la interacción entre la concentración de NLS y oxígeno en la atmósfera modificada generada. El factor oxígeno muestra un efecto mínimo dado que el nivel de variación (2 y 5%) en las concentraciones de envasado en MAP no mostró contundencia en los resultados obtenidos.

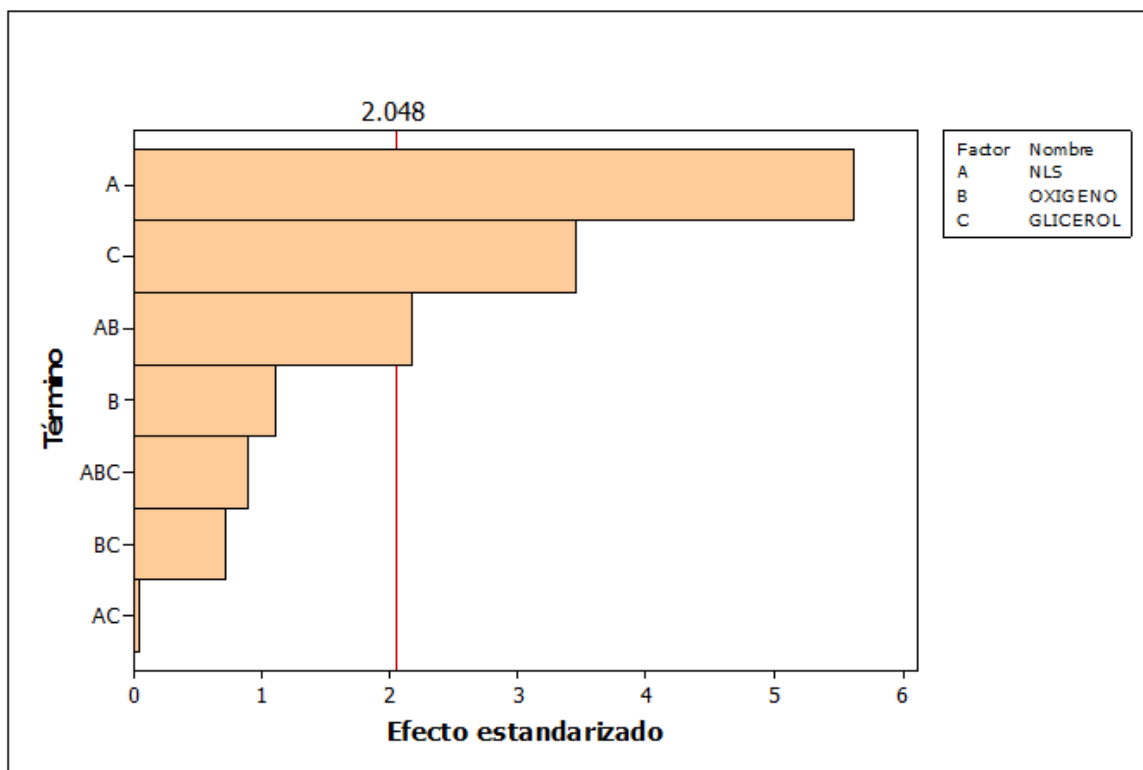


Figura 15. Efectos estandarizados para los factores considerados en el diseño, a los 15 días de almacenamiento ( $\alpha = 0.05$ ).

### 3.2 Análisis de perfil de textura

La prueba de análisis de perfil de textura (APT) se fundamenta en la imitación del proceso de masticación y se basa en la aplicación de dos ciclos de compresión que se grafican en una curva fuerza contra tiempo. A través de la prueba de APT se puede analizar diversas propiedades de textura de los alimentos, como por ejemplo, la dureza, cohesividad y elasticidad (Barroca y Guiné, 2013).

En la Figura 16 se muestra el comportamiento de la dureza durante el ensayo de APT para los 15 días de almacenamiento considerando el efecto de los factores analizados (glicerol, NLS y oxígeno), se observa que la mayor pérdida de dureza la tuvieron las muestras sin NLS tratadas con 2% de oxígeno y 5% de glicerol. Para el caso del 2% de glicerol se encontró que las muestras que presentaron mayor dureza son las tratadas con 2% de oxígeno y 5% de NLS con una media cercana a los 100 N, este valor permaneció con variación mínima hasta el día 8 de almacenamiento. Para el día 10 este valor obtuvo un descenso hasta los 80 N, lo cual representa una notable pérdida de dureza, y por ende, una disminución notoria de la calidad textural. Además es importante resaltar que en la prueba de compresión las muestras tratadas con 10% de NLS tuvieron menores variaciones en la dureza.

Las muestras control presentaron un comportamiento constante durante los primeros 10 días de almacenamiento, pero a diferencia del resto de los tratamientos, el control presentó valores iniciales de cercanos a 80 N. La ausencia de oxígeno en el interior de los envases provocó que las muestras de presentaran una severa disminución de su dureza llegando a valores de entre 4 y 6 N.



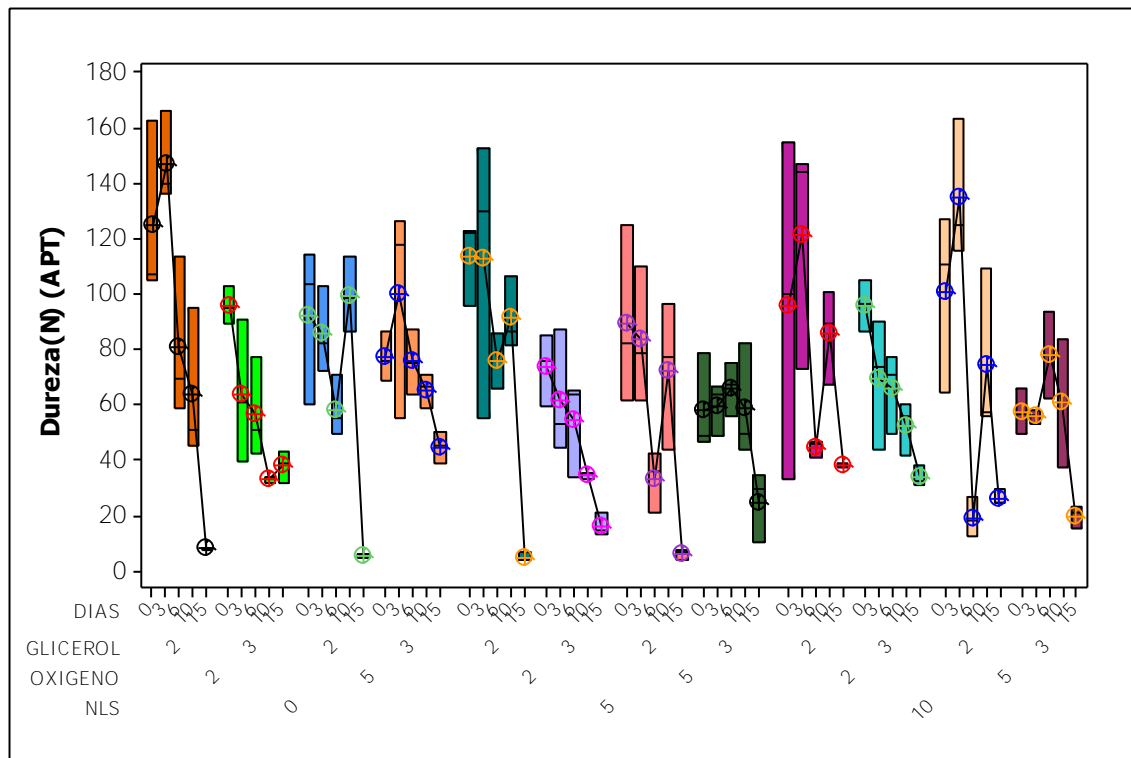


Figura 16. Cambios en Dureza obtenido del análisis de perfil de textura para rodajas de pera en función a las condiciones de almacenamiento.

A partir de las gráficas de dureza obtenidas con el APT, se observa que las muestras tratadas con 3% de glicerol generan un ambiente que promueve la conservación de las rodajas de pera, conservando por mayor tiempo sus características en función a la dureza obtenida por APT. Se aprecia que a mayor proporción de glicerol la disponibilidad de oxígeno en el fruto se ve reducida generando una menor degradación de los componentes de la pera, logrando así ralentizar el metabolismo celular provocando un retardo en la pérdida de textura.

En la Figura 16 se observa a su vez, que al día 15 de almacenamiento, el mejor tratamiento fue el de 3% de glicerol, 2% de oxígeno y 10% de NLS, este

tratamiento logró preservar su dureza de manera similar a los tratamientos con 3% de glicerol y 0% de NLS. Aunque este resultado pueda orientar a la deducción de que las NLS no fueron efectivas en la preservación de dureza, se tiene que recurrir a comparar los resultados de dureza con los de índice de oscurecimiento para constatar que tratamiento resultó más eficiente en la conservación de la fruta fresca.

La Figura 17 representa los cambios de cohesividad para rodajas de pera en función al análisis de perfil de textura. Este parámetro es una medida de la deformación que puede sufrir la muestra antes de su ruptura. Se define como la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Se calcula como el área total bajo la curva del segundo ciclo de compresión entre el área total bajo la curva en el primer ciclo. Representa también una medida del grado estructural del material, en este caso, indica la magnitud de la fuerza con la que se encuentran atraídas entre sí las células que conforman el tejido vegetal (Schouten, 2010).

Soliva y Fortuny (2002) reportan que empleando una atmósfera modificada con 100% de N<sub>2</sub> se logra retener en mayor cantidad la dureza de la fruta que con atmósferas en bajas concentraciones de oxígeno ya que el daño oxidativo provoca una reducción de la integridad física de la membrana celular liberación de agua a los espacios intercelulares reduciendo la dureza de la pulpa hasta 50%.

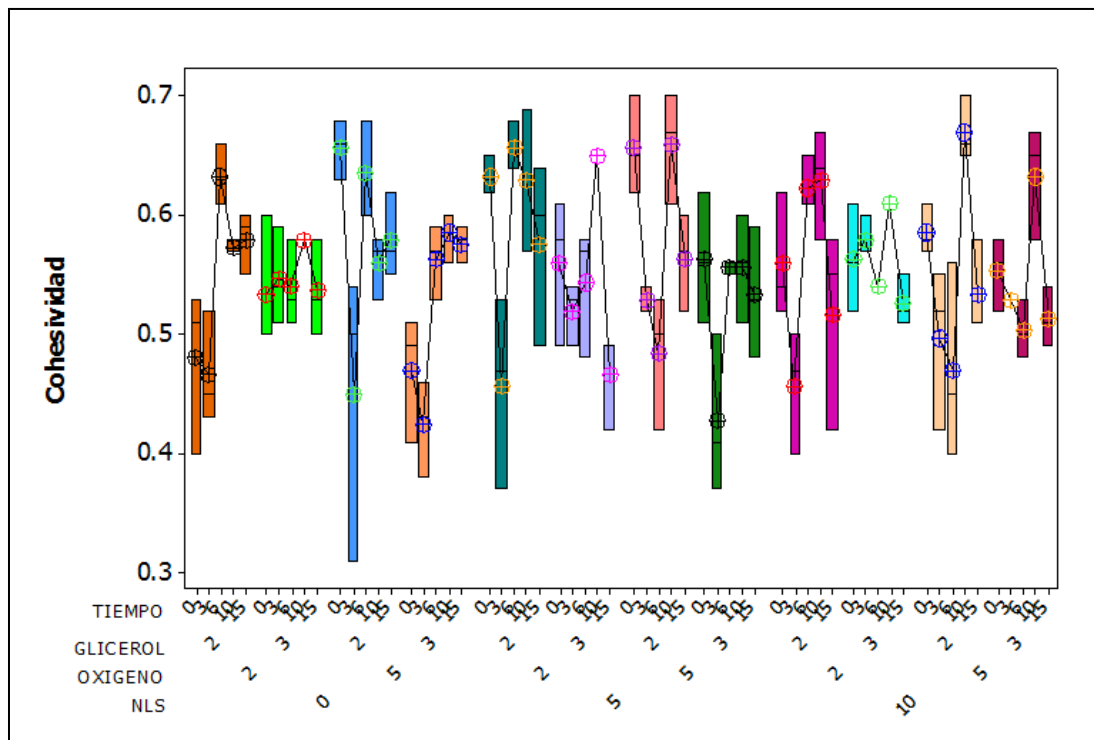


Figura 17. Cambios en cohesividad en rodajas de pera en función al tratamiento, envasado y condiciones de almacenamiento.

Las muestras tratadas con glicerol al 3% y envasadas con 2% de oxígeno fueron las que tuvieron menor variación de cohesividad. Los tratamientos con 2 y 3% de glicerol, permanecieron en niveles aproximados a los registrados al inicio en el día de envasado. Para ambas condiciones el valor de la cohesividad se encontraba entre 0.4 y 0.7, a partir de este rango se presentaron algunas variaciones durante el periodo de almacenamiento, siendo estas más evidentes en las muestras con 2% de glicerol. Este efecto surge en consecuencia de que las células vegetales presentan una disminución de fuerza intracelular, dado que si el plastificante se halla en menor proporción en la superficie de corte de las rodajas de pera, permiten que la mayor disposición de los contenidos celulares liberados aceleren los procesos metabólicos celulares, causando así el ablandamiento de paredes celulares que se produce gracias a la degradación de membranas, orgánulos

celulares y proteínas (Toivonen y Brummell, 2008). Estos efectos negativos causados en la pulpa de la fruta se pueden evidenciar en el análisis de microscopia óptica digital, en donde se visualizan los cambios de color y textura que tuvieron las muestras.

Otra propiedad de textura que permitió medir la prueba de APT fue la elasticidad. Este parámetro indica la capacidad que tiene un material para regresar a su forma original una vez que la fuerza de deformación es retirada. En términos texturales, es considerada como una medida de recuperación de la altura una vez que termina la compresión en la masticación (Xiao *et. al.*, 2010). En la Figura 18 se muestran los gráficos de elasticidad obtenidos durante la prueba.

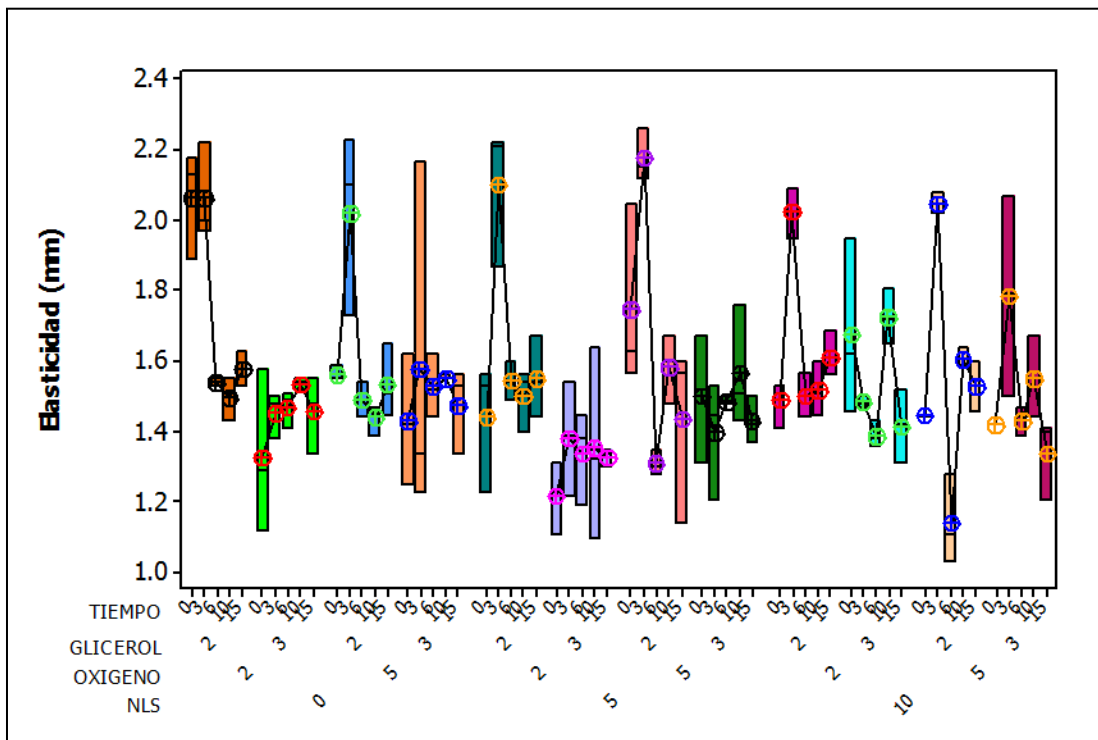


Figura 18. Cambios en elasticidad en rodajas de pera en función al tratamiento, envasado y condiciones de almacenamiento.

Las curvas de elasticidad muestran que esta propiedad permaneció en valores cercanos a los iniciales en el día de envasado. Las variaciones de elasticidad oscilaban entre 6 y 13% de recuperación de altura de la muestra. Esta variación se asume como mínima considerando que el tamaño de la muestra fue de 18 mm  $\pm$ 1.5, para todos los tratamientos. De manera que no es posible inferir que la pérdida de dureza provoca una disminución de la elasticidad de las muestras.

### 3.3 Prueba de punción

La punción se caracteriza por la medición de la fuerza bajo una distancia de penetración establecida. En este tipo de pruebas están involucradas fuerzas tanto compresivas como de cizalla.

La Figura 19 muestra los cambios de firmeza asociados al tratamiento de las rodajas de pera en función al tiempo de almacenamiento, observando mayores cambios de firmeza en muestras sin tratamiento con NLS cuando se emplea 3% de glicerol y 2% de oxígeno, resaltándose que la combinación 3% de glicerol y 5% de oxígeno muestra mayores variaciones en la firmeza respecto al resto de las muestras sin tratamiento con NLS. Además en el recuadro rojo y verde se resaltan los tratamientos con 2% y 3% de glicerol, 10% de NLS y 2 y 5% de oxígeno, que mostraron una reducida variación en la firmeza, con valores de entre 20 y 25 N durante 13 días de almacenamiento.

Para el día 15 se registró un descenso en el valor de la firmeza llegando a valores cercanos y por debajo de 15 N en todas las muestras con 10% de NLS.

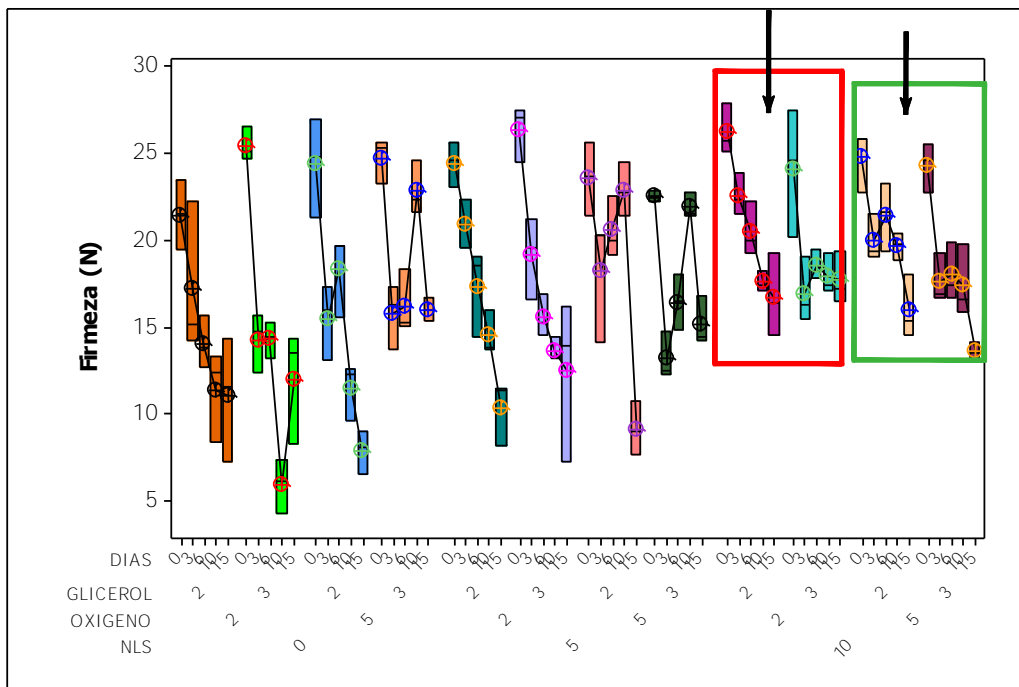


Figura 19. Cambios en firmeza en rodajas de pera en función al tratamiento, envasado y condiciones de almacenamiento

Las muestras que se recubrieron con 3% de glicerol presentaron una firmeza similar a las muestras control mostrando un comportamiento prácticamente constante durante todo el periodo de conservación con una firmeza promedio de 16.8 N. El tratamiento con 0% de NLS y 2 % de oxígeno presenta una pérdida de firmeza a partir del día 10. Esta pérdida de firmeza de la pulpa es atribuida a que las peras son más susceptibles a la pérdida de adherencia intracelular, causada por el rompimiento de paredes celulares, ablandamiento de tejidos vegetales, degradación de pectinas y liberación de enzimas (Toivonen y Brummell, 2008). De manera que el tratamiento que mejor preservó la firmeza de las muestras fue el de 5% de oxígeno y 10% de NLS, aun para las dos concentraciones de glicerol.

### 3.4 Análisis por microscopía óptica

Los cambios asociados al efecto del cortado de pera en rodajas fueron observados por microscopía óptica digital. En las Figuras 20 y 21 se muestran los cambios superficiales de la pulpa de pera una vez que fueron cortadas, recubiertas y envasados a diferentes concentraciones de oxígeno. En las micrografías presentadas se observa el daño estructural de las muestras con los tratamientos al 2 y 3% de glicerol. Durante el periodo de almacenamiento. Los efectos de la ruptura celular que dan como consecuencia la migración de componentes celulares a la superficie del producto pueden apreciarse mediante el estudio de microscopía óptica.

Las micrografías obtenidas muestran que la estructura superficial de la fruta presenta una mínima presencia de tonalidad café durante los primeros ocho días de almacenamiento, debido a que el recubrimiento forma una capa protectora que proporciona una reducción en la respiración celular y actividad enzimática por la disminución de la disposición de oxígeno. Las micrografías reflejan la presencia de exudado en la superficie de las muestras control, en cambio para las muestras recubiertas con glicerol y NLS se muestra la presencia de exudado más el recubrimiento. Dicho exudado genera un *efecto espejo* en la superficie de las muestras ya que se refleja la luz de LED del microscopio óptico. En la Figura 20 se indica con una flecha color verde las mejores condiciones que preservaron el color de la fruta por mayor tiempo (días 13 y 15) siendo más efectivo el tratamiento con 10% de NLS y 2 y 5% de oxígeno. No obstante, la presencia de exudado en la superficie del fruto se hacía más evidente en las muestras tratadas con 2% de oxígeno, lo cual hace referir que el tratamiento que preserva mejor la calidad superficial de la fruta es con 3% de glicerol, 5% de oxígeno y 10% de NLS.

En el día 13 se puede hacer referencia a que tratamientos presentan menor capacidad protectora de la superficie de la fruta, teniendo que aquellos que no contienen NLS presentan mayor daño superficial, seguido de los que contienen 5%. Para el día 15 el aspecto visual se ve severamente afectado para los tratamientos con 0 y 5% de NLS envasados con 2 y 5% de oxígeno que se encuentran señalados en la Figura 20 con flechas color rojo.



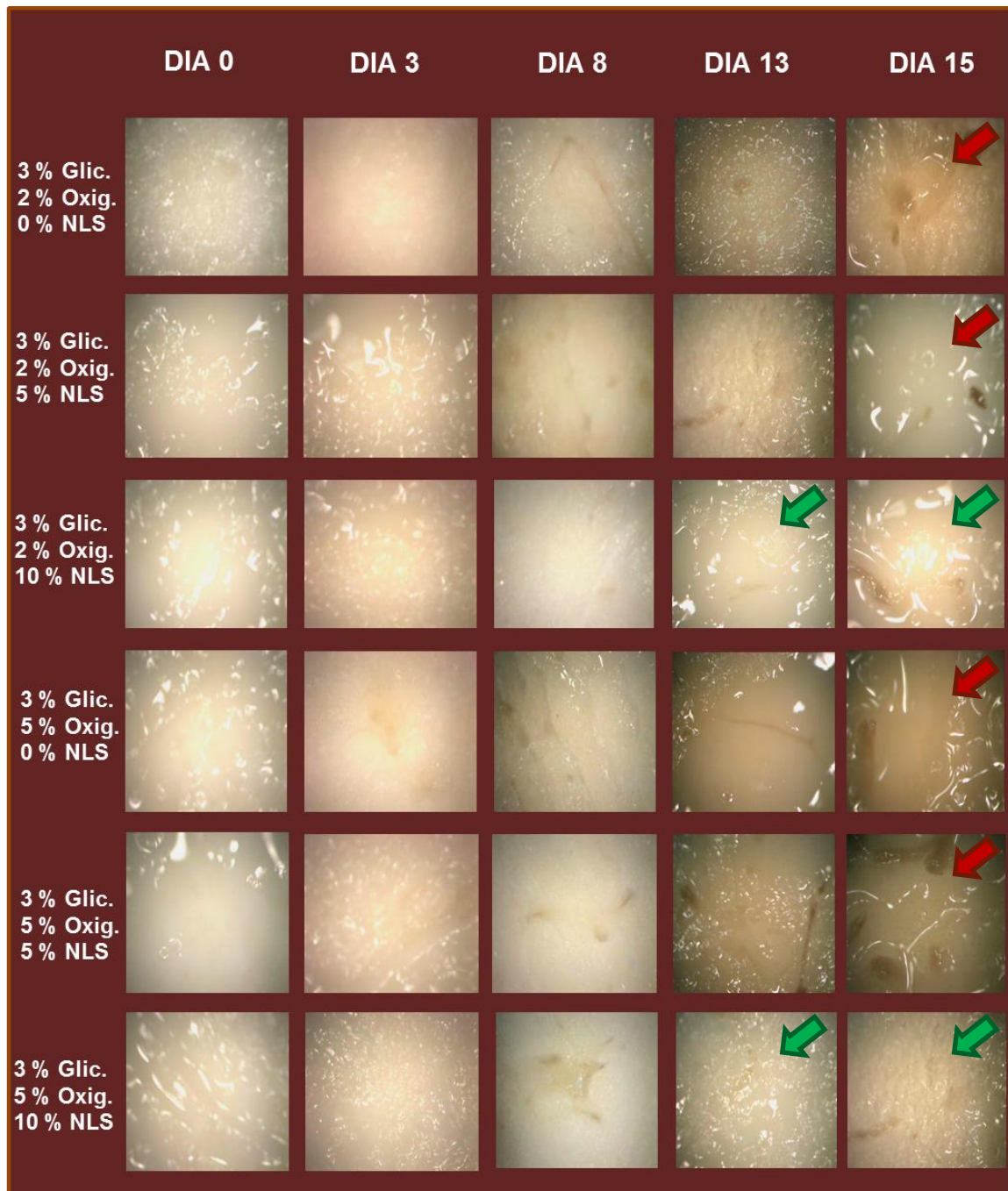


Figura 20. Imágenes de microscopía óptica para tratamientos con 3% de glicerol.

Los tratamientos con recubrimiento al 2% de glicerol y 5% de NLS fueron más eficaces inhibiendo el oscurecimiento, presentado mínimas lesiones superficiales el día 15 de almacenamiento. En este caso las muestras al 2% de oxígeno presentan una apariencia un poco más pigmentada que las que se envasaron a 5% de oxígeno, pero ambos tratamientos preservaron la fruta en condiciones aceptables de color durante el periodo de almacenamiento mostrando un color agradable a la vista. Para tratamientos al 2% de glicerol, se observaron mínimas variaciones de daño superficial entre las distintas concentraciones de NLS. En la Figura 21 se observan las micrografías tratadas con 2% de glicerol y las muestras control, en ellas podemos apreciar que en el día 8 de conservación todos los tratamientos presentaban ausencia de daño superficial, excepto el control, en donde se tenían mínimas manifestaciones de pigmentos oscuros en la superficie.

Para el día 13 es posible contrastar la eficacia de los tratamientos implementados, ya que se puede observar un descenso de la calidad superficial para los tratamientos sin NLS y muestras control, las cuales están señaladas en la Figura 21 con flechas color rojo. Posterior a este día la pérdida de calidad superficial se vuelve más evidente.

Para el día 15 de conservación se observa una estrecha diferencia entre los tratamientos donde se utilizaron NLS. El mejor aspecto visual de la fruta se vuelve dependiente de la concentración de NLS, teniendo así que los mejores tratamientos al 2% de glicerol son los de 10% de NLS y se encuentran señalados con flechas de color verde. Los tratamientos con 5% lograron resguardar un aspecto visual aceptable durante los primeros 13 días de conservación, sin embargo, en el día 15 la aparición de pigmentos oscuros en la superficie comienza a hacerse visible, lo cual le confiere a esta concentración de NLS menor eficacia.

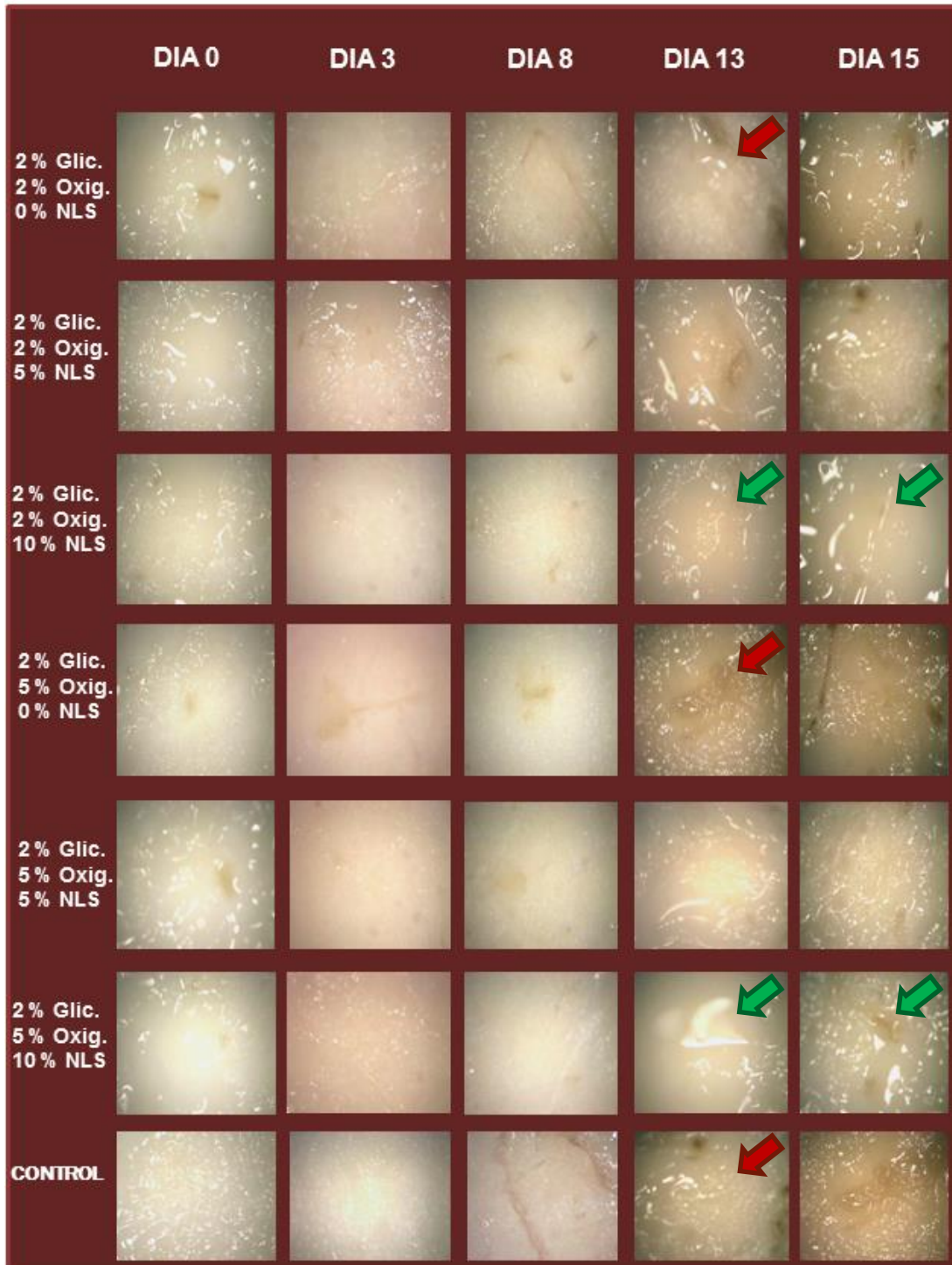


Figura 21. Imágenes de microscopía óptica para tratamientos con 2% de glicerol y control.

Las imágenes obtenidas en la prueba de microscopia óptica permiten inferir que los recubrimientos comestibles son más eficaces a mayor concentración de NLS, pero un incremento en la concentración de glicerol muestra un efecto antagónico cuando se trata de prevenir el oscurecimiento y ablandamiento de los tejidos vegetales.

Las micrografías obtenidas permiten inferir que los recubrimientos comestibles aplicados contribuyen a mejorar la apariencia visual y la textura de las rodajas de pera fresca cortada. Empleando una concentración de 10% de NLS con 3% de glicerol se logra preservar por más tiempo el color natural de la fruta, asimismo se preservó el valor de  $L^*$  teniendo un índice de oscurecimiento medio de 37% coincidiendo con los valores mayores de dureza reportados en el periodo de almacenamiento. Estos resultados pueden sugerir que concentración de NLS y glicerol es la más efectiva para prolongar el tiempo de conservación de las rodajas de pera. De manera cualitativa se puede inferir que la concentración de oxígeno menos perjudicial empleada en el envasado fue al 2% dado que si se realiza un comparativo, entre las micrografías se puede notar que las que se envasaron al 5% de  $O_2$  muestran mayor intensidad en la tonalidad café. Las reacciones enzimáticas son la principales responsables de este efecto ya que la actividad enzimática aumenta a medida que aumenta la disponibilidad de oxígeno es mayor (por arriba del 5%) (Kader, 2011).

### **3.5 Análisis por microscopia electrónica de barrido**

El análisis de microscopía electrónica de barrido permitió observar la presencia de las NLS en el corte superficial de las rodajas de pera fresca cortada. En las Figuras 22 y 23 se muestran las imágenes microscópicas de la morfología del

tejido vegetal a las diferentes concentraciones de glicerol y de NLS, también se incluye el control. Este análisis se realizó para evidenciar que efectivamente las NLS se encuentran presentes en el recubrimiento aplicado en la superficie del fruto, retardando los cambios fisiológicos de las células vegetales ralentizando así el transporte de gases y vapor de agua.

Cada micrografía presenta una nomenclatura en la parte inferior de la imagen, dividida en cuatro secciones. El primer indicador hace referencia al potencial eléctrico con que el haz luminoso captura la micrografía, y está dado en kilovoltios (kv). El segundo indicador hace alusión al aumento con que fue tomada la micrografía, entre más grande sea este número, más cercana fue enfocada y capturada la imagen. La tercera insignia muestra una barra de color blanco así como un número dimensionado en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), esto significa que la longitud de la barra mostrada en la imagen esta escalada y es proporcional a los  $\mu\text{m}$  que indica. La última nota hace mención a la muestra que está siendo capturada.

En la Figura 22-a se aprecia la micrografía de la muestra control, en esta imagen se observa que la pulpa está libre de cualquier componente ajeno al tejido vegetal en la superficie de corte del fruto. No obstante, en la imagen no es posible observar el daño que presentaron las células vegetales durante el rompimiento de la pared celular a causa del corte que se realizó al tejido vegetal. Sin embargo, en el tejido se aprecian cavidades superficiales originadas a causa de la deshidratación que sufre la pulpa de la fruta en el proceso de preparación de la microscopia.

En la Figura 22-b se presenta la imagen en donde la muestra fue recubierta con 2% de glicerol y 5% de NLS. En esta micrografía se observa que las NLS

(indicadas con flechas de color rojo) están presentes en la superficie de corte del tejido vegetal, sin embargo los agregados de NLS no son uniformes en toda la superficie debido a que la concentración en el recubrimiento es baja. En la misma imagen también se pueden notar ciertos relieves que son formados por los otros compuestos del recubrimiento como el glicerol y la goma xantana que se encuentran prácticamente inmobilizados y aglomerados en su estructura química debido al previo proceso de deshidratación que sufren las muestras durante la técnica de microscopía electrónica de barrido.

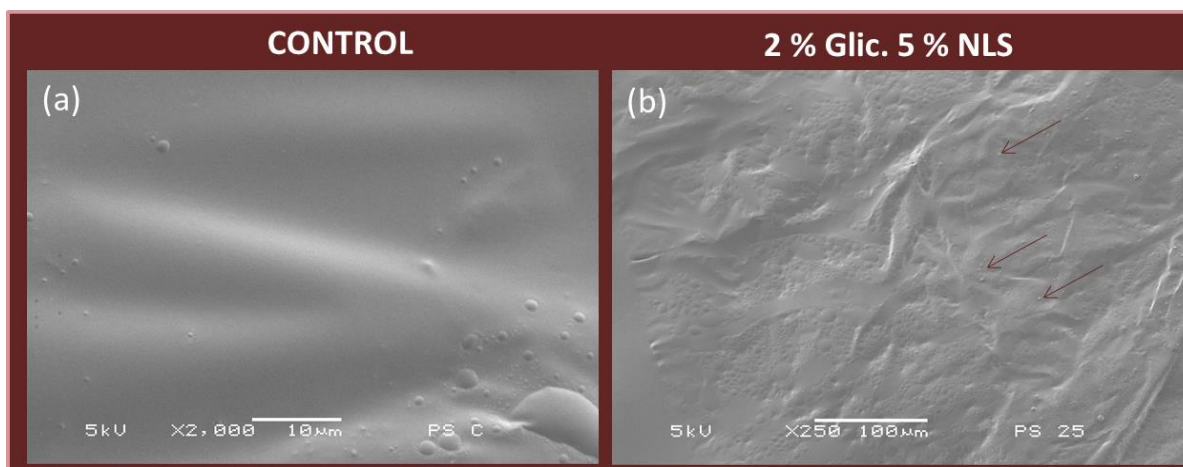


Figura 22. Imágenes de microscopía electrónica de barrido I. (a) control y (b) 2 % glicerol y 5% de NLS.

Los recubrimientos con 2 y 3% de glicerol y 0% de NLS se muestran en las imágenes 23-a y 23-c, en estas micrografías es posible observar que el recubrimiento una vez deshidratado forma una superficie rugosa, que impide que el tejido vegetal se exponga a la intemperie, en este caso la ausencia de NLS le otorga al recubrimiento menor potencial como agente protector de los tejidos vegetales.

Los recubrimientos con 10% de NLS se muestran en las imágenes 23-b y 23-d, en ellas se puede apreciar una mayor presencia de nanopartículas (señaladas con flechas de color rojo) en toda el área de la micrografía, asegurando con esto que las NLS se hacen presentes en la formulación del recubrimiento, modificando sus propiedades hidrofílicas y de adherencia garantizando así un mayor efecto protector de los tejidos vegetales.

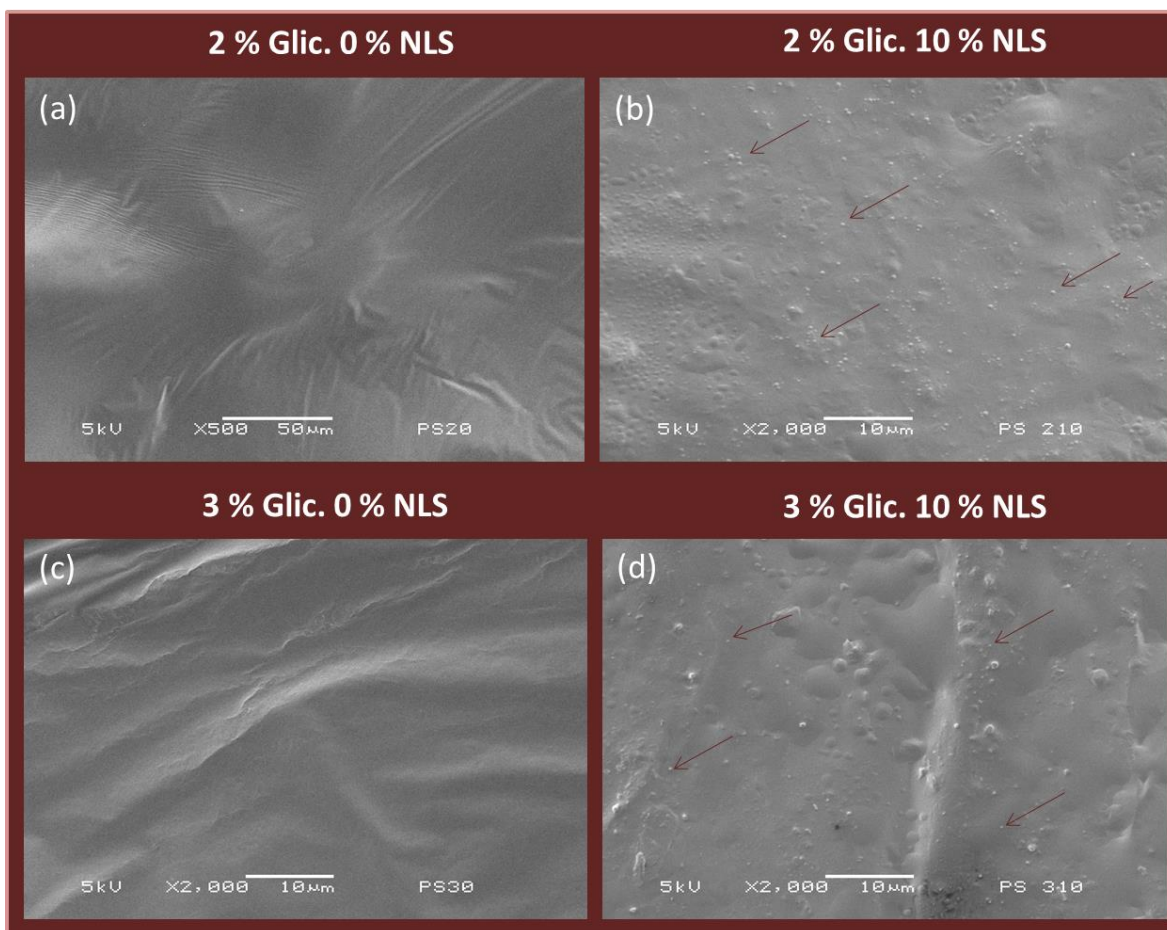


Figura 23. Imágenes de microscopía electrónica de barrido II. (a) 2 % glicerol y 0% de NLS, (b) 2 % glicerol y 10% de NLS, (c) 3 % glicerol y 0% de NLS y (d) 3 % glicerol y 10% de NLS.

### 3.6 Sólidos solubles (°Brix)

En las Figuras 24 y 25, se muestran los valores de los sólidos solubles (°Brix) en porcentaje, para las muestras de rodajas de pera fresca cortada al 2 y 3% de glicerol respectivamente. De acuerdo con Infoagro (2014), los límites normales de °Brix establecidos para la pera fresca son de entre 12 y 13 °Brix para variedades amarillas y de entre 13 y 14 °Brix para variedades rojas. El estudio realizado por Gomes, *et al.*, (2014) reporta una disminución promedio de 1.5 °Brix en sus muestras de pera fresca cortada cv. "Rocha" envasadas en atmósferas modificadas durante 20 días de almacenamiento.

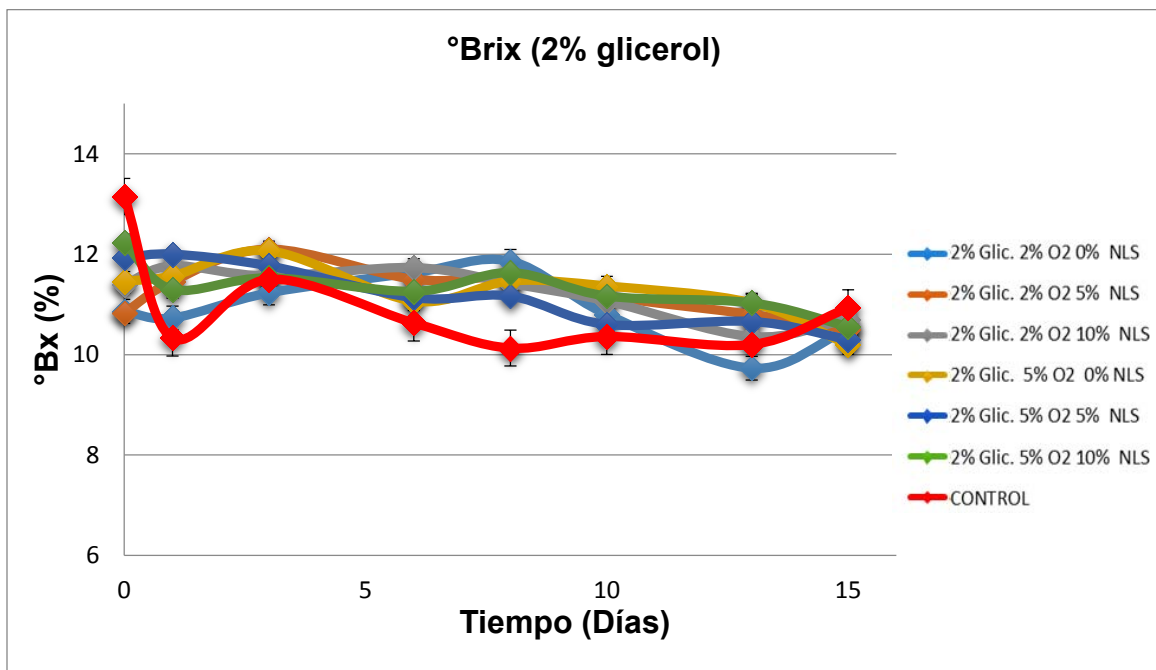


Figura 24. Grados Brix de rodajas de pera al 2 % de glicerol.



Durante el tiempo de almacenamiento se presentó una disminución de los °Brix con respecto al valor inicial, obteniendo 13.5 °Brix en las muestras control el primer día de almacenamiento. Un descenso se produjo al día 2, llegando estos a valores cercanos a 10.5 °Brix. Esto lleva a inferir que las enzimas presentes en la pera comenzaron con el proceso de degradación de los azúcares provocando un deterioro bioquímico y fisiológico en la fruta fresca cortada.

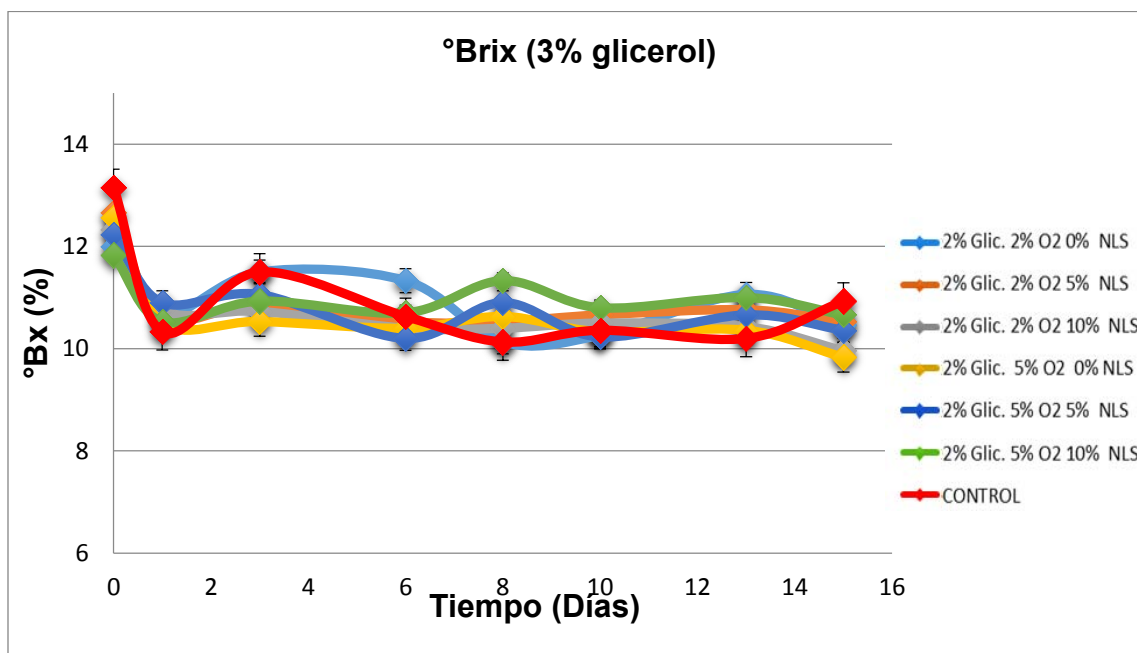


Figura 25. Grados Brix de rodajas de pera al 3 % de glicerol.

Sin embargo, para el resto de los tratamientos, la disminución de sólidos solubles no produjo un descenso evidente durante los próximos 14 días de almacenamiento, aunado a esto, el envasado en atmósfera modificada al 2 y 5% de oxígeno muestra un comportamiento similar en el porcentaje de sólidos solubles debido a que la actividad enzimática causante de la degradación de azúcares se ralentizaba a medida que la disposición de oxígeno en el interior del envase disminuía, provocando un mínimo deterioro de este parámetro de calidad.

### 3.7 pH

Antes de aplicar el recubrimiento, las rodajas de pera fueron sumergidas en una solución de cloruro de calcio al 1%. El cloruro de calcio brinda múltiples beneficios como regular el pH, brindar más rigidez ya que forma puentes de calcio entre las pectinas y ayuda a prevenir la desorganización de las membranas celulares previniendo ablandamiento de tejidos así como la actividad de las enzimas polifenoloxidasas.

En las Figuras 26 y 27 se muestra que los valores de pH permanecieron equilibrados durante el periodo de conservación, para ambas concentraciones de glicerol e inyecciones de oxígeno. De manera que el pH de las rodajas de pera no fue óptimo para la proliferación de bacterias patógenas, requiriendo estas un pH de 5.0 como mínimo para su proliferación (James, 2005).

Las muestras estudiadas presentaron un valor de pH constante durante los 15 días de almacenamiento, manteniéndose en valores cercanos a 4.0, lo cual puede ser benéfico para la proliferación de bacterias ácido lácticas siendo estas las responsables de producir el aroma a fermentación que presentaban las muestras al 3% de glicerol para el día 10 de almacenamiento. Los envases cerrados herméticamente, con nula disposición de oxígeno son los responsables de generar la respiración anaerobia de los microorganismos que causan la fermentación (Owen P., 1989). Un estudio similar elaborado por Gomes, *et al.*, (2014) reporta que el pH de trozos de pera fresca cortada cv. “Rocha” no presentó variaciones significativas durante el proceso de almacenamiento, manteniéndose en valor promedio de 4.5 durante 20 días de conservación.

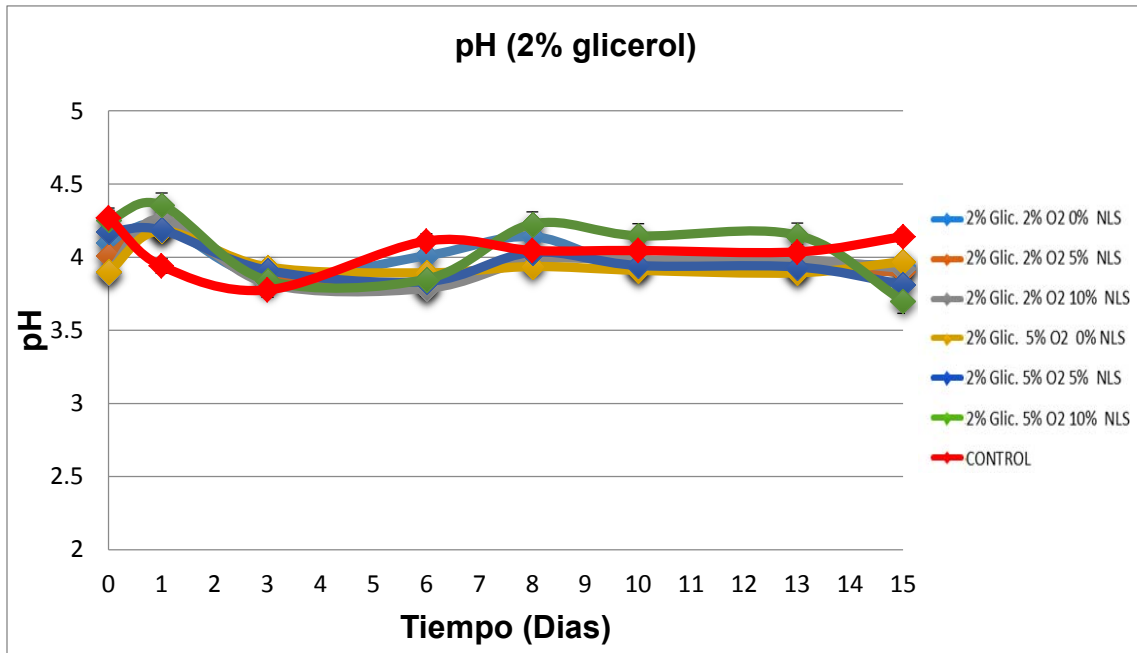


Figura 26. pH de rodajas de pera al 2% de glicerol.

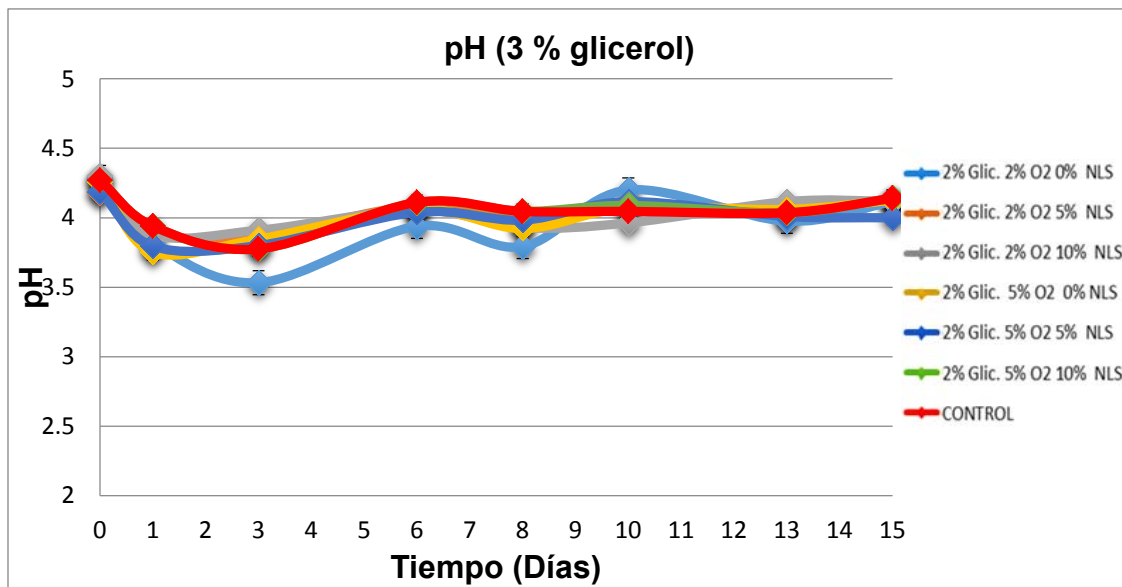


Figura 27. pH de rodajas de pera al 3% de glicerol.

El color de las rodajas de pera no se vio severamente afectado ya que el pH de las muestras ralentizaba la activación enzimática responsable del oscurecimiento de la pulpa. Las enzimas polifenoloxidasas generalmente tienen un pH óptimo de activación en el intervalo de 4.0 a 8.0 y son prácticamente inactivas a pH cercano a 4.0. En pera, el pH óptimo reportado para la actividad de polifenoloxidasa depende del cultivar y/o variedad, con valores que van desde 4.3 a 7.2 (Espín, *et al.*, 1998; Gomes, *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

Mediante los cambios de color en la superficie de la pulpa de pera fresca cortada fue posible evaluar los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para poder determinar los cambios en el índice de oscurecimiento durante el periodo de conservación. El oscurecimiento enzimático se veía principalmente retardado por la presencia de NLS en el recubrimiento comestible. De manera que el tratamiento que preservó mejor el color natural de la fruta fue el de 3% de glicerol, 2% de oxígeno y 10% de NLS.

Con la prueba de TPA fue posible determinar la dureza máxima de la muestra de pera en el primer ciclo de compresión. Los resultados obtenidos y analizados estadísticamente permitieron mostrar que los tratamientos con 3% de glicerol, 10% de NLS y 2 y 5% de oxígeno, preservaron la dureza por niveles superiores de la mayoría de los tratamientos. No hubo diferencia significativa entre el empleo de cualquiera de ambas concentraciones de oxígeno. Sin embargo se recomienda utilizar el tratamiento que presentó menores índices de oscurecimiento.

El pH y °Brix no mostraron una variación significativa entre los diferentes tratamientos aplicados en todo el periodo de conservación. Mediante el monitoreo de estas propiedades fue posible inferir que la conservación de las rodajas de pera fresca se ve limitada principalmente por los cambios en el color y en la textura. El monitoreo de la pérdida de peso logro comprobar que el tratamiento con 3% de glicerol, 5% de oxígeno y 10% de NLS presento los menores porcentajes de pérdida durante el periodo de conservación (15 días), haciéndolo coincidir con la preservación de la textura evaluada en la prueba de TPA.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Estudiar el comportamiento de la pera fresca cortada refrigerada en atmosferas modificadas con envases de diferentes capacidades de barrera para prolongar el tiempo de conservación por más de 15 días.
- ✓ Complementar el estudio de conservación de pera fresca cortada con la aplicación de agentes antioxidantes (por ejemplo:  $\beta$ -caroteno nano-encapsulado,  $\beta$ 1-Tocoferol y/o Vitamina E) que permitan retardar la aparición del oscurecimiento enzimático.
- ✓ Realizar el estudio con el empleo de diferentes concentraciones de gases en MAP, de manera que la diferencia de disponibilidad de oxígeno presente mayor contundencia en la prolongación del periodo de conservación.
- ✓ Realizar la cuantificación de la actividad de la enzima polifenoloxidasas para contrastar los cambios de color ocurridos por el corte de la pera fresca cortada. Así como realizar cuantificaciones de enzimas que dañan la estructura de la pared celular como por ejemplo pectin metilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG).

---

**BIBLIOGRAFÍA**

- Almeida, D. P. y Pinheiro, S. C., (2008). Modulation of tomato pericarp firmness through pH and calcium: Implications for the texture of fresh-cut fruit. *Postharvest biology and technology*, 47(1), 119-125.
- Argañosa, A. C. S., Raposo, M. F. J., Teixeira, P., y Moráis, A. M. (2008). Effect of cut-type on quality of minimally processed papaya. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(12), 2050-2060.
- Arias, E., López-Buesa, P., y Oria, R. (2009). Extension of fresh-cut “Blanquilla” pear (*Pyrus communis* L.) shelf-life by 1-MCP treatment after harvest. *Postharvest biology and technology*, 54(1), 53-58.
- Artés-Hernández, F., Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E. y Escalona, V., (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 287-296.
- Bai, J., Alleyne, V., Hagenmaier, R. D., Mattheis, J. P., y Baldwin, E. A. (2003). Formulation of zein coatings for apples (*Malus domestica* Borkh). *Postharvest biology and technology*, 28(2), 259-268.
- Barreiro, J. A., y Sandoval, A. J. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Equinoccio. 365 págs.
- Barroca, M. J., Guiné, R. P. F., Pinto, A., Gonçalves, F. M., y Ferreira, D. M. S. (2006). Chemical and microbiological characterization of Portuguese varieties of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 84(2), 109-113.
- Becker, B. R., y Fricke, B. A. (2002). Hydrocooling time estimation methods.

---

*International communications in heat and mass transfer*, 29(2), 165-174.

Bonilla, J., Atarés, L., Vargas, M., y Chiralt, A. (2012). Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: possibilities and limitations. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 208-213.

Boonyakiat, D., Chen, M., Spotts, A., y Richardson, D. G. (1987). Effect of harvest maturity on decay and post-harvest life of “d'Anjou” pear. *Scientia horticulturae*, 31(1), 131-139.

Briones, V., y Aguilera, M. (2005). Image analysis of changes in surface color of chocolate. *Food Research International*, 38(1), 87-94.

Bunjes, H., Kuntsche, J., Westesen, K., Drechsler, M. y Koch, M. H. J. (2004). Supercooled smectic nanoparticles: a potential novel carrier system for poorly water soluble drugs. *Pharmaceutical research*, 21(10), 1834-1843.

Caleb, J., Opara, L., y Witthuhn, R. (2012). Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 15-30.

Chassagne-Berces, S., Poirier, C., Devaux, M. F., Fonseca, F., Lahaye, M., Pigorini, G., y Guillon, F. (2009). Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing. *Food research international*, 42(7), 788-797.

Chau, C. F., Wu, S. H. y Yen, G. C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science and Technology*, 18(5), 269-280.

Chen, L., y Opara, L. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 119(3), 497-



507.

Chiumarelli, M. y Hubinger, M. D. (2014). Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocolloids*, 38, 20-27.

Cliffe-Byrnes, V. y O'Beirne, D. (2005). Effects of chlorine treatment and packaging on the quality and shelf-life of modified atmosphere (MA) packaged coleslaw mix. *Food Control*, 16(8), 707-716.

Clydesdale, F. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(1), 83-101.

Corlett A. y Brown, H. (1980). pH and acidity. *Microbial ecology of foods*, 1, 92-111.

Costa, F., Cappellin, L., Fontanari, M., Longhi, S., Guerra, W., Magnago, P. y Biasioli, F. (2012). Texture dynamics during postharvest cold storage ripening in apple (*Malus domestica Borkh*). *Postharvest Biology and Technology*, 69, 54-63.

Druzian, J. I. y Pagliarini, A. P. (2007). Xanthan gum production by fermentation from residue of apple juice. *Food Science and Technology (Campinas)*, 27(1), 26-31.

Duvenhage, A. J., Jooste, M. y Johnson, S. A. (2012). Irradiation as a postharvest quarantine treatment for a new pluot cultivar. *Scientia Horticulturae*, 147, 64-70.

Eroski Consumer. (2014). Alimentación. Recuperado el 2 de febrero de 2014, de Eroski Consumer: [http://frutas.consumer.es/documentos /frescas /pera/ intro.php](http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/pera/intro.php)

- Espín, J. C., Jolivet, S. y Wichers, H. J. (1998). Inhibition of mushroom polyphenol oxidase by agaritine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(8), 2976-2980.
- Espino-Díaz, M., De Jesús Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P. B. y Olivas, G. I. (2010). Development and Characterization of Edible Films Based on Mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of food science*, 75(6), 347-352.
- FAO. (2013). La calidad en frutas y hortalizas. Recuperado el 22 de octubre de 2013, de depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/006/y4893s/y4893s08.htm#TopOfPage>
- Fennema, O.R. (1989). Química de los alimentos. Ed. Acribia España, 1258 págs.
- Finnegan, E., Mahajan, PV., O`Cornenl, Francisco, GA. y O`Beirne. (2013). Modeling freshly cut breathing prediction pineapple and gas permeability required for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 47-53.
- Finnegan, E., Mahajan, V., O`Connell, M., Francis, A. y O`Beirne, D. (2013). Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 47-53.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A., y Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 99-119.
- Forssell, P., Lahtinen, R., Lahelin, M. y Myllärinen, P. (2002). Oxygen permeability of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate polymers*, 47(2), 125-129.

- 
- Franck, C., Lammertyn, J., Ho, Q. T., Verboven, P., Verlinden, B. y Nicolaï, B. M. (2007). Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 43(1), 1-13.
- Garcia Loredó, A. B., Guerrero, S. N., y Alzamora, S. M. (2013). Impact of combined ascorbic acid/CaCl<sub>2</sub>, hydrogen peroxide and ultraviolet light treatments on structure, rheological properties and texture of fresh-cut pear (cv. William). *Journal of Food Engineering*, 114(2), 164-173.
- Garcia, M. A., Martino, M. N. y Zaritzky, N. E. (2000). Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of food science*, 65(6), 941-944.
- Gasull, E. y Becerra, D. (2006). Caracterización de polifenoloxidasas extraídas de Pera (cv. Packam's Triumph) y Manzana (cv. Red Delicious). *Información tecnológica*, 17(6), 69-74.
- Gil, M. I., Gorny, J. R. y Kader, A. A. (1998). Responses of "Fuji" apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *HortScience*, 33(2), 305-309.
- Gil, M., Aguayo, E. y Kader, A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296.
- Gomes, M. H., Vieira, T., Fundo, J. F. y Almeida, D. P. (2014). Polyphenoloxidase activity and browning in fresh-cut 'Rocha'pear as affected by pH, phenolic substrates, and antibrowning additives. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 32-38.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y. y Buta, J. G. (2000). Maintaining quality of fresh-cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere

- packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(9), 4204-4208.
- Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, R. A. y Kader, A. A. (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biology and Technology*, 24(3), 271-278.
- Gorris, L. G. M., y Peppelenbos, H. W. (1999). Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. *HortTechnology*, 2(3), 303-309.
- Guerra, F. (1996). Tecnología post-cosecha de frutos cítricos. Curso integral de citricultura. *Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical*. 242-257.
- Guerrero-Beltrán, J. A., Swanson, B. G. y Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. *LWT-Food Science and Technology*, 38(6), 625-630.
- Guilbert, S., Gontard, N. y Gorris, L. (1996). Prolongation of the Shelf-life of Perishable Food Products using Biodegradable Films and Coatings. *Food Science and Technology*, 29(1-2), 10-17.
- Hansen, E. y Mellenthin, M. (1979). Commercial handling and storage practices for winter pears. Corvallis, Or. *Agricultural Experiment Station*, Oregon State University.
- Hirano, K., Kinoshita, T., Uemura, T., Motohashi, H., Watanabe, Y., Ebihara, T. y Sato, C. (2014). Electron microscopy of primary cell cultures in solution and correlative optical microscopy using ASEM. *Ultramicroscopy*, 143, 52-66.

- Hoorfar, J. (2014). Edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Global Safety of Fresh Produce: A Handbook of Best Practice, Innovative Commercial Solutions and Case Studies*, pp. 233.
- Infoagro. (2014). El cultivo de la pera. Recuperado el 5 de febrero de 2014, de Infoagro: [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/peras.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/peras.htm)
- James, B. (2009). Advances in “wet” electron microscopy techniques and their application to the study of food structure. *Trends in food science and technology*, 20(3), 114-124.
- James, M. (2005). *Microbiología moderna de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 788 págs.
- Kader, A. (2011) *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. California: ANR Publicaciones, 584 págs.
- Kays, S. J. (1991). Stress in harvested products. In *Postharvest physiology of perishable plant products* (pp. 335-407). Springer US.
- Kester, J. y Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food technology (USA)*, 906 págs.
- Klahre, J., Mellenthin, W., Chen, P., Valentine, F., Talley, E., Bartram, R. y Raese, T. (1987). D'Anjou harvest maturity and storage. *Postharvest pomology newsletter (USA)*.
- Labuza, T. y Contreras-Medellin, R. (1981). Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World (USA)*.
- Lamikanra, O. (2002). *Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market*. CRC Press, 466 págs.

- Lee, JY., Parque, HJ., Lee, CY. Y Choi, WY. (2003). Extend the life of minimally processed apples with edible coatings and anti-browning agents. *Food Science and Technology*, 36(3), 323-329.
- Lin, D. y Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60-75.
- Lynd, N. A., Meuler, A. J., y Hillmyer, M. A. (2008). Polydispersity and block copolymer self-assembly. *Progress in Polymer Science*, 33(9), 875-893.
- Mahajan, P. V., Oliveira, F. A. R. y Macedo, I. (2008). Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 281-288.
- Martín-Belloso, O., Odriozola-Serrano, I., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., Decker, E. A., Elias, R. J. y McClements, D. J. (2010). Oxidative stability of antioxidants in fruits and vegetables. *Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications*. Volume 2: Management in different industry sectors, 391-423.
- Martínez-Ferrer, M., Harper, C., Pérez-Munoz, F. y Chaparro, M. (2002). Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science*, 67(9), 3365-3371.
- Martinez-Javega, J. M. (1997). La frigoconservación en naranjas y mandarinas. *Phytoma*, 90, 136-140.
- McClements, D. J. (2013). Edible lipid nanoparticles: Digestion, absorption, and potential toxicity. *Progress in lipid research*, 52(4), 409-423.
- Mehnert, W., y Mäder, K. (2001). Solid lipid nanoparticles: production,

- 
- characterization and applications. *Advanced drug delivery reviews*, 47(2), 165-196.
- Mocanu, D., Iops, M., Botez, E., Constantin, O., Nistor, O. y Andronoiu, D. (2010). Research concerning the influence of heat treatments on physico-chemical and rheological characteristics of pears. *J Agroalimnt Process Technol*, 16, 236–241.
- Mühlen, A., Schwarz, C., y Mehnert, W. (1998). Solid lipid nanoparticles (SLN) for controlled drug delivery—drug release and release mechanism. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*, 45(2), 149-155.
- Müller, R. H., Radtke, M., y Wissing, S. A. (2002). Solid lipid nanoparticles (SLN) and nanostructured lipid carriers (NLC) in cosmetic and dermatological preparations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 54, S131-S155.
- N.O.M. (1994). 093-SSA1-1994. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. México: SSA 2014 Consultado el 29 de enero de 2014.
- Nishitani, C., Shimizu, T., Fujii, H., Hosaka, F., Terakami, S., Nakamura, Y. y Yamamoto, T. (2010). Oligoarray analysis of gene expression in ripening Japanese pear fruit. *Scientia horticulturae*, 124(2), 195-203.
- Nisperos-Carriedo, M. O. (1994). Edible coatings and films based on polysaccharides. *Edible coatings and films to improve food quality*, 1, 322-323.
- Nussinovitch, A. y Hershko, V. (1996). Gellan and alginate vegetable coatings. *Carbohydrate polymers*, 30(2), 185-192.
- Olivas, G. I., Mattinson, D. S. y Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). Alginate coatings

- 
- for preservation of minimally processed 'Gala' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45(1), 89-96.
- Olivas, I. y Barbosa-Cánovas, V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 657-670.
- Oliveira, R., Fonseca, C., Oliveira, C., Brecht, K. y Chau, V. (1998). Development of perforation-mediated modified atmosphere packaging to preserve fresh fruit and vegetable quality after harvest. *Food science and technology international*, 4(5), 339-352.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. y Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with anti-browning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*. 50(1), 87-24.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2008). Physiological and microbiological changes in fresh-cut pears stored in high oxygen active packages compared with low oxygen active and passive modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), 295-301.
- Ospina Meneses, S. M. y Cartagena Valenzuela, J. R. (2008). Modified atmosphere: an alternative for food preservation. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112-123.
- Owen, P. Ward. (1989). *Fermentation Biotechnology*. Zaragoza: Acribia, 274 págs.



- Özden, Ç. y Bayindirli, L. (2002). Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *European Food Research and Technology*, 214(4), 320-326.
- Park, C. M. y Beuchat, L. R. (1999). Evaluation of sanitizers for killing *Escherichia coli*, *Salmonella* and naturally occurring microorganisms on cantaloupes, honeydew melons, and asparagus. *Dairy, Food and Environmental Sanitation*, 19, 842-847.
- Parry, R. (1993). Principes and aplicaciones of modified atmosphere packaging of foods. U. K. Blackie Academic & Professional. Blakistone Ed., New York, E.E.U.U., 301 págs.
- Pasquariello, M. S., Rega, P., Migliozi, T., Capuano, L. R., Scortichini, M. y Petriccione, M. (2013). Effect of cold storage and shelf life on physiological and quality traits of early ripening pear cultivars. *Scientia Horticulturae*, 162, 341-350.
- Pastor Navarro, C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa: caracterización y aplicación. Tesis doctoral. Valencia España, Universidad Politécnica de Valencia, 219 págs.
- Pathan, K., Bond, J. y Gaskin, E. (2008). Sample preparation for scanning electron microscopy of plant surfaces-horses for courses. *Micrón*, 39(8), 1049-1061.
- Peras USA. (2014). Peras USA. Recuperado el 30 de enero de 2014, de Peras USA: <http://www.perasusa.com/>
- Pérez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt, A. y Gonzalez-Martinez, C. (2011). Effectiveness of anti-browning agents applied by vacuum impregnation on

- 
- minimally processed pear. *Food science and technology international*, 44(10), 2273-2280.
- Pérez-Gago, M.B. y Jong-Whan, R. (2014). Chapter -13 Edible Coating and Film Materials: Lipid Bilayers and Lipid Emulsions. *Innovations in food packaging (Second Edition)*, 325-350.
- Postharvest technology. (2013). Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, de *postharvest technology*: [http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Pera\\_Bartlet/](http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Pera_Bartlet/)
- Quintanar-Guerrero, D., Zambrano-Zaragoza, M.L., Álvarez-Cárdenas, A., y Mercado-Silva, E. (2012). WIPO Patente núm. WO2012141566. México.
- Ragni, L., Berardinelli, A. y Guarnieri, A. (2010). Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *Journal of food engineering*, 96(4), 591-597.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P. y Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and vegetables: An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 1-15.
- Ramos, L., Reinas, I., Silva, I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N. y Malcata, F. X. (2013). Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 110-122.
- Rhim, J. W. y Shellhammer, T. H. (2005). Lipid-based edible films and coatings. *Innovations in food packaging*, 362-383.
- Rico, D., Martin-Diana, A. B., Barat, J. M. y Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in*

*Food Science and Technology*, 18(7), 373-386.

- Rico, D., Martin-Diana, A., Henehan, M., Frias, M. y Barry-Ryan, C. (2006). Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and textured properties of fresh-cut lettuce. *Journal of Food Science and Agriculture*, 86, 2179-2188.
- Robertson, G. L., Kilcast, D. y Subramaniam, P. (2011). Packaging and food and beverage shelf life. *Food and beverage stability and shelf life*, 244-272.
- Robles-Sánchez, R. M., Rojas-Graü, M. A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G. A. y Martín-Belloso, O. (2009). Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut 'Kent'mango (*Mangifera indica L.*). *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 384-390.
- Robles-Sánchez, R. M., Rojas-Graü, M. A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G. y Martín-Belloso, O. (2013). Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 240-246.
- Rocha, A. y Morais, A. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food Control*, 14(1), 13-20.
- Rodriguez-Aguilera, R. y Oliveira, J. C. (2009). Review of design engineering methods and applications of active and modified atmosphere packaging systems. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 66-83.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 438-447.

- 
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Rodríguez, F. J., Carmona, A. J. y Martin-Belloso, O. (2007). Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 118-127.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Rodríguez, F. J., Carmona, A. J. y Martin-Belloso, O. (2007). Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 118-127.
- Ryall, A. y Lipton, W. (1979). Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. Fruits and tree nuts. AVI Publishing Co., Inc. 610 págs.
- Saladié, M., Matas, A. J., Isaacson, T., Jenks, M. A., Goodwin, S. M., Niklas, K. J. y Rose, J. K. (2007). A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology*, 144(2), 1012-1028.
- Saltveit, M. E. (1993). A summary of CA and MA requirements and recommendations for the storage of harvested vegetables. Proceedings of the 6th National CA Conference. Cornell University, Ithaca, NY. Págs. 723-727.
- Saltveit, M., Loaiza-Velarde, JG, Mangrich, ME. y Campos-Vargas, R. (2003). El choque térmico reduce el pardeamiento de peciolo de apio fresco cortado. *Biología y Tecnología de Postcosecha*, 27 (3), 305-311.
- Salunkhe, D. y Kadam, S. (1995). En Salunkhe, DK. y Kadam, SS. (Ed.), Handbook of fruit science and technology: production, composition, storage, and processing. (págs. 183-201). New York: Marcel Dekker.
- Schouten, R. E., Natalini, A., Tijssens, L. M. M., Woltering, E. J. y Van Kooten, O. (2010). Modelling the firmness behaviour of cut tomatoes. *Postharvest*

*biology and technology*, 57(1), 44-51.

Shi, Q. (1996). The strategy of Fujian longan fruit during production and marketing. *Fujian Sci. Technol. Trop.*, 21, 18-20.

Shukat, R., y Relkin, P. (2011). Lipid nanoparticles as vitamin matrix carriers in liquid food systems: on the role of high-pressure homogenisation, droplet size and adsorbed materials. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 86(1), 119-124.

Silos-Espino, H., Fabian-Morales, L., Osuna-Castro, J. A., Valverde, M. E., Guevara-Lara, F. y Paredes-López, O. (2003). Chemical and biochemical changes in prickly pears with different ripening behaviour. *Nahrung Food*, 47(5), 334-338.

Soliva-Fortuny, R. C. y Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 14(9), 341-353.

Soto, J. C. L. (1999). Panorama sistemático de las aplicaciones de la tecnología de bajas temperaturas a los alimentos. UNAM. 165 págs.

Sousa-Gallagher, M. J., Mahajan, P. V. y Mezdad, T. (2013). Engineering packaging design accounting for transpiration rate: Model development and validation with strawberries. *Journal of Food Engineering*, 119(2), 370-376.

Subramanian, N., Venkatesh, P., Ganguli, S. y Sinkar, V. P. (1999). Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea theaflavins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(7), 2571-2578.

Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Carmona, A., Rodríguez, F. J., Soliva-Fortuny, R.

- y Martin-Belloso, O. (2008). Use of alginate-and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1493-1503.
- Toivonen, P. y Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1-14.
- Trotta, M., Debernardi, F., y Caputo, O. (2003). Preparation of solid lipid nanoparticles by a solvent emulsification–diffusion technique. *International journal of pharmaceutics*, 257(1), 153-160.
- Varela, P., Salvador, A. y Fiszman, S. (2005). Shelf-life estimation of ‘Fuji’ apples: Sensory characteristics and consumer acceptability. *Postharvest Biology and Technology*, 38(1), 18-24.
- Varela, P., Salvador, A. y Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 622-629.
- Vargas, M. L., Sánchez-Gonzalez, M., Cháfer, M., Chiralt, A. Gonzalez-Martinez. (2012). Edible chitosan coatings for fresh and minimally processed foods. *Emerging Food Packaging Technologies*, 66-95.
- Watada, A. E. y Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 201-205.
- Westwood, M. (1982). Fruticultura de zonas templadas. Ed. Mundi-prensa, Madrid, España. 439p.
- Wiley, R. (1997). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Zaragoza: Acribia, 362 págs.

- 
- Wills, R. H., Lee, T. H., Graham, D., McGlasson, W. B. y Hall, E. G. (1981). Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Granada, 163 págs.
- Wissing, S. A., Kayser, O., y Müller, R. H. (2004). Solid lipid nanoparticles for parenteral drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, 56(9), 1257-1272.
- Wong, D. W., Tillin, S. J., Hudson, J. S. y Pavlath, A. E. (1994). Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10), 2278-2285.
- Xiao, C., Zhu, L., Luo, W., Song, X. y Deng, Y. (2010). Combined action of pure oxygen pretreatment and chitosan coating incorporated with rosemary extracts on the quality of fresh-cut pears. *Food Chemistry*, 121(4), 1003-1009.
- Xu, R. (2008). Progress in nanoparticles characterization: Sizing and zeta potential measurement. *Particuology*, 6(2), 112-115.
- Zagory, D. y Kader, A. A. (1988). Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food technology*, 42(9), 70-77.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Del Real L, A., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A. y Quintanar-Guerrero, D. (2014). The effect of nano-coatings with  $\alpha$ -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “Red Delicious” apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 188-196.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Gutiérrez-Cortez, E., Castaño-Tostado, E. y Quintanar-Guerrero, D. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion–diffusion method for food

applications. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1362-1368.

Zambrano-Zaragoza, M., Mercado-Silva, E., Ramirez-Zamorano, P., Cornejo-Villegas, M., Gutiérrez-Cortez, E. y Quintanar-Guerrero, D. (2013). Use of solid lipid nanoparticles (SLN) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. *Food Research International*, 51(2), 946-953.

Zhang, H., Zheng, X. y Su, D. (2006). Postharvest control of blue mold rot of pear by microwave treatment and *Cryptococcus laurentii*. *Journal of food engineering*, 77(3), 539-544.

Zhou, R., Mo, Y., Li, Y., Zhao, Y., Zhang, G. y Hu, Y. (2008). Quality and internal characteristics of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) treated with different kinds of coatings during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 171-179.