

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



Efecto del pH Sobre las Características Físicoquímicas y de Adhesividad de Látex de Poli (Acetato de Vinilo-Alcohol vinílico) para Recubrir Tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum. Var. cerasiforme*).

Por:

**FRANCISCO JAVIER BARRERA RAMÍREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Saltillo, Coahuila, México

Abril 2017

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Efecto del pH Sobre las Características Fisicoquímicas y de Adhesividad de Látex de Poli (Acetato de Vinilo-Alcohol vinílico) para Recubrir Tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum. Var. cerasiforme*).

POR:

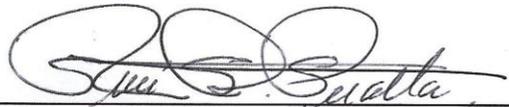
**FRANCISCO JAVIER BARRERA RAMÍREZ**

TESIS

Que ha sido aprobada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del Reglamento de Académico para alumnos de licenciatura por el siguiente comité:



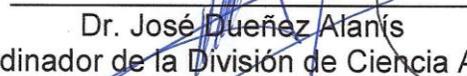
Dr. René Darío Peralta Rodríguez  
Asesor principal



M.C. Xochitl Ruelas Chacón  
Asesor



M. C. Oscar Noé Reboloso Padilla  
Asesor



Dr. José Dueñez Alanís  
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México

Abril 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Efecto del pH Sobre las Características Físicoquímicas y de Adhesividad de Látex de Poli (Acetato de Vinilo-co-Alcohol vinílico para Recubrir Tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum*. Var. *cerasiforme*)).

POR:

**FRANCISCO JAVIER BARRERA RAMÍREZ**

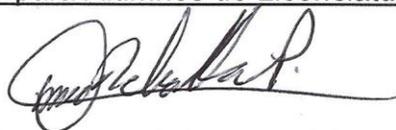
TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

De acuerdo al artículo 90 del reglamento para Alumnos de Licenciatura

M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla  
Presidente



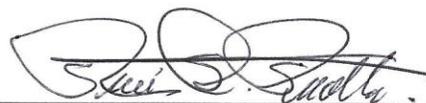
---

M.E. Laura Olivia Fuentes Lara  
Vocal



---

Dr. René Darío Peralta Rodríguez  
Vocal



---

M.C. Xochitl Ruelas Chacón  
Vocal



---

Saltillo, Coahuila, México

Abril del 2017

## AGRADECIMIENTOS

**A DIOS.** Por conducirme al camino del éxito y por darles a mis padres las fuerzas y bendiciones para salir adelante junto conmigo. Por darme fortaleza, salud y sabiduría, por conducirme siempre por el camino del bien y por permitir terminar una de mis más anheladas etapas.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO (ALMA TERRA MATER)** gracias por todos los aprendizajes que hasta la fecha me llevo, por las herramientas que me otorgaste para realizar y terminar mis estudios y formarme como profesional, por todos los momentos vividos durante este trayecto y por el orgullo que me da pertenecer a esta gloriosa universidad.

Al **CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE QUÍMICA APLICADA (CIQA)** por brindarme su valiosa confianza en facilitarme los equipos y materiales para realizar la investigación de este trabajo.

A mi asesor **Dr. René Darío Peralta** por su apoyo y conocimientos compartidos para hacer realidad el presente trabajo de investigación.

**Dra. Xòchitl Ruelas Chacón** por su colaboración, paciencia, amistad y parte de su tiempo en orientarme en este trabajo de investigación.

## DEDICATORIAS

**A DIOS** porque para mí siempre estarás un paso delante de mí y contigo todo es posible y eres la causa de mi fortaleza para continuar cada día con la cabeza arriba, gracias por tanto amor.

Mi tesis la dedico principalmente a mi familia:

**JAVIER BARRERA MEDINA** Por ser un hombre ejemplar, por ser mi héroe, por enseñarme que los sueños y metas se pueden alcanzar. Agradezco que siempre hayas confiado en mí, por todos tus sacrificios y apoyo incondicional.

**MA. CONCEPCIÓN RAMÍREZ ALVAREZ** por contribuir con tu amor, respeto y admiración. Por ser la persona que siempre me ha orientado en mi vida, por tus oraciones, por confiar en mí y por la educación que me has dado día a día.

A mis hermanos **CESAR EMMANUEL, PRISCILA, JUAN, JIMMY, FABIOLA Y ANITA** por su apoyo moral, compañía y todo lo que hemos vivido juntos y que a pesar de la distancia siempre están presentes en mi vida.

A mi sobrinos **ANDRESILLO** (el siete) **Y DANNA** (la greñas) dos grandes tesoros que Dios ha mandado para ser la alegría de la casa, espero y en algún momento esto les sirva de ejemplo y motivarlos a que se formen como profesionistas.

**ANA GABRIELA RODRIGUEZ MARTINEZ** por haber llegado en el momento indicado a mi vida, por ahora ser uno mismo, por tu apoyo moral por ayudarme a dar este paso y a subir uno de tantos escalones que aún nos faltan, por estar siempre presente en las buenas y en las malas, Te quiero mucho Gorda.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE CUADROS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN.....	X
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo general .....	4
1.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Hipótesis .....	4
1.4 Justificación .....	5
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Películas y recubrimientos comestibles .....	6
2.1.1 Definición .....	6
2.1.2 Historia.....	8
2.1.3 Recubrimientos y películas biodegradables y/o comestibles para alimentos .....	9
2.1.4 Películas poliméricas biodegradables .....	9
2.1.5 Funciones .....	10
2.1.6 Aplicaciones de las películas comestibles .....	12
2.1.7 Requerimientos de las películas comestibles .....	14
2.1.8 Componentes de los recubrimientos .....	14
2.1.9 Los recubrimientos comestibles compuestos.....	16
2.1.10 Ventajas y desventajas del uso de películas comestibles.....	17
2.1.11 Formas de aplicación.....	19
2.2 Polímeros .....	19
2.2.1 Concepto y clasificación.....	19
2.2.2 Elaboración de los polímeros (Polimerización) .....	21

2.2.3 Técnicas utilizadas en las reacciones de poliadición .....	22
2.2.4 Empleo de los polímeros.....	22
2.2.5 polímero de utilidad comercial .....	22
2.2.6 Polímero en microemulsión.....	23
2.2.7 Alcohol polivinílico (PVA) .....	25
2.2.8 El acetato de polivinilo .....	25
2.2.9 Obtención de látex de PVAc y PVA .....	26
2.2.10 Biopolímeros implementados en el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles.....	27
2.3 Generalidades del tomate .....	29
2.3.1 Clasificación botánica .....	31
2.3.2 Estructura del fruto.....	31
2.3.3 Valor nutritivo .....	31
2.3.4 Principales tipos de tomate .....	31
2.3.5 El tomate cherry y sus características .....	32
2.3.6 Manejo de pos cosecha .....	33
2.3.7 Métodos de cosecha para el tomate .....	34
2.3.8 Vida de anaquel del fruto .....	35
2.3.9 Perdidas poscosecha.....	35
2.3.10 Madurez fisiológica y comercial .....	36
2.3.11 Calidad del fruto.....	36
2.3.12 Parámetros de calidad .....	37
2.3.12.1 Peso del fruto.....	37
2.3.12.2 Sólidos solubles totales (°Brix).....	37
2.3.12.3 Firmeza .....	38
2.3.12.4 Color .....	38
2.3.12.5 Respiración (desprendimiento de CO <sup>2</sup> ).....	39
2.3.12.6 Vitamina C .....	40
2.3.12.7 Ácido cítrico .....	40

<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	41
3.1 Localización .....	41
3.2 Materiales.....	41
3.3 Reactivos .....	42
3.4 Equipos .....	42
3.5 Material vegetal.....	43
3.6 Descripción de los tratamientos .....	44
3.7 Metodología Experimental.....	45
3.7.1 Primera parte del experimento .....	45
3.7.1.1 Elaboración de PVAc – PVA y evaluaciones .....	45
3.7.1.2 Caracterización del látex .....	48
3.7.2 Segunda parte del experimento .....	48
3.7.2.1 Selección de muestras (tomates cherry).....	49
3.7.2. 2 Recubrimientos de tomates .....	49
3.7.2. 3 Análisis de muestras (variables evaluadas) .....	50
3.8 Determinación de pérdida de peso .....	50
3.9 Determinación de color .....	51
3.10 Determinación de firmeza .....	53
3.11 Análisis de sólidos solubles totales.....	53
3.12 Determinación de vitamina C .....	54
3.13 Determinación de ácido cítrico .....	55
3.14 Determinación de respiración.....	55
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	57
4.1 Determinación de potencial de hidrogeno de los látex (pH ).....	57
4.2 Determinación de diámetro de partícula de los látex (Dp).....	59
4.3 Determinación de pérdida de peso (PP%) .....	61
4.4 Determinación de color .....	63
4.4.1 Luminosidad (L) .....	63
4.4.2 Cromaticidad (a*) .....	65

4.4.3 Cromaticidad (b*) .....	66
4.5 Determinación de Firmeza .....	67
4.6 Determinación de Sólidos solubles totales (SST) .....	69
4.7 Determinación de vitamina C .....	70
4.8 Determinación de acidez titulable .....	72
4.9 Determinación de respiración.....	74
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>76</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>91</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> Funciones de las películas comestibles .....	11
<b>CUADRO 2.</b> Diversas aplicaciones de las películas comestibles .....	13
<b>CUADRO 3.</b> Producción por tipo de jitomate en México (Toneladas).....	32
<b>CUADRO 4.</b> Descripción y aplicación de los tratamientos .....	45
<b>CUADRO 5.</b> Estudio de medias por Tukey para la variable pH inicial vs pH final..	57
<b>CUADRO 6.</b> Variación del diámetro de partícula en función del pH y tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente en los látex de PVAc- PVA .....	60
<b>CUADRO 7.</b> Estudio de medias por Tukey para la variable porcentaje de pérdida de peso en cuanto a los días transcurridos .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Transferencia de componentes entre el medio externo y el alimento a través del recubrimiento comestible .....	7
<b>FIGURA 2.</b> Tomates Cherry de la marca Glorys.....	43
<b>FIGURA 3.</b> Látex ajustados a diferentes pH con ácido acético e hidróxido de sodio. ....	44
<b>FIGURA 4.</b> Destilación del VAc.....	46
<b>FIGURA 5.</b> Obtención de látex original almacenado a temperatura ambiente ....	47
<b>FIGURA 6.</b> Medición de diámetro de partícula en dispersor.....	48
<b>FIGURA 7.</b> Medición de pH en potenciómetro .....	48
<b>FIGURA 8.</b> Selección de tomates cherry. ....	49
<b>FIGURA 9.</b> Recubrimiento de los tomates cherry con PVAc-PVA .....	50
<b>FIGURA 10.</b> Balanza para determinación de pérdida de peso. ....	51
<b>FIGURA 11.</b> Fotocolorímetro MINOLTA CR-400 .....	52
<b>FIGURA 12.</b> Diagrama de color. ....	52
<b>FIGURA 13.</b> Penetrómetro EXTECH INSTRUMENTS. TESTER- FHT200. ....	53
<b>FIGURA 14.</b> Refractómetro PAL-1 ATAGO- (0~53%) POCKET.....	53
<b>FIGURA 15.</b> Analizador de gas de CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> (PBI Dansensor analizador de gas, Checkmate II, Denmark) .....	56
<b>FIGURA 16.</b> Variación del pH en función del tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente en los látex de PVAc- PVA.....	58
<b>FIGURA 17.</b> Variación de la temperatura ambiente de acuerdo a los días transcurridos. ....	59
<b>FIGURA 18.</b> Pérdida en peso en los tomates cherry recubiertos con PVAc-PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente. ....	63
<b>FIGURA 19.</b> Luminosidad en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.....	65
<b>FIGURA 20.</b> Cromaticidad “a” en los tomates cherry recubiertos con PVAc-PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente .....	66
<b>FIGURA 21.</b> Cromaticidad “b” en los tomates cherry recubiertos con PVAc-PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente. ....	67

<b>FIGURA 22.</b> Firmeza en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente .....	68
<b>FIGURA 23.</b> Solidos solubles totales en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente. ....	70
<b>FIGURA 24.</b> Mg/100 g de Vit. C en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente. ....	72
<b>FIGURA 25.</b> Acidez en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente .....	74
<b>FIGURA 26.</b> RCO <sub>2</sub> en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente. ....	75

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue la obtención de látex de poli (acetato de vinilo-alcohol vinílico) PVAc-PVA, mediante polimerización en heterofase ajustado a diferentes pH para aplicarlo como recubrimiento en tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum var. Cerasiforme*).

La presente investigación se realizó en dos instituciones diferentes, una parte del experimento se llevó a cabo en la Planta Piloto #2 del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), la otra parte del experimento se llevó a cabo en el Laboratorio1 del Departamento de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicadas en Saltillo, Coahuila. El diseño utilizado fue uno completamente al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones cada uno consistiendo en T1=Testigo (Sin recubrimiento), T2=LTA(Látex de PVAc-PVA + ácido acético) con pH 2, T3=LTA(Látex de PVAc-PVA + ácido acético) con pH 3, T4= LTA( Látex de PVAc + ácido acético) con pH4, T5= LT (Látex de PVAc-PVA) con pH 5, T6= LTN (Látex de PVAc + hidróxido de sodio) con pH 6, T7=LTN (Látex de PVAc-PVA + hidróxido de sodio) con pH 7 y T8= LTN (látex de PVAc-PVA + hidróxido de sodio) con pH 8. Las variables evaluadas fueron los parámetros fisiológicos como pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable, y tasa de respiración. Otra de las variables fue el pH (potencial hidrógeno) y diámetro de partícula. Se obtuvo para pH que los valores se mantuvieron cercanos a su valor inicial, el látex que presentó la mayor desviación al final del tiempo de almacenamiento fue el de pH inicial de 8.03 mientras que para diámetro de

partícula no hubo diferencia significativa en los tratamientos. La variable de pérdida de peso mostró el valor mayor en el día 15 con 23.36 %, mientras que en la determinación de color, la luminosidad en los tomates recubiertos con látex de pH = 3, fue el único que al paso de almacenamiento aumentó su valor, iniciando con 36.83 y terminó al día 15 con 39.55, mientras que para cromaticidad  $a^*$  y  $b^*$  no hubo diferencias significativas. Para la variable determinación de firmeza se presentaron solo diferencias numéricas; por otro lado la variable de sólidos solubles totales mostró en los tratamientos con látex de pH = 4 y pH = 7 un incremento en los sólidos solubles totales con el tiempo de almacenamiento. La variable acidez titulable presentó una disminución de ácido conforme pasó el periodo de almacenamiento mientras que para la variable respiración presentó en todos los tratamientos una disminución en sus valores a partir del día 5. En conclusión, el pH del látex si tuvo efecto sobre las características fisicoquímicas y de adhesividad del látex de PVAc-co-PVA aplicado como recubrimiento, sin embargo la cubierta plástica de PVAc-co-PVA no causo ningún efecto en los parámetros fisiológicos (pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable y tasa de respiración) evaluados en los frutos de tomate Cherry.

## INTRODUCCIÓN

Una de las causas que promueven la aplicación de recubrimientos en frutas y hortalizas, es la pérdida en algunos casos, de la cera innata de los frutos durante los procesos de limpieza, lavado y desinfección (FAO, 2003). Los recubrimientos comestibles forman una fina capa sobre el alimento y actúan como barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua, mejoran las propiedades mecánicas, mantienen la integridad estructural del producto y retienen compuestos volátiles (Navarro, 2007). La aplicación de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas mejora el brillo y la textura de la corteza, reduce el deterioro de la calidad fisicoquímica y organoléptica, disminuye la pérdida de peso por deshidratación y el intercambio de gases (Pérez, 2004).

Las películas comestibles pueden estar compuestas por: 1) proteínas (gelatina, caseína, etc.), 2) celulosa, almidón o materiales con base en dextrina, 3) alginatos y gomas, 4) ceras, lípidos o derivados de los monoglicéridos y 5) la mezcla de cualquiera de estos grupos (Guilbert, 1986).

Las propiedades funcionales de los recubrimientos comestibles que favorecen a los productos sobre los que se aplican dependen de la naturaleza de sus componentes y de las interacciones entre estos, y pueden ser:

- Disminuyen la pérdida de humedad y por ende la pérdida de peso.
- Reducen la transmisión de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$  y  $N_2$ ), lo que disminuye la tasa de respiración y controla la oxidación de los compuestos (deterioro del fruto).

- Forman una capa de atmósfera modificada en el interior del fruto.
- Controlan la pérdida de compuestos volátiles relacionados al olor y aroma.
- Facilitan la incorporación de aditivos al alimento como: conservadores, aromatizantes, vitaminas, minerales, antioxidantes y colorantes.
- Mejoran la apariencia (color, brillo, transparencia) del fruto recubierto.
- Disminuyen la incidencia de microorganismos (hongos, bacterias, etc.) durante el almacenamiento (McHug *et al.*, 2009; Zehuten y Bagh, 2003).

Los recubrimientos comestibles son considerados los tratamientos poscosecha del futuro. En la actualidad el uso de estos ha sido extendido a muchos frutos y hortalizas (Bhat, Alias y Paliyath, 2012; Grau *et al.*, 2011; Han, 2005). La aplicación de recubrimientos comestibles en frutos frescos es una alternativa interesante para el consumidor debido a que podrían reemplazar a los empaques plásticos, puesto que son biodegradables y amigables con el ambiente (Han, 2005).

Desde el punto de vista alimenticio, las hortalizas se consideran importantes para la dieta del ser humano por ser una fuente de vitaminas, minerales, carbohidratos y fibras; sustancias vegetales indispensables para el desarrollo normal del individuo, sostenimiento de vida y prevención de muchas enfermedades (Alcazar, 2010).

El tomate es asimismo la fuente alimentaria más importante de un pigmento rojo llamado licopeno, que tiene propiedades antioxidantes y puede ser

anticancerígeno. Un elevado nivel de licopeno en el plasma se asocia con una menor incidencia de cánceres, en especial el cáncer de próstata. Además, es una fuente de vitamina A y K imprescindibles en la formación del pigmento visual, el crecimiento, y en el funcionamiento del hígado. Es un alimento tónico y digestivo, que abre el apetito y fortalece el sistema nervioso. Es un fruto climatérico susceptible a la acción mecánica y a la indebida manipulación, disminuyendo su vida útil, calidad y valor comercial, dado que al madurar pierde firmeza con rapidez y ocurren modificaciones organolépticas (2007).

El principal país productor de tomate en el mundo en el año 2008 fue China; aportó el 25.8 % de la producción mundial equivalente a 33, 911,702 toneladas. México se ubica en el número 9 con 2, 936,773 toneladas de tomate, equivalentes a 2. 42 % de la producción mundial (Borbón, 2012).

Existen cinco tipos de tomate, del más pequeño al más grande: cherry, saladette, tipo pera, bola estándar y bola grande.

## **OBJETIVOS**

### **General**

- ✓ Obtención de látex de poli (acetato de vinilo-alcohol vinílico), PVAc-PVA, mediante polimerización en heterofase, ajustado a diferentes pH para aplicarlo como recubrimiento en tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum. Var. cerasiforme*).

### **Específicos**

- Estudiar y analizar el potencial de hidrógeno y diámetro de partícula del látex de PVAc-PVA ajustado a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.
- Recubrir tomates Cherry (*Lycopersicon esculentum. Var. cerasiforme*) obtenidos de un supermercado local y determinar el efecto de la cubierta plástica de PVAc-PVA en parámetros fisiológicos (pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), vitamina C, acidez titulable y tasa de respiración) en condiciones de temperatura ambiente.

## **HIPÓTESIS**

Los recubrimientos de PVAc-PVA permiten la conservación de las propiedades fisicoquímicas en tomates, porque crean una barrera entre el fruto y el ambiente, logrando alargar la vida útil del tomate cherry.

## **JUSTIFICACIÒN**

Las frutas y hortalizas son tejidos vivos hasta el momento en que son consumidas, preparadas para el consumo, o procesadas para conservación, para esto se propone controlar la respiración de estos tejidos vegetales y así mejorar el almacenamiento y alargar su vida de anaquel.

Los tomates, los cuales se caracterizan por su elevado contenido de agua, sufren cambios durante la etapa de posrecolección, presentando fuerte tendencia a la pérdida de peso por desecación, provocando marchitamiento y arrugamiento; a la vez son susceptibles a la invasión por microorganismos y a lesiones por daños mecánicos. Estos cambios no pueden evitarse por completo, únicamente es posible reducir su evolución dentro de ciertos límites, teniendo control sobre las condiciones óptimas de almacenamiento del producto (temperatura y humedad relativa) y un mejor manejo poscosecha. Lo anterior se puede lograr mediante el uso de recubrimientos, por lo que esta investigación propone la aplicación de películas formuladas con PVAc-PVA, ajustadas a diferentes pH; con todo lo anterior se pretende mejorar algunas características del tomate cherry durante poscosecha para alargar su vida útil.

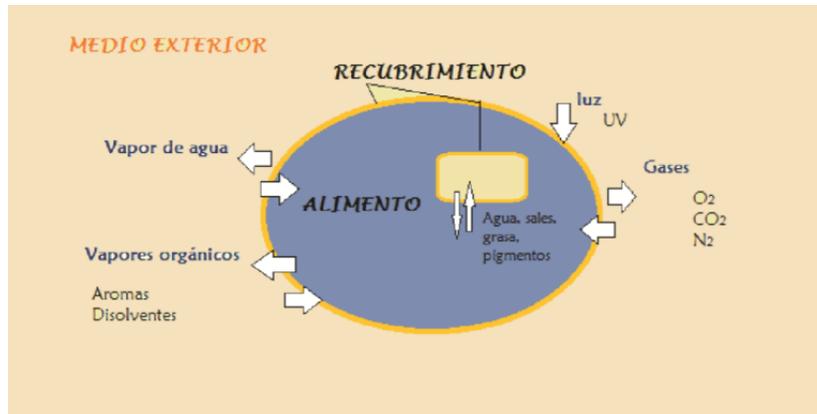
## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Películas y recubrimientos comestibles**

#### **Definición**

Cuando un envase, ya sea una película, una lámina, una capa fina o un recubrimiento, es parte integral de un alimento y se ingiere conjuntamente con él, entonces puede calificarse como “*envase comestible*” (Debeaufort *et al.*, 1998). Un recubrimiento comestible (RC) 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 (García-Ramos *et al.*, 2010). De manera general, las películas y recubrimientos comestibles pueden definirse como cualquier tipo de material utilizado para recubrir alimentos con el fin de prolongar su vida útil y que puede ser ingerido con ellos (Pavlath y Orts, 2009).

Los recubrimientos comestibles son capas delgadas de soluciones formadas por materiales comestibles y biodegradables (polisacáridos, proteínas, lípidos, resinas, ácidos orgánicos, etc.) que se aplican sobre el producto con el objetivo de aumentar su vida útil debido a que permiten una transferencia selectiva de gases, vapor de agua y compuestos aromáticos (Figura 1), además brindan protección contra daños mecánicos y microbiológicos y en frituras controlan la transferencia de lípidos y grasas (Fan *et al.*, 2009; Zehuten y Bagh, 2003).



**Figura 1.** Transferencia de componentes entre el medio externo y el alimento a través del recubrimiento comestible (Lin y Zhao, 2007).

Frecuentemente los términos película y recubrimiento se utilizan indistintamente para indicar que la superficie de un alimento se encuentra recubierta por una capa relativamente fina de un material con una cierta composición. Sin embargo, las películas (también denominadas films) son estructuras independientes que han sido previamente elaboradas y posteriormente aplicadas al alimento, mientras que los recubrimientos (o envueltas) son finas capas de material formadas directamente sobre la superficie de un producto alimentario con la intención de protegerlo o mejorarlo de alguna manera (Krochta, 2002).

Las películas y recubrimientos comestibles pueden ser considerados aditivos ya que no proveen un valor nutricional significativo al alimento; sin embargo, si de alguna forma incrementan el valor nutricional del alimento, pueden ser calificadas como ingredientes (Debeaufort *et al.*, 1998).

## Historia

A pesar de que la utilización de recubrimientos comestibles en alimentos pueda parecer de reciente aplicación, este tipo de tecnologías llevan empleándose desde hace siglos. Ya en China, en los siglos XII y XIII se utilizaban ceras para recubrir cítricos y evitar así su desecación durante el transporte (Hardenburg, 1967).

Posteriormente en el siglo XV, una envuelta comestible denominada *yuba*, elaborada a partir de leche de soja hervida, se utilizaba en Japón y otras regiones de Asia para mejorar el aspecto y mantener la calidad de algunos alimentos (Gennadios *et al.*, 1993). Durante el siglo XVI se practicaba en Inglaterra el recubrimiento con grasa de productos alimentarios, especialmente carnes, para prevenir también la pérdida de humedad (Kester y Fennema, 1986). En el siglo XIX, la sacarosa comenzó a utilizarse como envuelta protectora en nueces, almendras y avellanas para prevenir la oxidación y rancidez durante el almacenamiento. Durante ese siglo, numerosos recubrimientos gelatinosos basados en polisacáridos, incluyendo alginatos, carragenatos, ésteres de celulosa, pectinas y derivados del almidón, se utilizaron para mejorar la calidad de la carne durante su almacenamiento (Contreras-Medellín y Labuza, 1981). Pero quizá la aplicación más importante se produciría en el siglo XX, con el desarrollo de emulsiones de ceras y aceite en agua, utilizadas en frutas para optimizar su apariencia, hacer de vehículo de fungicidas y retrasar la pérdida de agua (Kester y Fennema, 1986).

## **Recubrimientos y películas biodegradables y/o comestibles para alimentos**

El empleo de películas y recubrimientos comestibles constituye a menudo una interesante oportunidad para mejorar la calidad, estabilidad o salubridad de muchísimos alimentos, aunque con frecuencia es necesario limitar el uso de estas películas comestibles a una única aplicación elegida en función de la naturaleza del alimento y de su primer modo de deterioro (Anónimo 1, 2007).

### **Películas poliméricas biodegradables**

Son aquellas que se elaboran con sustancias de origen natural, de composición heterogénea, de tal manera que en un proceso de compostaje se transforman en compuestos de menor complejidad, sufren despolimerización (Anónimo 1, 2007). Es decir, en su proceso de degradación, sus componentes más elementales son capaces de descomponerse en bióxido de carbono, metano, agua, compuestos orgánicos, biomasa, siendo el mecanismo dominante de descomposición la acción dominante de los microorganismos (ASTM, 2005).

La despolimerización incluye tres elementos claves:

- Microorganismos apropiados.
- Medio ambiente favorable.
- Un sustrato de polímero vulnerable, un ambiente cálido y húmedo, con intervalo aceptable de pH, nutrientes y oxígeno, para la aplicación de microorganismos, lo cual conduce a un proceso eficiente de biodegradación.

## **Funciones**

El desarrollo de recubrimientos comestibles y biodegradables responde, por un lado, al creciente interés de consumidores y productores por alimentos de mejor calidad organoléptica, nutricional e higiénica y por otro lado, a una mayor conciencia del impacto medioambiental generado durante los procesos de obtención y eliminación de los envases.

El material de envasado puede evitar el deterioro de los alimentos, disminuyendo la interacción entre el alimento y el medio que le rodea, lo que representa una reducción en la pérdida o ganancia de humedad o aromas, oxidaciones y/o contaminaciones microbianas. Los envases comestibles ofrecen numerosas ventajas respecto a los materiales de envasado poliméricos tradicionales (Gennadios y Weller, 1991; Bourtoom, 2008).

Las películas y recubrimientos comestibles mejoran la calidad de los alimentos, protegiéndolos del deterioro físico, químico y biológico (Kester y Fennema, 1986). Entre sus funciones principales está la de constituir una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua (Krochta y Mulder-Johnston, 1997); mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos (Mellenthin *et al.*, 1982); proteger los alimentos del crecimiento microbiano superficial, de cambios químicos inducidos por acción de la luz, oxidación de nutrientes, etc. (Kester y Fennema, 1986); ayudar a retener compuestos volátiles (Nisperos-Carriedo y Shaw, 1990; Miller *et al.*, 1998). También pueden actuar de vehículo de aditivos alimentarios o sustancias activas como antimicrobianos, antioxidantes, aromatizantes, colorantes, etc. (Kester y Fennema, 1986); además, pueden mejorar las características nutritivas y

sensoriales de los alimentos (Cisneros-Zevallos *et al.*, 1997; Mei *et al.*, 2002). En el cuadro 1 se mencionan algunas de las propiedades funcionales que desempeñan las películas comestibles aplicadas en algunos alimentos.

**Cuadro 1.** Funciones de las películas comestibles.

Reducir la pérdida de humedad.
Reducir el transporte de gases (CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> ).
Reducir la migración de aceite y grasas.
Reducir el transporte de solutos.
Mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos.
Proveer integridad estructural a los alimentos.
Retener los componentes volátiles.
Contener aditivos.

Fuente: Kester y Fennema, 1986.

En muchas aplicaciones de alimentos, la función más importante de las películas comestibles es la reducción de la pérdida de humedad, en la mayoría de los casos las películas comestibles no pueden ser utilizadas en productos con actividad acuosa ( $a_w$ ) mayor a 0.94 por ciento, debido a que se degradan o disuelven con el contacto de humedad y pueden perder sus propiedades de barrera, al menos que la utilización de la película sea para una protección de corto tiempo o el alimento se congele inmediatamente; de lo contrario se pone en riesgo la calidad y seguridad del alimento (Guilbert, 1986). En un principio las

películas y recubrimientos comestibles no se diseñaron con la finalidad de reemplazar totalmente a los materiales de envasado sintéticos, sino que su importancia radicaba en su capacidad para mejorar la calidad del alimento en general, extender el tiempo de vida útil y mejorar la eficiencia económica de los materiales de envasado (Kester y Fennema, 1986). Desde el punto de vista medioambiental, permiten reducir la generación de residuos plásticos de envasado y, a diferencia de otros recubrimientos, se formulan a partir de ingredientes que, en su mayoría, proceden de fuentes renovables o incluso de subproductos contaminantes, como en el caso del lactosuero de quesería.

### **Aplicaciones de las películas comestibles**

El Cuadro 2 muestra un resumen de algunas aplicaciones de las películas comestibles en alimentos (Anónimo 2, 2007).

**Cuadro 2.** Diversas aplicaciones de las películas comestibles.

<b>Propósito</b>	<b>Aplicaciones</b>
Proveer protección individual contra la humedad y oxígeno.	Pescado fresco, queso, carne, productos cárnicos, alimentos de humedad intermedia, alimentos secos, nueces, botana.
Retardar el crecimiento microbiano externo.	Alimentos de humedad intermedia.
Controlar el balance de humedad dentro de un alimento heterogéneo.	Pizzas, pay, sándwiches, pasteles, alimentos heterogéneos congelados.
Mejorar las propiedades mecánicas de un alimento para su posterior procesamiento.	Cacahuates, camarones, botana, cangrejo, jaiba.
Proveer integridad estructural para reforzar la estructura del alimento.	Carne reestructurada, pescado, alimentos liofilizados, carne.
Restringir la migración de humedad.	Frutas de humedad intermedia, horneados, congelados, alimentos batidos, botanas, nueces.
Proteger las piezas de un alimento que estarán dentro de tazas o bolsas.	Quesos o cubos de queso, alimentos congelados, helados, frutas.
Proteger las superficies o el empaçado de la absorción de grasas.	Cubos de queso, fruta seca, botanas, congelados.
Mejorar la apariencia del alimento impartándole brillo.	Productos de confitería, fruta de humedad intermedia, nueces, botana, productos de panificación.
Impartir o mejorar color, sabor y palatabilidad.	Alimentos diversos.
Preservar sabores.	Fruta de humedad intermedia, alimentos secos.

Fuente: adaptada de Guilbert, 1986.

## **Requerimientos de las películas comestibles**

Debido a que las películas son tanto componentes del alimento como empaques del mismo deben reunir los requisitos siguientes:

- Buenas cualidades sensoriales.
- Alta eficiencia mecánica y de barrera.
- Estabilidad bioquímica, fisicoquímica y microbiana.
- Deben estar libres de tóxicos.
- Seguros para la salud.
- No deben de tener contaminantes.
- De bajo costo tanto de materiales como en los procesos (Krochta *et al.*, 1994).
- No deben alterar el sabor ni el olor de los productos.
- Deben constituir una barrera en el intercambio del vapor de agua, gases (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) y otros compuestos volátiles y no volátiles como los aromas.
- Deben ser inocuos.
- La tecnología para la elaboración y aplicación debe ser sencilla. (McHug, Avena y Du, 2009).

## **Componentes de los recubrimientos**

Los principales componentes utilizados en la preparación de recubrimientos comestibles son:

1. Lípidos.- Ceras o derivados de los monoglicéridos (acilgliceroles y ácidos grasos), surfactantes. En general, los lípidos son efectivos retardando la transferencia de humedad dado su carácter hidrofóbico, lo que se traduce en una menor pérdida de peso del fruto, por lo que son sumamente utilizadas. Los lípidos más empleados en recubrimientos comestibles incluyen ceras de origen natural como la cera de abeja,

carnauba, candelilla, así como glicéridos. Pero antes de ser consideradas como películas se consideran como simples cubiertas. Las grasas también son utilizadas para recubrir confitería, pero una de las desventajas es que puede ocurrir rancidez o la superficie se puede poner grasosa (Guilbert, 1986).

2. Proteínas.- Proteínas de origen animal como el colágeno, queratina y gelatina, zeína de maíz, gluten de trigo, aislados de proteína de soya, proteínas de la leche, caseína, albúmina de huevo, lactoalbúmina, suero de leche, alginatos, pectinas. Las películas de proteínas se adhieren fácilmente a superficies hidrofílicas pero en la mayoría de los casos no son resistentes a la difusión del agua, otra desventaja es su sensibilidad a los cambios de pH por lo que deben de limitarse a las condiciones óptimas de su formación (Baldwin, 1994; Gennadios y Weller, 1991).
3. Polisacáridos.- Celulosa, almidón, alginato, carragenanos, pectina, quitosano, celulosa y derivados, celofán, acetato de celulosa, etc. tienen propiedades como barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales. Los polisacáridos y proteínas, son poco eficaces como barreras a la transferencia al vapor de agua (solubles en agua) pero ofrecen una mayor barrera a gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) que los lípidos, proporcionan mejores propiedades mecánicas por lo que son mejores para trabajar con productos frágiles, no aportan sabor y son sensibles al calentamiento (Donhowe y Fennema, 1994).
4. La mezcla de cualquiera de estos grupos.- Otra forma es la combinación entre estos grupos y así tomar ventajas de las propiedades que ofrecen

formando lo que se conoce como “recubrimiento comestible compuesto” utilizando las distintas características funcionales para cada clase de formación de la película. Guilbert (1986), Donhowe y Fennema (1994), definen los sistemas multicomponentes como dos o más componentes que se mezclan con el propósito de complementarse y aumentar la capacidad de retención de agua así como conservar características físicas como firmeza y brillo entre otras.

### **Los recubrimientos comestibles compuestos**

Los recubrimientos comestibles compuestos se les conoce también como “composites” y son aquellos que están formados por varios componentes como polisacáridos, proteínas, lípidos, resinas, plastificantes, emulsionantes y otros aditivos (antioxidantes, antimicrobianos, nutrientes y saborizantes) con el objetivo de integrar en un solo compuesto sus características y propiedades físicas, químicas y/o biológicas (Guilbert *et al.*, 2011; Han, 2005).

Los recubrimientos comestibles compuestos pueden estar en forma de: emulsión, suspensión, dispersión de sustancias no miscibles, capas (multicapas, bicapas) o en solución. La forma más fácil es en emulsión debido a que en su utilización solo se requiere una aplicación y un proceso de secado (Bourtoom, 2008).

Además de estos componentes básicos, se añaden plastificantes, surfactantes, emulsificantes, etc. que ayudan a mejorar la integridad mecánica de la dispersión y de la película.

## 1. - Plastificantes (ceras, aceites, ácidos grasos).

El plastificante es un factor muy importante, ya que afecta las propiedades mecánicas y la permeabilidad de la película. Los plastificantes alteran la estructura de las películas, la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases o agua (Guilbert, 1986).

Los plastificantes que se usan en la industria de los alimentos incluyen:

- Monosacáridos, disacáridos, y oligosacáridos (glucosa, jarabes de glucosa o fructosa, miel).
- Sorbitol, glicerol, y derivados del glicerol.

## 2.- Antioxidantes y conservadores químicos.- Ácido benzoico, y ácido sórbico.

La influencia que tendrán estos aditivos en las propiedades de las películas dependerá del grado de concentración, en la estructura química, en el grado de dispersión en la película y en la interacción con los polímeros.

### **Ventajas y desventajas del uso de películas comestibles**

Guilbert (1986) menciona algunas de las ventajas al utilizar películas comestibles:

- Pueden ser ingeridas por el consumidor.
- Aumentan la vida de anaquel del producto.
- Reduce los procesos de respiración y transpiración.
- Su costo es generalmente bajo.
- Su uso reduce los desechos y la contaminación ambiental.

- Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos.
- Resaltan el brillo de frutos mejorando su apariencia.
- Proporcionan protección individual a pequeñas piezas o porciones de alimento.
- Pueden ser usadas en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes.

Algunas desventajas al aplicar recubrimientos comestibles:

- Pueden provocar pudrición al atrapar microorganismos patógenos en rajaduras y lesiones minúsculas.
- Recubrimientos de polisacáridos, por ser de naturaleza hidrófila, no funcionan bien como barrera física a la humedad. La disminución de la permeabilidad al oxígeno puede ayudar a preservar ciertos alimentos, ya que la presencia de oxígeno puede acelerar la pérdida de la calidad nutritiva y sensorial de los alimentos (Singh, 1994).
- Los recubrimientos de proteínas son hidrófilos y susceptibles a la absorción de la humedad, y por lo tanto la humedad relativa y la temperatura pueden afectarlos. Recubrimientos a base de proteína no han sido aplicados en frutas y hortalizas debido a su limitada resistencia al vapor de agua (Gennadios y Weller, 1991).

- Los recubrimientos a base de lípidos, en el caso de las ceras crean una atmósfera interna baja en O<sub>2</sub> y alta en CO<sub>2</sub>, dando malos sabores a los productos (Pantastico, 1984).

### **Formas de aplicación**

1. En forma de espuma: sobre una cabeza de cepillo adecuada se monta un generador de espuma y el tipo de recubrimiento (líquido) se aplica al fruto en forma de espuma.
2. En forma de aspersión: la aplicación tiende a desperdiciar producto, esta forma de aplicación es mediante el uso de boquillas hidráulicas o neumáticas las cuales asperjan el producto y van montadas sobre un transportador de rodillos o cepillos. Se puede ajustar la cantidad aplicada cambiando las boquillas y la presión.
3. En forma de inmersión: la inmersión implica meter el fruto durante 30 segundos en un tanque que contiene el recubrimiento.
4. Con cepillos: la aplicación con cepillos es eficiente, se coloca el recubrimiento en un cepillo aplicador montado sobre el transportador de rodillos; siendo distribuida sobre el cepillo por medio de un brazo viajero, con el cual se puede controlar el flujo del recubrimiento. Para evitar daños en los frutos el movimiento del cepillo debe mantenerse a la velocidad mínima efectiva (Martínez, 2000)

### **Polímeros**

#### **Concepto y clasificación**

Una macromolécula (o un polímero) es una especie química de muy elevado peso molecular. La palabra “polímero” deriva del griego *poly*, muchos; *meros*, parte (muchas partes). Los polímeros son macromoléculas cuyo elevado

tamaño se alcanza por la unión repetida de pequeñas moléculas denominadas monómeros. La unión se realiza en secuencia, una unidad después de otra, formando una cadena, en que cada unidad que se repite forma un eslabón, siendo el número de eslabones o número de unidades monoméricas el grado de polimerización. Una cadena de polímero se describe especificando el tipo de unidad que se repite y su agrupamiento espacial. Las moléculas compuestas de unidades química y estereoquímicamente iguales se denominan homopolímeros. Cuando la cadena se compone de varios tipos de unidades repetitivas se denominan copolímeros (Madruga, 1995). Las cadenas pueden unirse de varias formas, siempre conservando las reglas de valencia, por tanto dependiendo de la forma en que se unan los monómeros puede ser la forma geométrica de las macromoléculas:

1. Homopolímero lineal.
2. Molécula ramificada o no lineal.
3. Estructuras ramificadas.

Ahora bien, las cadenas lineales pueden estar formadas por diferentes clases de unidades estructurales. Tales cadenas denominadas copolímeros presentan propiedades dependiendo del tipo de unidad que lo forma y de la distribución a lo largo de la cadena, dependiendo de la unidad estructural pueden agruparse en (Madruga 1995):

1. Copolímero alternante
2. Copolímero de bloque
3. Copolímero al azar

## **Elaboración de los polímeros (Polimerización)**

Las sustancias de bajo peso molecular con funcionalidad apropiada (monómeros) pueden convertirse en polímeros mediante reacciones de condensación o mediante reacciones de adición.

Aunque los métodos de síntesis se denominaron en un principio policondensación y poliadición, actualmente, se denomina polimerización por pasos y polimerización en cadena.

### a) Polimerización por pasos (policondensación).

Emplea dos monómeros difuncionales (o un monómero con dos grupos funcionales distintos). Para que en las reacciones de polimerización se alcancen pesos moleculares razonables elevados es necesario que se cumplan tres funciones:

1. Perfecto balance estequiométrico de los monómeros.
2. Un alto grado de pureza de los monómeros.
3. La reacción responsable de la polimerización debe tener un alto rendimiento y no presentar reacciones laterales.

### b) Polimerización en cadena (poliadición).

Los monómeros empleados en este tipo de polimerización contienen un doble enlace carbono-carbono que participa en la reacción. El mecanismo de polimerización consta de tres etapas (Madruga, 1995):

1. Iniciación.- Una molécula denominada iniciador se descompone térmicamente o experimenta una reacción química que genera especies activas.
2. Propagación.- Las especies activas generadas añaden otra unidad monomérica.
3. Terminación.- En esta etapa, la cadena en crecimiento termina por reacción con otra cadena en crecimiento.

## **Técnicas utilizadas en las reacciones de poliadición**

En las reacciones de poliadición pueden distinguirse los procesos homogéneos (masa y solución) y los procesos heterogéneos (precipitante, suspensión y emulsión).

1. Polimerización de adición en masa.
2. Polimerización en solución.
3. Polimerización precipitante.
4. Polimerización en suspensión.
5. Polimerización en emulsión.- Fue empleada por primera vez durante la segunda guerra mundial en la producción de caucho sintético y actualmente es el proceso predominante en la obtención de poliacetato de vinilo, poliacrilatos, policloropreno y copolímeros de estireno.

## **Empleo de los polímeros**

Los tres usos comerciales más importantes de los polímeros son:

1. Hules.
2. Fibras.
3. Plásticos.

## **Polímeros de utilidad comercial**

- ❑ Dacrón (cintas de grabadora).
- ❑ Resinas alquídicas (fabricación de cascos para embarcaciones y carrocerías de automóviles o camiones).

- Nylon (alfombras, telas, cuerdas y partes de maquinaria).
- Poliuretanos (fabricación de espumas flexibles como cojines, asientos de automóvil).
- Baquelita (balatas para frenos, mangos de cuchillos, fabricación de lijas).
- Acetato de polivinilo (de bajo peso molecular).- Se emplean para mezclarlos con el chicle natural en la fabricación de goma de mascar (Madruga, 1995).

### **Polimerización en microemulsión**

Si tratamos de mezclar agua y aceite en presencia de un surfactante, mediante agitación vigorosa, observamos la formación de un sistema opaco con apariencia lechosa llamada emulsión. Si a este sistema se le agrega un alcohol de bajo peso molecular ( $C_3 - C_4$ ) se observará que se tornará transparente. Schulman (1943) observó que una emulsión turbia e inestable podía ser convertida en una mezcla transparente y estable al agregar un alcohol de bajo peso molecular ( $C_3 - C_6$ ). Schulman supuso que las gotas emulsificadas se rompían en otras mucho más pequeñas y se refirió a estas mezclas como microemulsiones. Stoffer y Bone (1980) fueron los primeros en reportar una polimerización en microemulsión (acrilato de metilo y metacrilato de metilo). Este proceso de polimerización se ha venido empleando desde los años ochenta como una extensión de los estudios realizados sobre el empleo de microemulsiones para la recuperación de petróleo.

Por otra parte, uno de los primeros reportes sobre polimerización en microemulsión con acetato de vinilo es el de Nikitina, Spiridonova y Taubmann (1970) que trabajaron en un sistema aceite-agua (o/w), reportaron que los tamaños de partículas dependían de la concentración y estructura molecular del surfactante.

Mediante la polimerización en microemulsión, se pueden obtener látex con propiedades diferentes a las obtenidas mediante los procesos de polimerización en solución, masa, suspensión, e incluso en emulsión, ya que las partículas obtenidas por microemulsión tienen un tamaño menor a 50 nm, con distribuciones de tamaños de partículas estrechas, alto peso molecular y un látex transparente; por tales motivos ha tenido aplicaciones en el área médica (microencapsulación y liberación de fármacos), biológica (biopolímeros), e industrial (recubrimientos de superficies, adhesivos, fotografías).

Algunas de las ventajas que presenta la polimerización en microemulsión con respecto a otros procesos de polimerización son:

- ❑ El control de temperatura de reacción es fácil.
- ❑ La velocidad de polimerización es mucho mayor que la que se obtiene por otros procesos.
- ❑ Se obtienen pesos moleculares grandes y altas velocidades de reacción al mismo tiempo.

### **Alcohol polivinílico (PVA)**

Es reconocido como un polímero biodegradable. Es fácilmente consumido por los microorganismos y degradado por enzimas cuando se expone al medio ambiente natural (Chiellini *et al.*, 1999; Spiridon *et al.*, 2008). Además, tiene múltiples usos en la preparación de materiales plásticos, en la industria textil y en la industria farmacéutica. En esta última se emplea como excipiente, como adhesivo, como formador de películas y como matriz (Carera *et al.*, 2007). Administrado por vía oral, el PVA es relativamente inofensivo. La seguridad del PVA se basa en que la toxicidad oral de PVA es muy baja (DL 50 con un intervalo de 15-20 g kg<sup>-1</sup>), debido a que es muy pobremente absorbido en el tracto gastrointestinal, no se acumula en el cuerpo, y no es mutagénico o clastogénico. Una evaluación crítica de la información existente sobre PVA apoya su seguridad para su uso como un agente de recubrimiento para productos farmacéuticos y suplementos dietéticos (DeMerlis y Schoneker, 2003).

### **El acetato de polivinilo (PVAc)**

Es otro material polimérico de importancia comercial obtenido, principalmente, mediante polimerización en emulsión, es no tóxico, ha sido empleado en la protección de productos farmacéuticos, en el queso para protegerlo de los hongos y la humedad. Se usa como base de plástico neutro para la goma de mascar ya que es un sustituto barato de la savia gomosa natural del árbol *Manilkara zapota*. (Anónimo 3, 2012). Además, se conoce que el PVAc de peso molecular mínimo de 2 kDa ha sido aprobado exitosamente por el United States

Food and Drug Administration (US FDA) como aditivo directo en alimentos como goma de mascar y otros relacionados. Los reportes al respecto sugieren que el PVAc no representa un riesgo para la salud humana dentro de los límites y especificaciones establecidas (Hagenmaier y Grohmann, 1999).

### **Obtención del látex de PVAc y PVA**

La polimerización en micro emulsión es el proceso para la obtención del látex de PVAc y PVA para la formación del recubrimiento. Las microemulsiones son dispersiones de una fase orgánica líquida en forma de gotículas en otra fase de mayor cantidad, llamada fase continua. Con este proceso se pueden obtener látex con polímeros de pesos moleculares altos a velocidades de reacción elevadas y con dimensiones de diámetro de partícula nanométricas. Para llevar a cabo una polimerización en microemulsión, se requiere de un agente tensoactivo en agua, luego se adiciona el monómero (insoluble en agua) el cual se repartirá entre las micelas formadas por el tensoactivo, quedando una pequeña cantidad solubilizado en la fase acuosa. Posteriormente, se necesita un iniciador soluble en agua, el cual empieza a descomponerse para generar radicales libres, los cuales entran a las micelas hinchadas para reaccionar con el monómero que está dentro de ellas y así iniciar la reacción de polimerización. Una vez que la reacción de polimerización inicia, a estas micelas se les denomina partículas. Entre los tensoactivos utilizados para la polimerización en microemulsión, encontramos al dodecil sulfato de sodio (SDS) el cual presenta una toxicidad baja (DL50 de 1.427 mg kg<sup>-1</sup>) (Merck, 2010) relacionado con pequeñas cantidades necesaria para la polimerización. Se ha reportado por

Cortez (2006), el uso de látex de PVAc y P (VAc-co-VA) respectivamente obtenido mediante polimerización en microemulsión, para el recubrimiento de tomate durante su almacenamiento, observando una menor tasa de respiración, así como una menor pérdida de peso en frutos recubiertos respecto al testigo, discutiendo que los resultados obtenidos respondieron a las propiedades de barrera del recubrimiento.

### **Biopolímeros implementados en el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles**

- Quitosano: es un biopolímero, que ofrece un amplio potencial de aplicación en la industria alimentaria debido a sus propiedades fisicoquímicas particulares, tales como biodegradabilidad, biocompatibilidad con los tejidos humanos, el no ser tóxico y en especial sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas. Estos aspectos lo hacen de vital interés para la preservación de alimentos y las tecnologías emergentes (Aider, 2010).

Nuevas investigaciones y revisiones recientes frente al uso de quitosano reúnen diversa información referente al efecto de su grado de desacetilación sobre la actividad antimicrobiana, su uso dentro del diseño de nuevas películas basadas en compuestos bioactivos y su interacción frente a otros componentes que hacen parte de los alimentos frescos y mínimamente procesados, tratados con esta tecnología (No *et al.*, 2002; Devlieghere *et al.*, 2004; Aider, 2010; Martínez-Camacho *et al.*, 2010).

- Goma policaju: a partir de la goma exudada del árbol de marañón (*Anacardium occidentale L.*) se han generado nuevas matrices de recubrimiento y películas comestibles a base de goma policaju. Éstas han sido evaluadas teniendo en cuenta su opacidad, fuerza tensil, porcentaje de elongación a la rotura y permeabilidad al vapor de agua. Además, propiedades tales como humectabilidad y tensión superficial fueron cuantificadas mediante su uso como recubrimiento en manzanas cv. Golden. Como resultados se pudo determinar que concentraciones menores a 1.5% w/v de goma policaju crearían películas frágiles, la adición de Tween 80, aditivo que cumplió funciones como surfactante, redujo las fuerzas de cohesión por lo tanto se disminuyó la tensión superficial, aumentando la humectabilidad de la solución de recubrimiento, y mejorando de ese modo la compatibilidad del RC con la superficie de la fruta (Carneiro-da-Cunha *et al.*, 2009).

Recubrimientos comestibles a base de goma policaju fueron probados en mango fresco (*Mangifera indica* var. *Tommy Atkins*), con el objetivo de determinar su efecto en la vida de anaquel de dicho producto fresco en refrigeración. Como resultado se pudo determinar que actúa como una barrera frente al transporte de masa al reducir la pérdida de peso (Souza *et al.*, 2010).

- Galactomananos: son hidrocoloides que generan interés por su capacidad para estructurar matrices. Se encuentran almacenados como polisacáridos de reserva, son extraídos de semillas, y su estructura polimérica se encuentra influenciada principalmente por la proporción de

unidades de manosa/galactosa y la distribución de los residuos de galactosa en la cadena principal (Cerqueira *et al.*, 2009). *Adenanthera pavonina* y *Caesalpinia pulcherrima*, dos plantas pertenecientes a la familia de las leguminosas fueron recientemente utilizadas con el objetivo de desarrollar recubrimientos a partir de nuevas fuentes de galactomananos. Estas plantas son de valioso interés ya que cumplen funciones de reforestación, tienen la capacidad de dispersarse y hasta ahora no son objeto de explotación comercial (Lima *et al.*, 2010).

- Aloe vera: el gel extraído de la pulpa de *Aloe Barbadensis miller* ha recibido un especial interés por la capacidad de actuar como recubrimiento (Valverde *et al.*, 2005) y su actividad antioxidante como respuesta a la presencia de compuestos de naturaleza fenólica (Lee *et al.*, 2000).

### **Generalidades del tomate**

El cultivo del tomate ocupa un lugar importante entre las hortalizas en el mundo. El tomate, conocido también como jitomate o tomate rojo, es un producto muy apetecido (Mondoñedo, 1983). La aceptación que el tomate tiene en las diversas culturas del mundo, se evidencia por ser el segundo producto hortícola en el consumo mundial, lo cual nos indica el enorme valor que este cultivo representa no solo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial (Anónimo 4, 2007). Además, es una importante materia prima para la industria de transformación. El tomate tiene importancia mundial por las siguientes razones:

- Su variedad de uso para el consumo fresco.
- Su variedad de uso como ingrediente principal en jugos, pastas, bebidas y otros concentrados.
- Su sabor universalmente apreciado, ya que existe una gran variedad de recetas culinarias.
- Su alto valor nutritivo, porque contiene relativamente mucha vitamina A y C.
- Su alto valor comercial por unidad de superficie cultivada.

Según la finalidad del producto, se puede diferenciar el cultivo de tomate para fines de consumo en fresco y el cultivo de tomate industrial para la elaboración de otros alimentos. De acuerdo con esta finalidad se usan distintas variedades. Sus técnicas de cultivo también difieren. Ocasionalmente, se usan variedades de tomate industrial en la producción de tomate para el consumo fresco (Mondoñedo; 1983).

El tomate, es la aportación vegetal de México más extendida mundialmente, además de considerársele como centro de su domesticación, siendo una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país, además de ser el principal producto de exportación, ya que representa el 37% del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas y el 16% del valor total de las exportaciones agropecuarias, solo superadas por el ganado vacuno (Anónimo 4, 2007).

## **Clasificación botánica**

Botánicamente el tomate pertenece a la familia de las Solanáceas, el género *Lycopersicum* y a la especie *esculentum* (Tirilly and Claude; 2002).

## **Estructura del fruto**

El fruto del tomate está constituido básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y semillas. El pericarpio lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna o columela. El fruto se origina de la pared del ovario y consta de un exocarpio o piel, un mesocarpio y el endocarpio.

## **Valor nutritivo**

El fruto de tomate es una fuente de vitaminas C, A, B<sub>1</sub>, y B<sub>2</sub>, abundante en potasio y bajo en energía calorífica. En su madurez el fruto contiene un 95% de agua y el resto (5%) son sólidos. El 55% de los sólidos lo componen los azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa); el 21% sólidos insolubles, alcohol, proteínas, celulosa, pectina, polisacáridos; el 12% ácidos orgánicos (cítrico, málico, galacturónico); el 7% compuestos inorgánicos (fósforo y potasio) y el 5% lo componen el ácido ascórbico, compuestos volátiles y aminoácidos (Martínez, 2004).

## **Principales tipos de tomate**

En el Cuadro 3 se muestra como en México se cultiva una gran variedad de tomates, los cuales para fines prácticos, pueden ser clasificados, según la

SAGARPA, como: tomate cherry, tomate cherry orgánico, tomate rojo orgánico; tomate rojo (exportación); tomate rojo (industrial); tomate rojo (fresco), tomate rojo de invernadero, tomate rojo saladette y tomate rojo para semilla (SIACON, 1980-2001).

**Cuadro 3.** Producción por tipo de jitomate en México (Toneladas).

TIPO DE TOMATE	2004	2005	2006	2007	2008
cherry	54,592	59,107	44,480	36,017	34,847
cherry (orgánico)	684	2,797	2,909	4,061	5,119
rojo (orgánico)	3,800	350	18,118	6,008	22,801
rojo (exportación)	282,801	258,511	248,379	265,146	297,828
rojo (industrial)	26,100	200	35,466	15,272	27,572
rojo saladette	783,506	1,008,870	994,738	1,315,052	1,273,965

Fuentes: SIAP (Sagarpa, 2010)

### **El tomate Cherry y sus características**

En su lugar de origen es una planta perenne y en las zonas no tan cálidas es cultivada como planta anual. La planta es de tipo mata, con tallo erguido y ramificado (cuando sus frutos crecen llegan a tumbar la planta), recubierta en su totalidad por vellosidades, alguna de las cuales son glandulares con sustancias de olor muy característico. Las hojas son alternas y compuestas, con

margen dentado y están recubiertas de las mismas vellosidades que el tallo. Posee raíz compuesta de una estructura muy ramificada. Las flores producen unas bayas globosas y carnosas de color rojo y forma variada, conocidas con el nombre de tomate. Las semillas están inmersas en una pulpa bastante líquida de agradable sabor (Warnock, 1988). Se produce en plantas de crecimiento indeterminado. Es pequeño y de piel delgada. Se agrupan en ramilletes de 15 a más de 50 frutos, tiene sabor dulce, existen de color rojo y amarillo (SAGARPA, 2010).

El tomate Cherry conocido como tomate cereza, es originario de la costa oeste de Sudamérica, propio de climas tropicales y sub tropicales. Es una variedad del tomate tradicional, de menor tamaño, con forma redondeada y con un color intenso. Tiene un diámetro de entre 1 y 3 centímetros y su peso oscila entre los 10 y 15 gramos (Erosky, 2006). Los criterios de calidad del tomate Cherry son estrictos, persiguiendo un fruto de intensa coloración roja, gran firmeza y un contenido de azúcar no inferior a 4.5° Brix (Urrestarazu, 2004).

### **Manejo Poscosecha**

La etapa poscosecha del cultivo de tomate para fines industriales abarca el periodo comprendido entre el momento en que el fruto es recolectado en el campo o invernadero y su entrada en la línea de fabricación para ser sometido a algún proceso de transformación industrial. Durante la poscosecha se realizan al menos las siguientes operaciones: carga de los frutos cosechados al vehículo de transporte, transportación hasta la planta industrial, descarga en la

recepción de la fábrica y almacenamiento del fruto hasta la entrada a las líneas de producción (Von Haeff, 1983; Nuez, 2005).

### **Métodos de Cosecha para Tomate**

La cosecha del tomate puede ser realizada en forma manual o mecánica. La forma manual se utiliza principalmente para el consumo del tomate en fresco, aunque también se utiliza para la industria. Por otra parte, la recolección mecánica se utiliza casi exclusivamente para el tomate industrial (Nuez, 2001). La recolección se efectúa cada dos o tres días según la temperatura de 10 a 12.5 °C y la velocidad de la maduración. El tomate para la industria se cosecha cada 10 ó 15 días, cuando se obtenga el color rojo maduro indispensable en el tomate para procesamiento industrial. En el caso de la cosecha manual para consumo en fresco, el tomate puede cortarse junto con el cáliz y la base del pedúnculo, pero comúnmente se cosecha el fruto dejando el cáliz en la planta. Esto hace una leve herida que seca rápidamente. Así se evita que los pedúnculos dañen a otros frutos en el empaque. Esto es indispensable para cumplir con las exigencias de calidad para tomate de consumo fresco. En la recolección manual se requieren cestos o cajones para el transporte de la plantación hacia la sección de clasificación y empaque. La recolección de tomate para la industria se puede realizar tanto manual como mecánicamente. Las máquinas suelen estar equipadas con un mecanismo para la clasificación por tamaños y un aparato para la separación de tomates verdes y tomates rojos (Von Haeff, 1983).

## **Vida de anaquel del fruto**

El tomate es un producto perecedero, el cual tiene una vida de anaquel máxima de hasta tres semanas en promedio, dependiendo no solo de la variedad y las condiciones del corte sino también depende del manejo que se le dé al producto como lo es el transporte, almacenamiento, refrigeración, etc. (Nuez, 2001).

## **Pérdidas poscosecha**

Existen causas de las pérdidas poscosecha, las cuales pueden agruparse en primarias y secundarias (Martínez, 2004):

Causas primarias.-

- a) Biológicas y microbiológicas: básicamente plagas y enfermedades
- b) Químicas y bioquímicas: contaminación con pesticidas y productos químicos, oscurecimiento fenólico, toxinas y sabores desagradables producidos por enfermedades.
- c) Mecánicas: heridas, abrasiones, caídas y desgarres durante el corte.
- d) Medio ambiente: sobrecalentamiento, heladas y deshidratación.
- e) Fisiológicas: Brotación, envejecimiento y cambios causados por la respiración y transpiración.

Causas secundarias.-

- a) Secado o encerado inadecuado.
- b) Infraestructura de almacenamiento y/o mala administración.

- c) Transporte inadecuado.
- d) Planificación inadecuada de la producción y de la cosecha.
- e) Sistema de mercadeo inadecuado.

### **Madurez fisiológica y comercial**

El grado de madurez es el índice más usado para la cosecha de frutos, en poscosecha madurez fisiológica y madurez comercial tienen significados completamente distintos, la primera se refiere al estado de desarrollo de la fruta. Todas las frutas necesitan un periodo mínimo de desarrollo antes de la recolección. Fruta madura es la que al momento de ser cosechada tiene o puede alcanzar propiedades comestibles aceptables. Comercialmente, la madurez comprende todos aquellos procesos que tienen lugar desde que inicia el cambio de color, tamaño, forma, textura, dureza y olor para su consumo (Sandoval, 1997).

### **Calidad del fruto**

La calidad del tomate se basa en la uniformidad de forma, firmeza, sabor, valor nutritivo, color, ausencia de defectos de crecimiento y manejo, y una larga vida de almacenamiento, esto va a depender de la variedad, influencias climatológicas y prácticas culturales. El tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial.

## **Parámetros de calidad**

### **Peso del fruto**

La diferencia entre la humedad relativa del producto y la existente en su entorno, es la que provoca la transferencia de agua desde los frutos a la atmósfera que los rodea y, en consecuencia, produce pérdida de peso, marchitamiento y pérdida de calidad comercial, esto es consecuencia de factores ambientales y del propio fruto como tamaño, estado de madurez, permeabilidad de la epidermis, etc. (Nuez, 2001).

### **Sólidos solubles totales (°Brix)**

Osuna (1983); define los °Brix como sustancias solubles en agua que reflejan el porcentaje de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos. A mayor valor es más deseable, un valor mayor o igual a 4.0 es considerado bueno. Existe una correlación directa entre sólidos solubles y firmeza, a mayor concentración mayor firmeza.

Jones y Scott, (1983); señalan que el sabor del tomate está determinado principalmente por los niveles de azúcar y ácidos, por lo que al incrementar éstos, aumenta también el sabor característico del fruto. Los azúcares glucosa y fructosa constituyen el 65% de los sólidos solubles, mientras que el resto está constituido por ácido cítrico y málico. Un aumento de sólidos solubles dará como consecuencia aumento en el sabor.

## **Firmeza**

La firmeza es una característica que determina la calidad y la vida de poscosecha de muchos frutos y hortalizas (Aguilar, 2004). El conjunto de sustancias responsables de la dureza de los frutos (pectinas, celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, cationes), en la fase de crecimiento sufren modificaciones importantes durante la maduración que conducen al ablandamiento de los tejidos y a su comestibilidad. Para el consumidor el factor más importante es la firmeza (tacto), por lo que es importante que esta se conserve durante la comercialización en fresco (Aguilar, 2004).

## **Color**

El color representa una medida de calidad total y en muchas ocasiones es la más importante y/o única a considerar (Nuez, 2001). El cambio de color, se debe principalmente a la degradación de clorofilas, proceso que permite la percepción de otros pigmentos que ya se encontraban en el cloroplasto o que se sintetizan de nuevo en el proceso de la maduración, adquiriendo el fruto la coloración amarilla, roja, naranja. Estas coloraciones se deben a la presencia de carotenoides (amarillo, rojo), compuestos fenólicos pigmentados como flavonoides (amarillo) y antocianinas (rojos y azules) (Aguilar, 2004). Los cambios de color tienen lugar en la piel y pulpa del fruto como consecuencia de las modificaciones de los pigmentos fotosintéticos. Para la determinación de la madurez sobre la base del color, se utilizan escalas visuales que ilustran el

desarrollo o porcentaje de cubrimiento de la superficie del fruto con el color deseado o a través del uso de un colorímetro (Aguilar, 2004).

### **Respiración (desprendimiento de CO<sub>2</sub>)**

Las frutas y hortalizas frescas necesitan respirar a fin de obtener la energía suficiente para mantener la vida. Respiran absorbiendo oxígeno de la atmósfera y liberando dióxido de carbono, durante la respiración la producción de energía proviene de la oxidación de las propias reservas de almidón, azúcares y otros metabolitos, una vez cosechado, el producto no puede reemplazar estas reservas que se pierden y la velocidad con que disminuyen será un factor de gran importancia en la duración de la vida de poscosecha del producto.

Para la conservación del tomate es conveniente considerar que:

- Las tasas respiratorias varían mucho según el producto de que se trate.
- La tasa respiratoria está relacionada con la vida de anaquel y la calidad del producto.
- Disminuir la temperatura reduce la respiración y mantiene la calidad.

Cuando cortamos un fruto u hortaliza no solo se suprime la entrada de agua y elementos nutritivos, si no que se producen cambios en su atmósfera interna, la intensidad de respiración del fruto aumenta en función directa con la temperatura del medio en el que se encuentre, los órganos que tengan una actividad respiratoria elevada, tendrán dificultades de conservación incluso durante periodos de tiempos cortos (Nuez, 2001).

## **Vitamina “C”**

También conocida como ácido ascórbico, es una vitamina que el cuerpo del ser humano no la puede sintetizar, por lo que necesitamos ingerirla de alimentos que si la contienen. Esta vitamina es considerada como un antioxidante, fácilmente soluble en agua. El contenido de vitamina “C” en tomate varía de acuerdo a Cortéz, 2006:

- Su grado de madurez al ser cosechado.
- Almacenamiento poscosecha.

## **Ácido cítrico**

El ácido cítrico se obtenía originalmente por extracción física del ácido del zumo de limón. Hoy en día la producción comercial de ácido cítrico se realiza sobre todo por procesos de fermentación que utilizan dextrosa o melaza de caña de azúcar, como materia prima, y *Aspergillus niger* como organismo de fermentación. En hortalizas los ácidos orgánicos son compuestos responsables de sabor más o menos ácido; entre ellos, el ácido cítrico el cual es mayoritario en hortalizas de hoja, remolacha o tomate (Anónimo 5, 2004).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se llevó a cabo en dos instituciones diferentes, ubicados en Saltillo, Coahuila. Una parte del experimento se llevó a cabo en la Planta Piloto # 2 del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y la otra parte del experimento se llevó a cabo en el Laboratorio 1 de Alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **Materiales**

- Charolas de plástico.
- Vasos desechables.
- Vasos de precipitado de 50 mL.
- Soporte universal.
- Bureta de 50 mL.
- Gasa absorbente estéril de 10 x 10 cm.
- Probeta graduada de 100 mL.
- Espátula.
- Frascos de vidrio de 1 L.
- Frascos de vidrio de 400 mL.
- Viales de 10 mL.
- Agitadores.
- Jeringa GasTight (Hamilton Company) de 2.5 y 100 mL.
- Pizeta de 500 mL.

- Pipetas Pasteur de 3 mL.
- Servilletas de papel.
- Reactor de 500 ml.
- Hielos.
- Vaselina racel.

### **Reactivos**

- Ácido acético concentrado.
- Hidróxido de sodio 0.1N y 0.01 N.
- Reactivo de Thielmann.
- Ácido clorhídrico 2%.
- Agua destilada.
- Persulfato de amonio (APS).
- Dodecil sulfato de sodio (SDS).
- Éter etílico.
- Alcohol polivinílico (PVA).
- Acetato de vinilo (VAc).

### **Equipos**

- Dispensor de luz MICROTRAC.
- pH metro de mesa HANNA INSTRUMENTS.
- Potenciómetro pH/EC/TDS WATERPROOF FAMILY HI98129-HI98130.
- Fotocolorímetro MINOLTA CR- 400.
- Balanza analítica Scout Pro – SP OHAUS.

- Refractómetro PAL-1 ATAGO- (0~53%) POCKET.
- Penetrometro EXTECH INSTRUMENTS TESTER- FHT200.
- Parrilla eléctrica LAB COMPANION.
- Batidora 9 en 1 MASTER CRAFT EC 51034.
- Bomba dosificadora (KD Scientific.)

### Material vegetal

Para este experimento el material que se utilizó para la evaluación fue tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum*. Var. *cerasiforme*) comercializado con la marca “GLORYS”, (Figura 2). Los tomates fueron adquiridos en un supermercado local, encontrándose en un estado maduro, se seleccionaron tomates de igual tamaño, muy buena firmeza y no se observaban lesiones físicas por hongos.



**Figura 2.** Tomates Cherry de la marca Glorys.

Los tomates se obtuvieron un día antes por la tarde, para posteriormente trasladarlos al laboratorio 1 de Alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Estos se encontraban protegidos por charolas de

plástico. Al día siguiente los tomates se lavaron con agua potable y cloro, para dar inicio a la instalación de la fase experimental.

### Descripción de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos se hizo como se muestra en el cuadro (4), pero primero fueron ajustados los pH de las diferentes muestras de látex, con ayuda de una jeringa GasTight (Hamilton Company) de 2.5 mL para agregar gota por gota; con ácido acético para los de pH = 2 a pH = 4 y con hidróxido de sodio para los de pH= 6 a pH = 8, (Figura 3); el látex se mantuvo en agitación en una parrilla eléctrica, se utilizó un potenciómetro digital para estar monitoreando el pH de cada muestra.



**Figura 3.** Látex ajustados a diferentes pH con ácido acético e hidróxido de sodio.

**Cuadro 4.** Descripción y aplicación de los tratamientos.

#	Tratamientos	Características
1	Testigo	SR
2	pH 2	LTA
3	pH 3	LTA
4	pH 4	LTA
5	pH 5	LT
6	pH 6	LTN
7	pH 7	LTN
8	pH 8	LTN

SR – Sin Recubrir

LTA – Látex de PVAc – PVA + ácido acético.

LT – Látex de PVAc – PVA

LTN - Látex de PVAc – PVA + hidróxido de sodio.

## **Metodología Experimental**

### **Primera parte del experimento**

La elaboración del látex de PVAc – PVA se llevó a cabo en la Planta Piloto # 2 del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), de tal forma que en este lugar se cuenta con los reactivos y aparatos para llevar a cabo dicho trabajo de investigación.

### **Elaboración de PVAc - PVA y evaluaciones**

Se siguió la metodología elaborada por Alvarado (2011). Se elaboró una solución micelar en un reactor de 500 mL añadiendo 334.6 mL de agua

destilada; 0.068 g de persulfato de amonio (APS), 0.7g de dodecil sulfato de sodio (SDS) y 25.03 g de alcohol polivinílico (PVA, BP-24). Se agitó mecánicamente durante 30 minutos a 220 rpm y con circulación de agua a 25°C por la chaqueta del reactor.

Una vez disuelto el PVA se desgasifica una solución de acetato de vinilo (60.1g) y de éter etílico (4.28 mL). Este último actúa como agente de transferencia de cadena con el fin de disminuir el peso molecular del PVAc. La desgasificación se realiza para eliminar el oxígeno y que no inhiba la reacción de polimerización. El VAc se destiló previamente a su uso (Figura 4), los demás reactivos se utilizaron de la forma en que se recibieron.

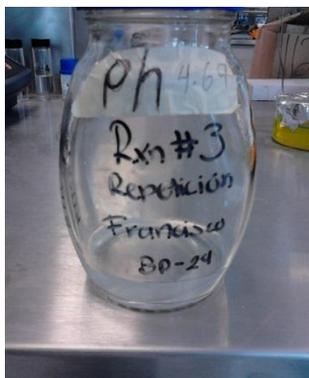


**Figura 4.** Destilación del VAc.

Ya desgasificadas la solución micelar y la solución de acetato de vinilo (VAc) y éter etílico, esta última solución fue colocada en una jeringa GasTight (Hamilton Company) de 100 ml de capacidad y se agregaron al reactor mediante una bomba dosificadora (KD Scientific) calibrada previamente a un flujo de  $0.249 \text{ ml min}^{-1}$ , durante cuatro horas, manteniendo la temperatura de la

reacción en 60 °C, con agitación de 400 rpm y flujo de argón en la mezcla de reacción. Terminada la adición, el sistema se mantuvo durante dos horas más para agotar el monómero.

El látex se guardó en un frasco limpio y seco (Figura 5), de ahí se tomaron 6 muestras de 40 ml para ajustar el potencial de hidrógeno a cada uno.

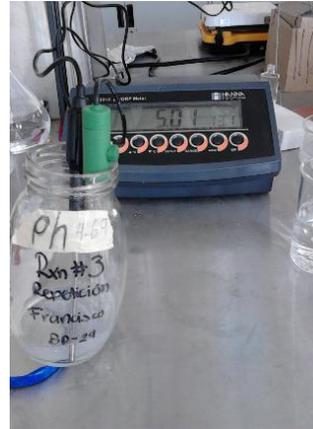


**Figura 5.** Obtención de látex original almacenado a temperatura ambiente.

Una vez que se tengan las muestras de látex se hacen mediciones de diámetro de partícula (Figura 6), de igual manera se hace en todas las muestras mediciones con el potenciómetro (Figura 7), a partir del día 0, los látex se almacenan a temperatura ambiente.



**Figura 6.** Medición de diámetro de partícula en dispersor



**Figura 7.** Medición de pH en potenciómetro.

### **Caracterización del látex**

- Al tener preparados y ajustados los pH de cada uno de los látex, al día 0 se le hacen evaluaciones para su caracterización:
- Determinación de diámetro de partícula: en un vial colocar 1 mL de agua destilada y 1 g de látex, se diluyen y se toman mediciones en el dispersor de luz Microtrac.
- Determinación de pH: se toma una lectura directamente a cada látex con un potenciómetro digital HANNA.

### **Segunda parte del experimento:**

Esta se realizó en el Laboratorio 1 de Alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro:

## 1) Selección de muestras (tomates Cherry)

Para el desarrollo del experimento se tomaron en cuenta características de tamaño, color y uniformidad, cuidando que no tuvieran algún tipo de daño físico que pudiera afectar el tratamiento. Después se lavaron los tomates solamente con agua + cloro, tratando de eliminar el polvo superficial para después secarlos perfectamente a temperatura ambiente. Los tomates utilizados en los experimentos fueron cosechados en estado maduro (Figura 8).



**Figura 8.** Selección de tomates cherry.

## 2) Recubrimiento de tomates

Una vez que los tomates están completamente secos se dividen al azar con sus respectivas repeticiones por tratamiento, se marcan y pesan en una balanza semianalítica. Enseguida se aplica directamente con un guante y con la punta de los dedos una capa delgada y uniforme del látex sobre la superficie de cada tomate (Figura 9), se dejan secar para recubrir posteriormente las partes que no se recubrieron bien.

Se espera a que se seque y se almacenan de acuerdo al número de tratamiento a temperatura ambiente, por espacio de uno, cinco, diez, y quince días, se lleva un registro de las condiciones de almacenamiento, consiste en anotar hora de entrada, temperatura y sus observaciones. El mismo día en que se realizan los

recubrimientos de los tratamientos, se recubren aparte 12 muestras que funcionan como testigos.



**Figura 9.** Recubrimiento de los tomates cherry con PVAc-PVA.

### **3) Análisis de muestras (variables evaluadas)**

En el día 1, 5, 10 y 15 de almacenamiento se eligieron tres repeticiones de cada tratamiento en forma completamente al azar, se hicieron pruebas de pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, vitamina C, ácido cítrico, respiración.

A continuación se describe el equipo y procedimiento utilizado para cada una de las pruebas:

#### **Determinación de pérdida de peso**

La medición de esta variable se realizó en una balanza digital OHAUS modelo SP 601 registrando los pesos al momento de ser recubierto, y después de 1, 5, 10 y 15 días, el peso fue registrado en gramos (Figura 10). La diferencia entre el peso inicial y final del fruto se consideró como pérdida de peso durante cada período de almacenamiento y calculado como porcentaje en base a peso fresco.



**Figura 10.** Balanza para determinación de pérdida de peso.

### **Determinación de color**

Para la determinación de color de las muestras se utilizó un fotocolorímetro MINOLTA CR-400 (Figura 11). Se tomaron lecturas en tres partes diferentes del tomate Cherry, con esto se obtuvieron los datos dentro de los campos  $L^*$   $a^*$   $b^*$ .

Los valores se ubican en el cuadro de cromaticidad (Figura 12)

$L$ = Luminosidad

$a^*$  y  $b^*$ = Coordenadas de cromaticidad.

$a(+)$ = Indica el color rojo

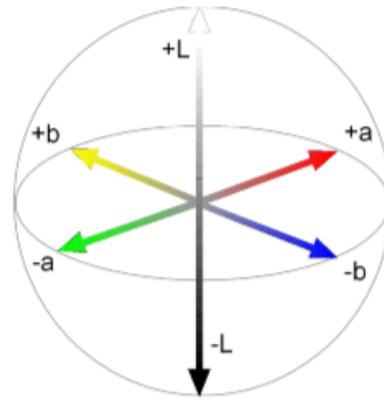
$a(-)$ = indica color verde

$b(+)$ = Indica color amarillo

$b(-)$ = Indica color azul



**Figura 11.** Fotocolorímetro MINOLTA CR-400



**Figura 12.** Diagrama de color.

A mayor valor numérico mayor coloración o luminosidad (brillo), a menor valor numérico menor intensidad de color o luminosidad (opaco).

## Determinación de firmeza

- Para la determinación de la firmeza se utilizó un penetrómetro EXTECH INSTRUMENTS. TESTER- FHT200 (Figura 13), con una puntilla de 8 milímetros de diámetro, tomando una lectura en cada tomate obteniendo resultados en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .



**Figura 13.** Penetrómetro EXTECH INSTRUMENTS. TESTER- FHT200.

## Análisis de Sólidos Solubles Totales (SST)

Para la determinación de SST se colocó directamente una gota representativa del néctar de la muestra en el prisma del refractómetro limpio y seco. PAL-1 ATAGO- (0~53%) POCKET. (Figura 14), las lecturas se tomaron de manera directa. El contenido de SST se expresó como porcentaje de la escala de °Brix.



**Figura 14.** Refractómetro PAL-1 ATAGO- (0~53%) POCKET.

## Determinación de vitamina “C”

Fue determinado por el método de reactivo de Thielmann.

1. Se licuó un tomate Cherry de cada tratamiento recubierto con Látex ajustado a diferentes pH y se tomaron 2 g de la muestra posteriormente se colocaron en un vaso de precipitado.
2. Se agregó 1 mL HCl al 2 %.
3. Se agregan 10 ml de agua destilada y se homogeniza-
4. Se filtra la muestra y se toma una alícuota de 8 ml de filtrado y se coloca en un matraz Erlenmeyer.
5. En una bureta medir un volumen conocido de reactivo de Thielmann.
6. Se titula la alícuota hasta la aparición de una coloración rosa que no desaparezca durante 30 segundos y se anota el volumen que se gastó.
7. Se calcula el contenido de Vitamina “C” presente en la muestra mediante la ecuación (1).

(1)

$$mg/100g \text{ de Vitamina C} = \frac{(VRT)(0.088)(VT)(100)}{(VA)(P)}$$

Dónde:

VRT= Volumen gastado en ml de reactivo de Thielmann.

0.088= Miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 ml de reactivo de Thielmann.

VT= Volumen total en ml de filtrado de vitamina C en HCl.

VA= Volumen en ml de la alícuota valorada.

P= peso de muestra en gramos.

### **Determinación de ácido cítrico**

El contenido de ácido cítrico se determinó por medio de titulación con NaOH 0.1 N. Del néctar obtenido de las muestras para determinar Vitamina C, se tomaron 2 ml y se diluyeron en 30 ml de agua destilada. La titulación de las muestras se realizó con NaOH 0.01 N a pH 8.3. Se tomaron tres lecturas de cada tratamiento por día de muestreo y el promedio de las lecturas expresadas como porcentaje de ácido cítrico se utilizaron para el análisis estadístico y se calculó mediante la ecuación (2).

(2)

$$\% \text{ Acidez} = \left( \frac{N \times V \times 0.064}{v} \right) \times 100$$

Dónde:

N= Normalidad del NaOH (0.01N).

V= Volumen usado de NaOH en ml.

v= Volumen de muestra.

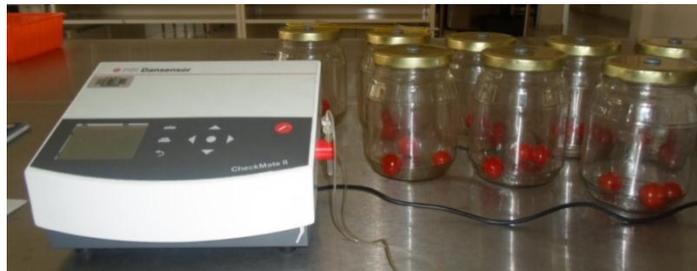
0.064= Miliequivalente del ácido cítrico.

### **Determinación de respiración**

La respiración de las muestras de tomate se analizó periódicamente en un sistema cerrado. Las muestras se colocaron en frascos de vidrio de una capacidad de 1 L a temperatura ambiente, quedando bien selladas las tapas, con ayuda de

vaselina. Las muestras de gas se tomaron con la inserción de una aguja a través de un septum colocado en el centro de la tapa del frasco. La aguja estaba conectada al analizador de gas de CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (PBI Dansensor analizador de gas, Checkmate II, Denmark) (Figura 15). Los resultados de CO<sub>2</sub> en por ciento se utilizaron para el cálculo de la velocidad de respiración (mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), utilizando la ecuación (3):

$$\text{Velocidad de respiración} = \frac{\% \text{ CO}_2}{(\text{Peso muestra en kg} * \text{horas incubado} * \text{vol. frasco})} \quad (3)$$



**Figura 15.** Analizador de gas de CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (PBI Dansensor analizador de gas, Checkmate II, Denmark)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de pH de los látex

En la figura 16 se muestran los resultados de la determinación de potencial de hidrógeno (pH) de los diferentes látex a partir del día 0 hasta el día final del experimento. Además del látex testigo se evaluaron seis muestras de látex ajustándolos a diferentes pH (2, 3 y 4) con ácido acético (concentrado) e hidróxido de sodio (0.1 N) para pH (6, 7 y 8).

En el análisis de determinación de pH se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre los látex de PVAc-PVA ajustados a diferentes pH (anexo 1). En el cuadro 5 se observan las diferencias entre el pH de cada muestra. Se encontró que el pH se mantiene cercano a su pH inicial, mostrando diferencias muy significativas, con un valor final de 7.60 el látex con pH inicial de 8, valor que supera al testigo el cual presentó un pH de 4.61, mientras que el valor más bajo se presentó en el pH 2 con 1.82.

**Cuadro 5.** Estudio de medias por Tukey para la variable pH inicial vs pH final.

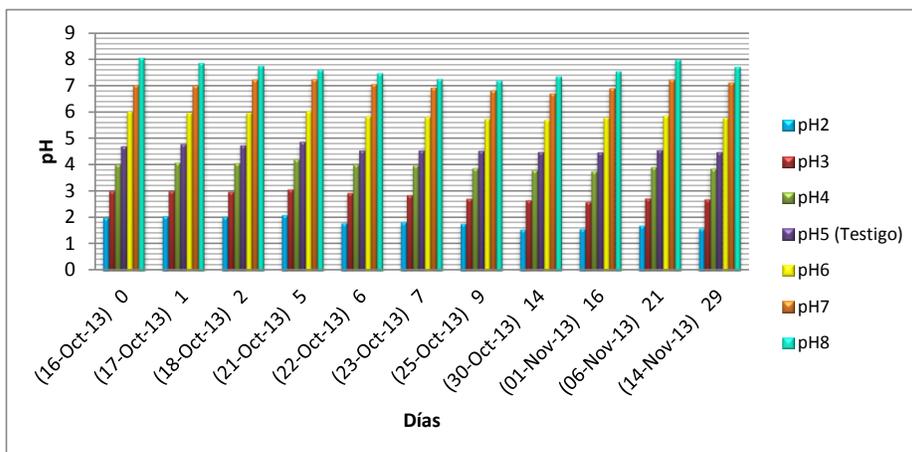
pH inicial	pH final
8.03	7.60a
7.00	7.00b
6.00	5.85c
4.69 (Testigo)	4.60d
4.00	3.95e
3.00	2.83f
2.00	1.82g

Medias con la letras diferentes son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

El comportamiento de los látex a través de 29 días de almacenamiento a temperatura ambiente, se muestra en la figura 16. En general, todos los látex presentaron variaciones en el pH durante este tiempo aunque se mantuvieron cercanos al valor de pH original. El látex que presentó la menor variación fue el de pH inicial de 7, el cual tuvo el mismo valor al final del experimento.

El látex que presentó la mayor desviación al final del tiempo de almacenamiento, fue el de pH inicial de 8.03, con una diferencia de  $-0.43$  unidades de pH.

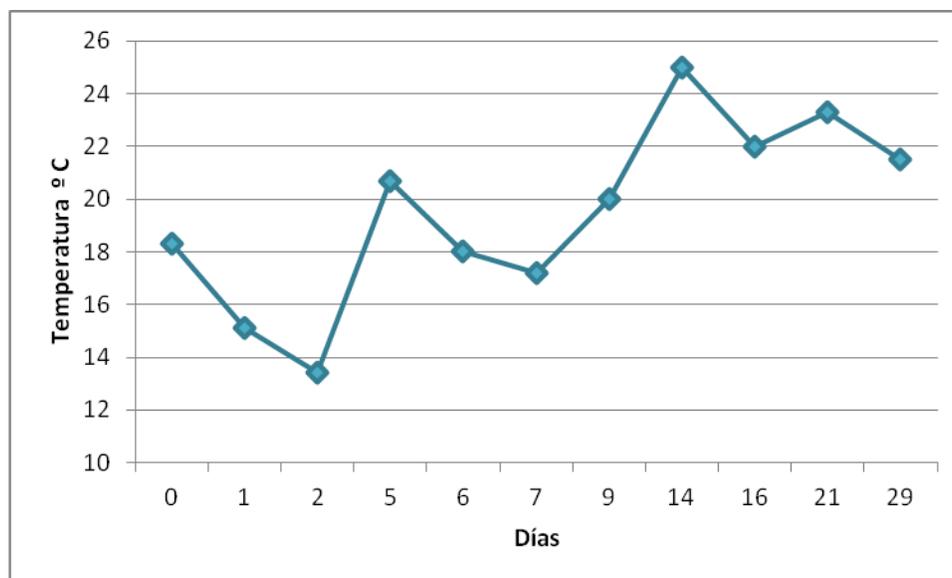
Los látex que presentaron las menores desviaciones al final del tiempo de almacenamiento, fueron los de pH inicial 4.69 y 4 con una diferencia de 0.09 y 0.05 unidades de pH.



**Figura 16.** Variación del pH en función del tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente en los látex de PVAc- PVA.

En la figura 17 se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente que se presentó de acuerdo a los días transcurridos, notando que la temperatura más baja

se presentó en el día 2 con un valor de 13.4°C y la temperatura más alta se presentó para el día 14 con un valor de 25 °C.



**Figura 17.** Variación de la temperatura ambiente de acuerdo a los días transcurridos.

### **Determinación de diámetro de partícula (Dp) de los látex**

En el análisis de diámetro de partícula se aprecia que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en los tratamientos de PVAc-PVA ajustados a diferentes pH (anexo 2).

En el cuadro 6 se muestran los resultados de diámetro de partícula de los diferentes látex a partir del día 0 hasta el día final del experimento. Además del látex original se evaluaron las seis muestras de látex mostrados en el cuadro 5.

La evolución del diámetro promedio de las partículas (Dp) mostró un comportamiento similar en los látex con pH entre 4 y 8: inicialmente,  $19.1 \leq Dp \leq 21.9$  nm, los cuales se mantuvieron prácticamente sin cambio durante seis días y,

a partir de allí, mostraron un incremento dramático al subir a valores de  $289 \leq D_p \leq 1954$  nm el día siete para terminar en  $429 \leq D_p \leq 2746$  nm, a los 29 días. Por debajo de pH 4, los látex se comportaron muy diferentes, pues desde un inicio mostraron  $D_p$  muy elevados comparados con los otros látex con valores 2646 y 1198 nm, para pH de 2 y 3, respectivamente, mientras que a los 29 días los valores fueron de 2910 y 3410 nm, para los mismos valores de pH. Los valores intermedios se mantuvieron en el mismo orden de magnitud que los iniciales y finales.

De acuerdo a lo reportado por Cortez (2011), las dimensiones de las partículas del látex preparado mediante polimerización en microemulsión pueden facilitar el recubrimiento de los productos alimenticios para prolongar su vida útil.

**Cuadro 6.** Variación del diámetro de partícula en función del pH y tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente en los látex de PVAc- PVA.

pH	Diámetro de partícula (nm)								
	Días								
	0	2	6	7	9	14	16	21	29
<b>2</b>	2646	1275	2363	3570	2573	1541	2897	2663	2910
<b>3</b>	1198	2255	2982	2386	2288	2550	3210	2856	3410
<b>4</b>	19.14	20.9	20.2	616	573	682	658	610	602
<b>5 (original)</b>	<b>21.2</b>	<b>20.6</b>	<b>21.2</b>	<b>1954</b>	<b>2943</b>	<b>1836</b>	<b>2746</b>	<b>3230</b>	<b>2746</b>
<b>6</b>	21.5	20.6	22.9	846	437	642	450	465	488
<b>7</b>	21.6	20.4	22.1	288.7	40	452	293.7	381	429
<b>8</b>	21.9	21.5	19.2	527	510	497	547	530	527

## Determinación de pérdida de peso de los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH

Durante el almacenamiento la pérdida de peso es un factor limitante para la vida de anaquel de los productos frescos (Kader, 1987) y el tomate cherry no es la excepción.

De acuerdo al análisis de varianza y comparación de medias, si existe diferencia significativa en cuanto a los días transcurridos, en la variable de % de pérdida de peso de los tomates cherry recubiertos con PVAc-PVA a diferente pH (Anexo 3). En el cuadro 7 se muestra a partir del día 1 un 2.13 % de pérdida de peso en los tomates cherry recubiertos con PVAc-PVA a diferente pH y el testigo, mientras que para el día 15 se muestra la mayor pérdida de peso con un 23.36 %.

**Cuadro 7.** Estudio de medias por Tukey para la variable porcentaje de pérdida de peso en cuanto a los días transcurridos.

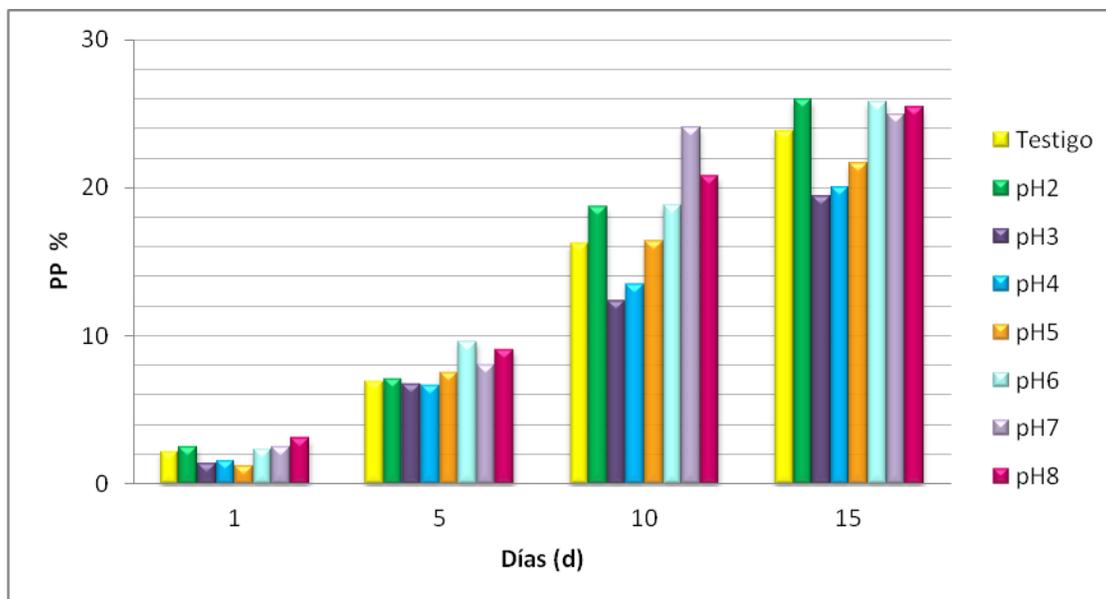
Día	% DE PERDIDA DE PESO
15	23.36 a
10	17.61b
5	7.73c
1	2.13d

Medias con la letras diferentes son significativamente diferentes (P>0.05).

Sin embargo, de acuerdo al análisis de varianza para los tratamientos de PVAc-PVA a diferente pH no se presenta una diferencia significativa en esta variable (Anexo 3.1)

Estos resultados difieren a los reportados por Ortiz (2013) donde el recubrimiento de PVAc-PVA disminuyó la pérdida de peso en pimientos verdes, posiblemente por una menor deshidratación de los frutos, debido a las propiedades de barrera del recubrimiento. Cortez (2006) y Guillen (2013) al trabajar con recubrimientos biocompatibles de PVAc y PVAc-PVA utilizados en tomate encontraron una reducción en la pérdida de peso durante el almacenamiento de los frutos respecto al testigo no recubierto.

La figura 18 muestra los resultados obtenidos de la variable de pérdida de peso en porcentaje de los tomates cherry, comienzan a ser notables a partir del día 5 después del inicio del experimento, esto se debe principalmente a los procesos de transpiración y respiración de los frutos por los cuales pierden agua y peso (Kader, 2007) de igual manera en todos los frutos almacenados a temperatura ambiente presentaron un incremento de la pérdida de peso en frutos recubiertos con PVAc- PVA aplicado a diferentes pH y en el testigo.



**Figura 18.** Pérdida en peso en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

### Determinación de color

Las variables que se midieron fueron tres: luminosidad, eje “a” y el eje “b”.

### L (Luminosidad)

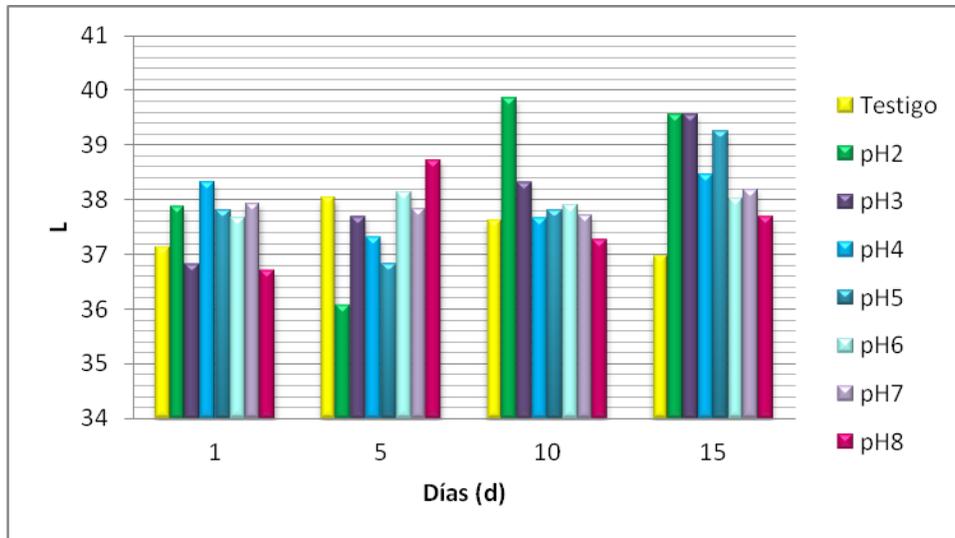
Este parámetro determina el brillo que tienen las muestras, a mayor valor numérico obtenido se determina que la muestra tiene mayor luminosidad (brillo) a menor valor numérico menor luminosidad, la muestra es más opaca.

Pantastico (1984), menciona que para poder restaurar las cubiertas naturales del fruto y proporcionarles luminosidad o brillo es necesaria la aplicación de cubiertas de origen natural o artificial con lo que además de darles luminosidad se da protección contra microorganismos que causan la pudrición.

De acuerdo a los resultados de la luminosidad se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) entre el testigo y los tratamientos recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH (anexo 4). Pero si existe diferencia respecto a los días transcurridos como se muestra en la figura 19, en el testigo su valor al día 1 es de 37.13 pero al día 5 es de 38.03, a los días 10 y 15 volvió a disminuir terminando con un valor de 36.97. El tratamiento con pH 3 es el único que al paso de los días de almacenamiento su valor fue aumentando: inició al día 1 con 36.83 y terminó al día 15 con 39.55. El resto de los tratamientos tuvieron un comportamiento muy variable algunos días aumentaba su valor y otros disminuía, este cambio está directamente relacionado con la temperatura e iluminación a la que está expuesto el fruto (Serrano, 2009).

El recubrimiento de PVAc- PVA puede influir positivamente sobre la calidad del fruto, presentando frutos con mayor intensidad de color, en relación a los no recubiertos (Ortiz, 2013).

Al respecto se ha reportado un incremento de la apariencia de los frutos con el uso de recubrimientos sintéticos, por ejemplo Hagenmaier y Grohmann (1999) observaron un incremento en el brillo de manzanas recubiertas con poliacetato de vinilo (PVAc), comparados con los no recubiertos.



**Figura 19.** Luminosidad en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

### **Cromaticidad (a\*)**

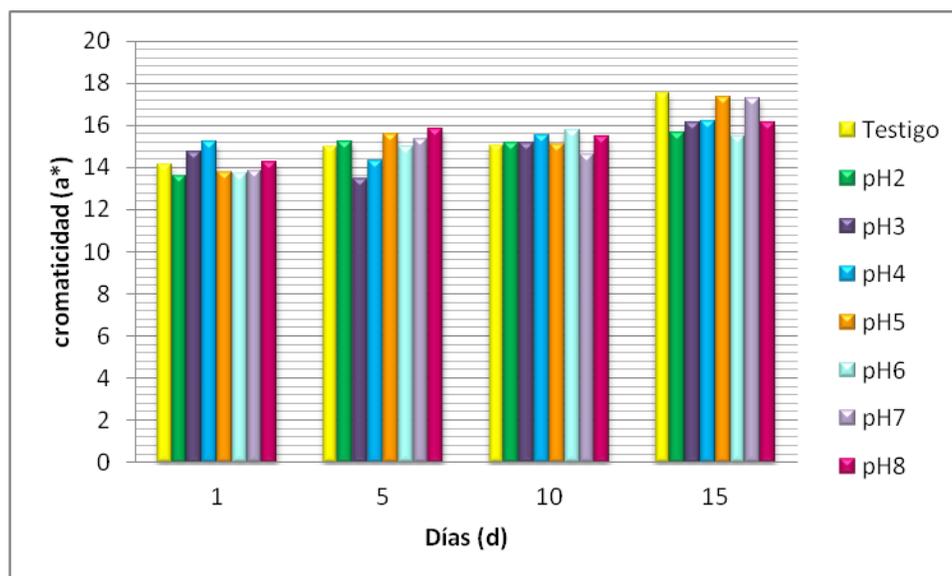
En el análisis de color, no existe una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el testigo y los demás tratamientos recubiertos con PVAc-PVA a diferentes pH (anexo 5).

En la figura 20 podemos observar que en el testigo sus valores van aumentando conforme van avanzando los días de almacenamiento, en el día 1 presenta un valor de 14.14 y en el día 15 termina con un valor de 17.52. En el resto de los tratamientos su comportamiento fue muy variado aunque en todos su valor al día 15 siempre fue mayor al del día 1.

Estos resultados son contrarios a los reportados por Ortiz (2013) para pimientos, quien encontró que el recubrimiento de PVAc-PVA propició frutos con color verde más intenso respecto a los frutos no recubiertos, sin embargo esta característica

no se conservó durante el almacenamiento por la transición de color de los frutos característica de la maduración.

Aguilar (2004), establece que el cambio de color, se debe principalmente a la degradación de clorofilas, proceso que permite la percepción de otros pigmentos que ya se encontraban en el cloroplasto o que se sintetizan de nuevo en el proceso de la maduración, adquiriendo el fruto la coloración amarilla, roja o naranja.

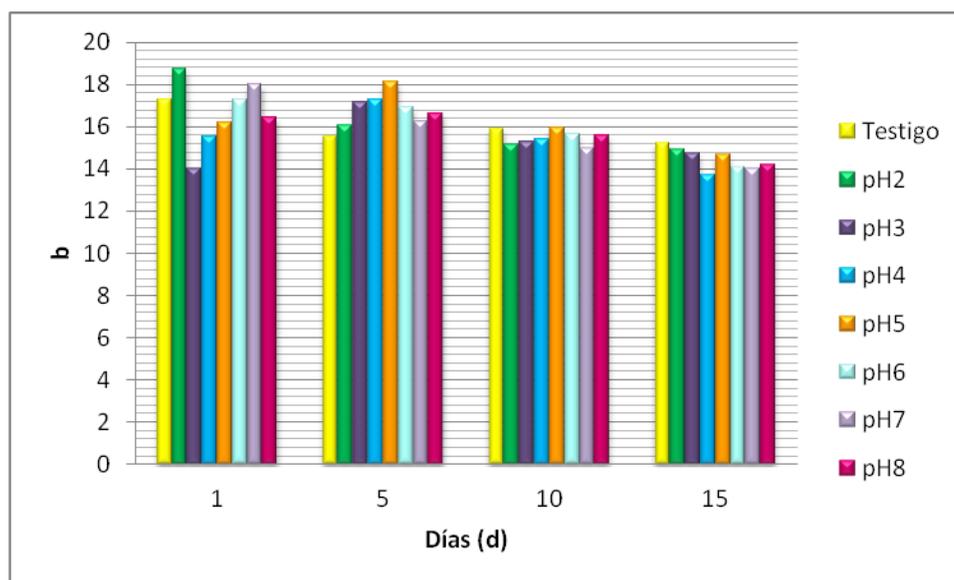


**Figura 20.** Cromaticidad “a” en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

### **Cromaticidad (b\*)**

En el caso de la variable cromaticidad “b” del análisis de color, no se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre el uso del recubrimiento a diferentes pH y la ausencia de estos (anexo 6). Se encontró diferencia respecto a

los días transcurridos, figura 21, el testigo en el día 1 tiene un valor de 17.29, en el día 5 disminuyó a 15.55, en el día 10 aumentó a 15.91 y al día 15 volvió a disminuir con un valor de 15.21, también cabe mencionar que los tratamientos de los recubrimientos con pH 3, pH 4, pH 5 y pH 8, en el día uno presentan valores inferiores comparados con los del día 5, estos mismos presentan cambios notables en los días 10 y 15 porque sus valores vuelven a disminuir; los tratamientos de pH 2, pH 6 y pH 7, presentan el mismo comportamiento al transcurso de los días porque sus valores disminuyeron consecutivamente.

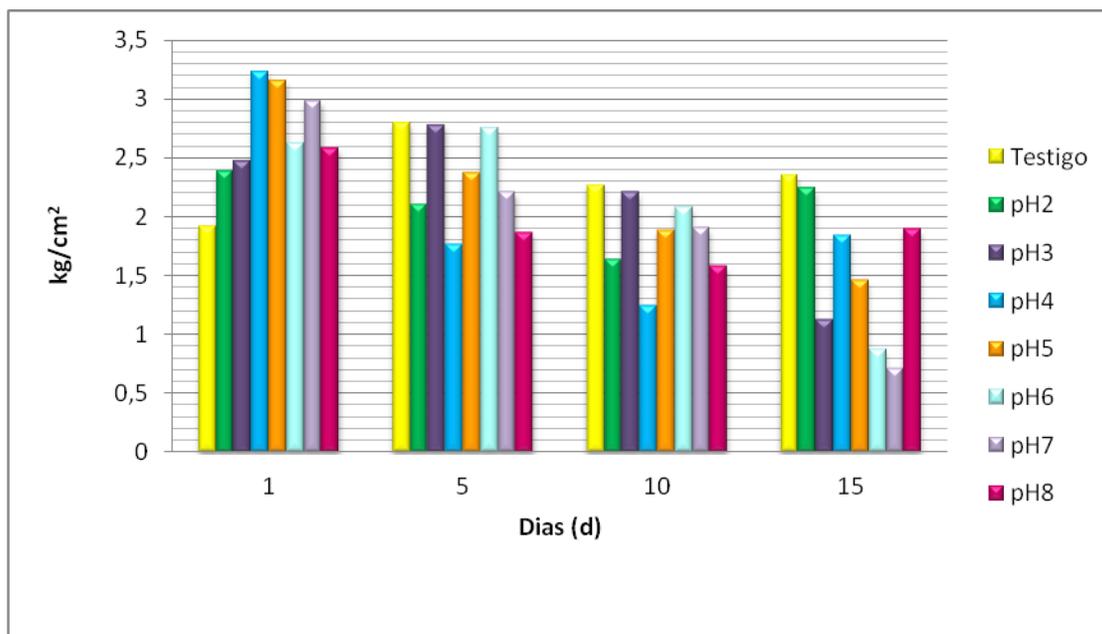


**Figura 21.** Cromaticidad “b” en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

### Determinación de firmeza

En el análisis de firmeza se aprecia que el testigo no presenta diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) con los demás tratamientos recubiertos con PVAc-PVA (anexo 7). Se presentan diferencias numéricas entre los

tratamientos, el testigo presentó en el día 1 un valor de 1.91, en el día 5 aumentó presentando un valor de 2.7 en el día 10 fue inferior con un valor de 2.26 y al día 15 aumentó a 2.35, el tratamiento del pH 2 tuvo un comportamiento diferente al testigo en el día 1, mientras que en el día 5 disminuyó, en el día 10 y 15 su comportamiento fue el mismo al testigo, sin embargo los tratamientos con pH 5, pH 7 y pH 8, tienen un mismo comportamiento observando una disminución de firmeza en el transcurso de los días de almacenamiento, como se observa en la figura 22. Por otra parte Aguilar (2005), obtuvo una marcada diferencia en aguacates tratados con recubrimiento a base de gelatina y almidón con valores de 0.8 N en los frutos recubiertos y 0.3 N en los sin recubrir; esto indica que en la conservación de la firmeza en los frutos tratados con recubrimientos comestibles existen factores como el tipo de fruto y tipo de recubrimiento que afectan este parámetro.



**Figura 22.** Firmeza en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

## **Determinación de Sólidos Solubles Totales (SST)**

En la determinación de esta variable, se encontró que no hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en los tratamientos (anexo 8), pero si existe diferencia numérica; el testigo y los tratamientos de pH 2 y 3 tienen el mismo comportamiento presentando valores altos en el día 1 y al día 5 presentaron un comportamiento desfavorable mostrando valores bajos causando en los tomates una baja concentración de SST, los únicos tratamientos que incrementaron en los SST con el periodo de almacenamiento, fueron en los recubrimientos con pH 4, pH 6 y pH 7, porque los tratamientos de pH 5 y 8 tienen un comportamiento errático, figura 23.

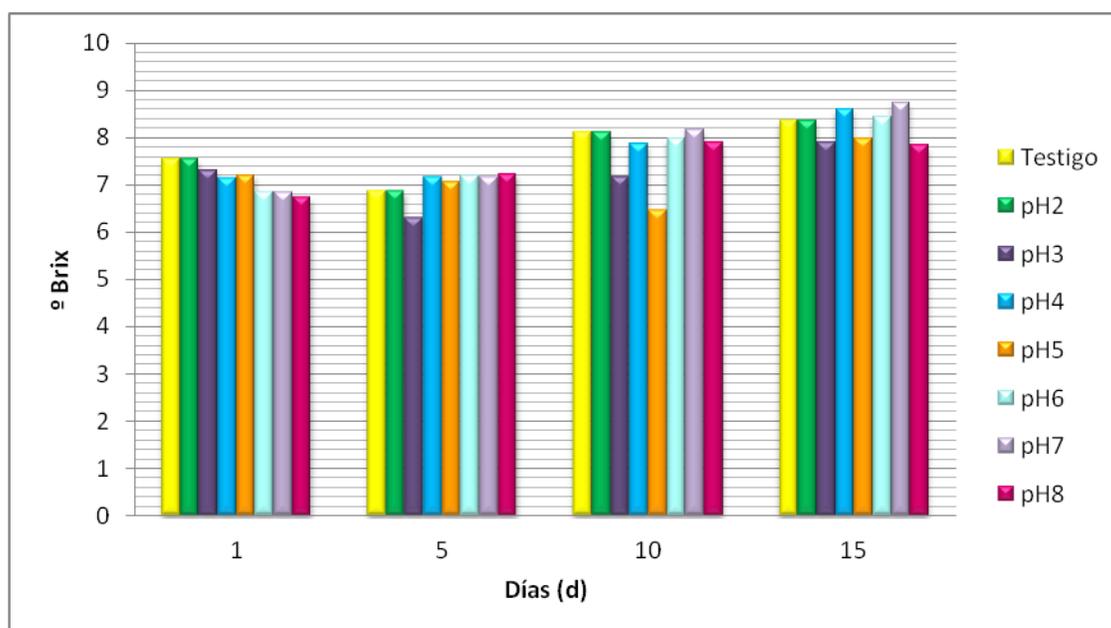
Estos resultados son similares a los encontrados por Ortiz (2013) quien reportó que en pimientos recubiertos con PVAc-PVA no se presentaron diferencias significativas sobre los SST comparados con otros frutos recubiertos, sugiriendo que el recubrimiento utilizado no compromete el contenido de SST de este fruto comparado con los pimientos sin recubrir.

Los almidones y ácidos orgánicos se transforman en azúcares simples a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento lo cual incrementa el contenido de sólidos solubles totales (Kader, 2007).

El aumento en la concentración de sólidos solubles totales nos dará un mejor sabor y firmeza en el fruto, tal y como lo define Osuna, (1983) donde menciona que, un valor mayor o igual a 4.0 de sólidos es considerado bueno, además de

que existe una correlación directa entre sólidos solubles y firmeza, a mayor concentración mayor firmeza.

Los procesos metabólicos relacionados con el avance de la maduración influyen directamente en los niveles de SST, donde las frutas en un estado avanzado de maduración presentan niveles más altos de SST (Lyon, Senter, y Payne, 1992; Mahmood *et al.*, 2011).



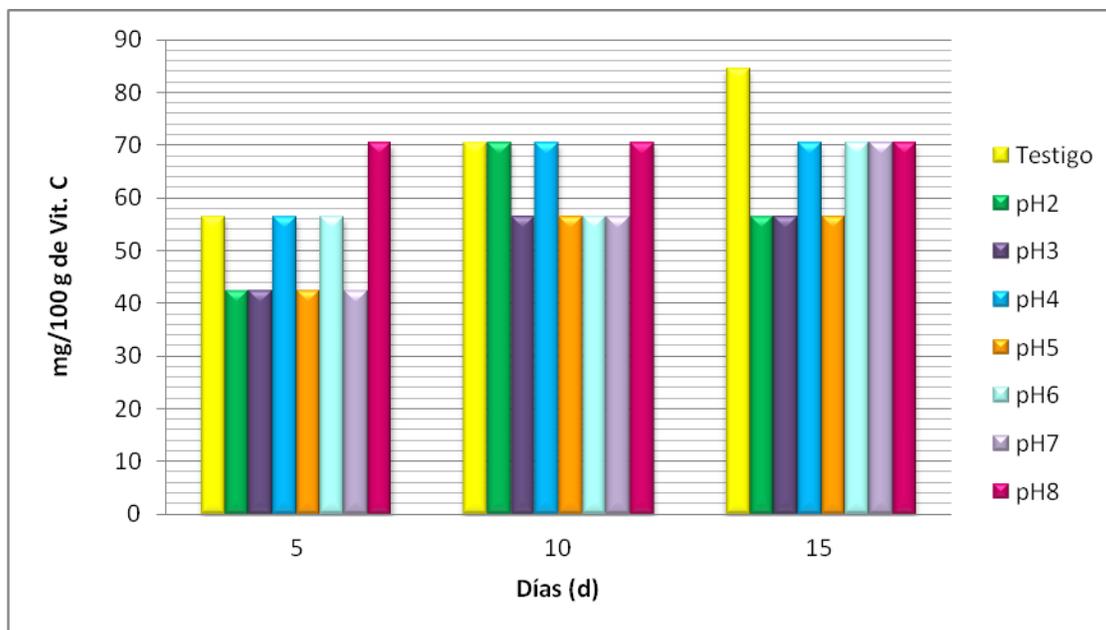
**Figura 23.** Sólidos solubles totales en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

### Determinación de vitamina C

En la determinación de esta variable se encontró que no existe diferencia significativa (anexo 9). Sin embargo en la figura 24, se nota como los datos tienen un comportamiento muy variable, posiblemente debido a un incremento en la concentración de ácido ascórbico durante el almacenamiento de los frutos, también está relacionado con la pérdida de masa causada principalmente por la

pérdida de agua y el efecto de concentración que se genera de ácido ascórbico en los frutos como reportó Jiménez *et al.*, 2003. Por esta razón no se puede considerar que se marque alguna tendencia, el testigo y el tratamiento del recubrimiento de PVAc-PVA con pH 7, con un valor de 56.32 y 42.24 respectivamente, mostrando un comportamiento igual, al transcurso de los días su valor fue aumentando, por otro lado en el tratamiento de pH 8 su comportamiento fue constante todos los días, con un valor igual a 70.4, el pH 6 presenta el mismo valor de 56.32 en los días 5 y 10 y para el día 15 un 70.4, mientras que en los tratamientos de pH 3, 4 y 5 mostraron el mismo comportamiento desde el inicio hasta el final del análisis.

Estos resultados son contrarios a los reportados por Ortiz (2013) quien describe que el recubrimiento de PVAc-PVA si tiene influencia en el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente, ya que para los 8 y 12 días después de la cosecha los valores de los frutos recubiertos fueron estadísticamente superiores en contenido de ácido ascórbico respecto a los de frutos no recubiertos. La diferencia en el contenido de vitamina puede deberse al grado de madurez de los tomates, como menciona Martínez (2004), el fruto de tomate es una fuente de vitaminas C, A, B<sub>1</sub>, y B<sub>2</sub>. En su madurez el fruto contiene un 95 % de agua y el resto (5 %) son sólidos. El 55 % de los sólidos lo componen los azúcares; el 21 % sólidos insolubles; el 12 % ácidos orgánicos; el 7 % compuestos inorgánicos (P y K) y el 5 % lo componen el ácido ascórbico o vitamina C, compuestos volátiles y aminoácidos.



**Figura 24.** Contenido de Vit. C (mg/100 g) en los tomates cherry recubiertos con PVAc-PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

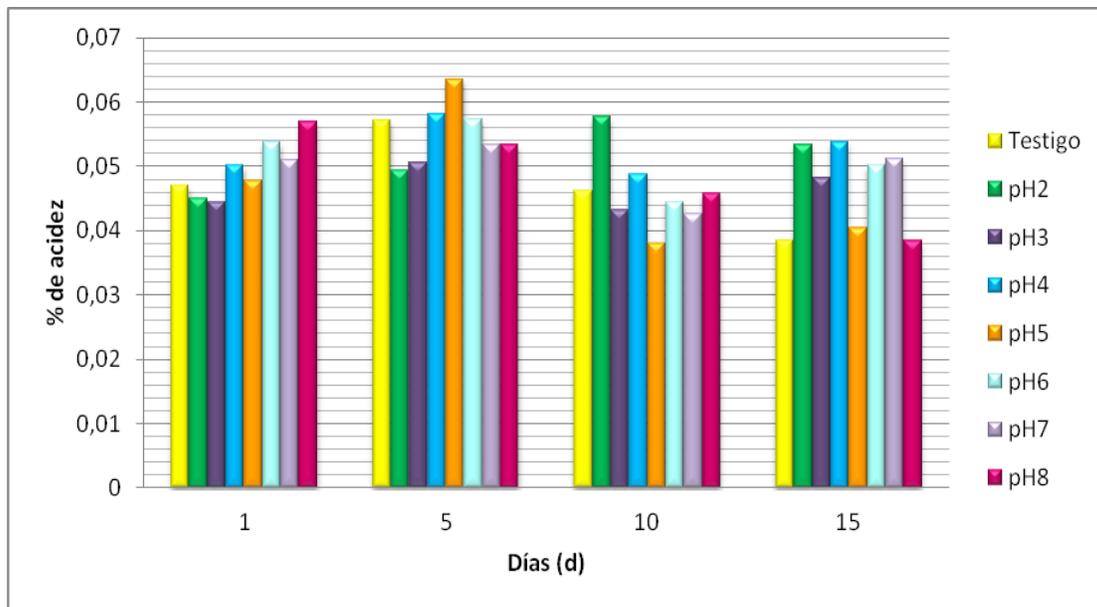
### Determinación de acidez titulable

Para esta variable no hay diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) en la interacción del recubrimiento aplicado a diferentes pH (anexo 10). Se aprecia que el comportamiento del testigo (Figura 25) al día 1 fue de 0.0469 %, al día 5 fue de 0.0571 %, para el día 10 fue 0.0462 % y para el día 15 de 0.0384 %, mientras tanto para los pH 3, 4, 5 y 6 el comportamiento fue el mismo aumentando a partir del día 1 al 5 y mostrando un comportamiento decreciente del día 5 al día 10 y posteriormente aumentando al día 15. Por otro lado el tratamiento de pH 8 sus valores en cuanto al tiempo de almacenamiento fueron disminuyendo a partir del día 1 del experimento hasta el día 15, mientras que el pH 2 se comportó de manera muy diferente a todos los tratamientos, aumentando para el día 1, 5 y 10, mientras que para el día 15 fue menor.

Por otra parte Ortiz (2013), al trabajar con pimiento reportó que la acidez titulable expresada como ácido cítrico presentó una tendencia a incrementarse en los frutos de pimiento durante su almacenamiento, este comportamiento de incremento de acidez titulable en pimientos fue observado también por Molinari *et al.*, (1999) y Ozden (2002).

La acidez titulable disminuye cuando el tiempo de almacenamiento avanza, debido a la transformación de los componentes de los frutos (carbohidratos, proteínas, vitaminas, ácidos orgánicos) durante el proceso de respiración (Gil, 2010; Tadeo *et al.*, 2008).

En los resultados obtenidos se observa una disminución de ácido conforme pasa el tiempo de almacenamiento, lo que concuerda con Jones y Scott (1983), quienes mencionan que los azúcares glucosa y fructosa, constituyen el 65 % de sólidos solubles totales, mientras que el resto está constituido por ácido cítrico y málico, lípidos, minerales y otros compuestos en bajas concentraciones.



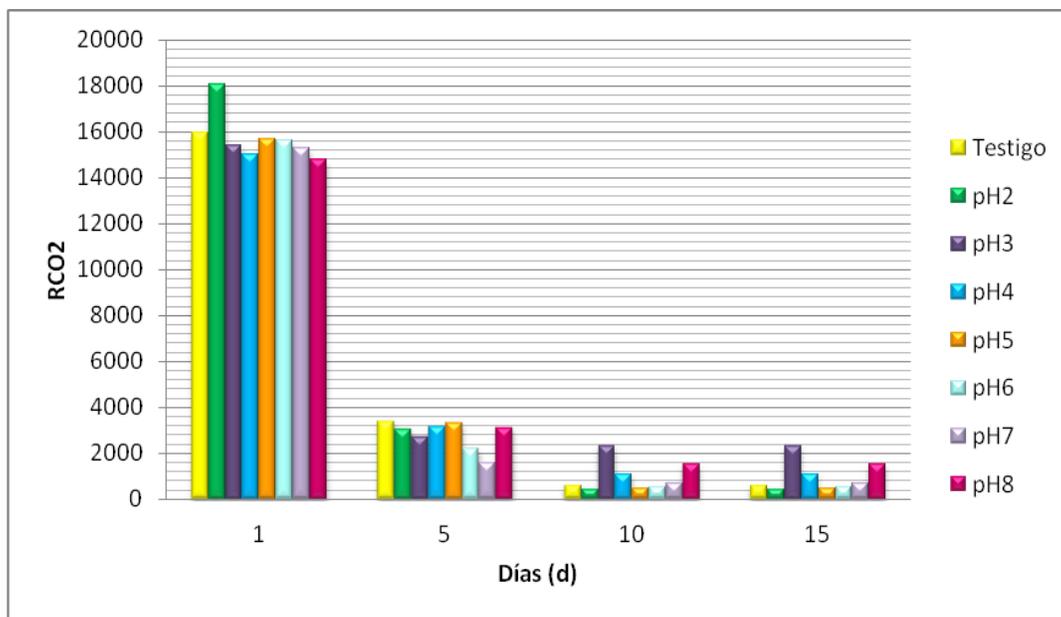
**Figura 25.** Acidez en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

### Determinación de respiración

En el caso de la variable de respiración, no se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre el uso del recubrimiento a diferentes pH y la ausencia de estos (anexo 11). Todos los tratamientos incluyendo el testigo a partir del día 5 presentaron disminución en sus valores y para los días 10 y 15 los valores fueron los mismos en todos los tratamientos (Figura 26).

Estos resultados coinciden con los descritos por Ortiz (2013) quien reportó que la respiración en frutos de pimiento recubiertos con PVAc-PVA y frutos sin recubrimiento, no presentaron diferencias significativas durante 7 horas continuas de monitoreo. De acuerdo a esto se encontraron trabajos similares reportados por Cortez (2006) y Guillen (2013) donde los frutos de tomate recubiertos con PVAc-PVA tuvieron menor tasa de respiración respecto a los no recubiertos.

La respiración es uno de los principales procesos fisiológicos que se desean controlar durante la poscosecha ya sea durante el almacenamiento de los frutos o en anaquel. La relación superficie-volumen de una fruta también puede afectar la tasa de respiración. Además, las hortalizas o frutas revestidas con ceras naturales u otro recubrimiento, tienen tasas de respiración más bajas que las frutas sin esas barreras protectoras (Phan *et al.*, 1975). Las cubiertas comestibles han sido una alternativa en poscosecha ya que estas modifican el intercambio de gases como el etileno, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua entre la atmósfera y el fruto, según la permeabilidad de cada recubrimiento.



**Figura 26.** RCO<sub>2</sub> en los tomates cherry recubiertos con PVAc- PVA a diferentes pH, almacenados a temperatura ambiente.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados al inicio de la investigación y en base a los resultados obtenidos, podemos concluir que; la aplicación de látex de PVAc-PVA ajustado a diferentes pH como recubrimiento en tomate Cherry, no tuvo ningún efecto sobre los parámetros evaluados: pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, Vitamina C, Acidez titulable y tasa de respiración, únicamente tuvo efecto para las variables de evolución de pH y diámetro de partícula, siendo el tratamiento con pH 8 el mejor, superando al testigo.

Para el diámetro de partícula las dimensiones de las partículas de látex preparado mediante polimerización en heterofase pudo facilitar el recubrimiento de los tomates Cherry para prolongar su vida útil.

El cambio de coloración de los tomates evaluados, mostraron un aumento de color rojo conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, lo que se tradujo en un mayor grado de madurez en los frutos, por lo que la aplicación del polímero no retardó este proceso natural, ni su vida de anaquel, ya que dicha maduración se dio de una manera similar entre los tratamientos sin recubrimiento y los cubiertos.

El recubrimiento tampoco tuvo ningún efecto sobre la firmeza de los frutos, aunque estos sufrieron modificaciones durante la maduración del tomate, lo que condujo a un ablandamiento de los tejidos y por consiguiente una menor firmeza.

En conclusión podemos decir que el pH si tuvo efecto sobre las características fisicoquímicas y de adhesividad del látex de PVAc-PVA aplicado como recubrimiento, sin embargo la cubierta plástica de PVAc-PVA no causó ningún

efecto en los parámetros fisiológicos (pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable y tasa de respiración) evaluados en los frutos de tomate Cherry.

## LITERATURA CITADA

Aguilar, A. R. (2004). Comportamiento en características de calidad de líneas extrafirmes de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) en poscosecha. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo. Coah. México.

Aguilar, M. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. (Maestro en Tecnología Avanzada). Instituto Politécnico Nacional, México D.F.

Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. LWT – Food Science and Technology.43, 8– 842.

Alcazar, J. C.; Especialista en producción de hortalizas. (Marzo del 2010). Manual Básico “Producción de hortalizas”. pág. 4.

Angarita, C.(2007). Nutrición: el tomate. Available:

<http://frutasyhortalizas.com.co/portal/i> preservation of minimally processed ‘ Gala’ apples, Post. Biol. And Techn., 45, 89–96.

Anónimo 1. (2007). Escuela de Ingeniería de Antioquia. [En línea] Consultado el 01/04/2014. 15:00. Disponible en la página web: <http://www.materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-matreiales%20biodegradables.htm>

Anónimo 2. (2007). [En línea] Consultado el 02/04/2014. 3:29 am. Disponible en la página web:

[http://www.catarina.udlap.mx/udla/tales/documentos/lia/yu\\_h\\_pa/capitulo2.pdf](http://www.catarina.udlap.mx/udla/tales/documentos/lia/yu_h_pa/capitulo2.pdf).

Anónimo 3. (2012). Tecnología de los plásticos - [En línea] Consultado el 05/05/2014. 17:40. Disponible en la página web:

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2012/02/el-poliacetato-de-vinilo-acetato-de.html>

Anónimo 4. (2007). [En línea] Consultado el 04/04/2014. 03:36 pm. Disponible en la página web: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/>

Anónimo 5. (2004). Ácido Cítrico - Apuntes de Química. [En línea] Consultado el 08/04/2014. 12:20 Disponible en la página web:

<http://www.elprisma.com/apuntes/quimica/acidocitrico/>

ASTM,(2005). Standard Test Method for determining anaerobic biodegradation of plastic materials under high – solids anaerobic – digestion conditions. EE.UU.

Baldwin, E. A. (1994). Nisperos-Carriedo, M. O., Baker, R. A. Use of edible coatings preserve quality of lightly (and slightly) processed products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. Volume 35, Issue 6, 1995, pp. 509-524.

Bhat, R., Alias, K. y Palityath, G. (2012). Progress in food preservation. (1era ed.). Iowa, Estados Unidos.

- Borbón Morales Carlos, Arvizu Armenta Marisol, Verdugo Robles Guillermo. (2012). Selección de variedades de tomate exportable a Estados Unidos: aplicación del modelo de Markowitz para la disminución del riesgo. Redalyc. Org. Sistemas de Información Científica. Estudios sociales, núm. 2, Marzo 2012, pp. 129-147. Coordinación de Desarrollo Regional, Hermosillo, México.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. International Food Research Journal. 15(3): 2-11; 167-180.
- Carera, J. Carol P, Edwin U, Julio S. (2007). Preparación y caracterización de películas de alcohol polivinílico conteniendo nanopartículas de TiO<sub>2</sub>. Revista Iberoamericana de Polímeros. 8(4): 323-332
- Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, W. M. B., Souza, M. P., Teixeira J. A., Vicente, A. A. (2009). Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale L.* Journal of Food Engineering. 95, 379 – 385.
- Cerqueira, M.A., et al., (2009). Extraction, purification and characterization of galactomannans from non traditional sources. Carbohydrate Polymers 75 (3), 408–414.
- Chiellini E, Corti A, Solaro R. (1999). Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based blown film under different environmental conditions. Polymer Degradation and Stability. 64: 305-312

- Cisneros- Zevallos, L., Saltveit, M.E., Krochta, J.M. (1997). Hygroscopic coatings control surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *Journal of Food Science*. 62(2):363-366, 398.
- Contreras -Medellin, R., Labuza T.P., (1981). Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Food World*, 26:335-343.
- Cortéz, M. G. Y. (2006). Tesis: "Síntesis, caracterización y aplicación de nanolatices de poliacetato de vinilo para su uso en recubrimiento comestible". Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Saltillo, Coah. México.
- Cortez-Mazatán GY, Valdez-Aguilar LA, Lira-Saldivar RH, Peralta-Rodríguez RD. (2011). Polyvinyl acetate as an edible coating for fruits effect on selected physiological and quality characteristics of tomato. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 17(1): 15-22
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo J.-A., Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: Tomorrow's packagings: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 38(4): 299-31.
- DeMerlis CC, Schoneker DR. (2003). Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food and Chemical Toxicology*. 41(3): 319-326
- Devlieghere, A., Vermeulen, F., Debevere, J. (2004). Chitosan: antimicrobial activity, interaction with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21, 703 -714.

Donhowe I.G., Fennema, O. (1994). Edible and coatings: Characterization, formation, definitions and thesting methods. "Edible coatings and films to improve food quality". Editado por Krotcha, J., Baldwin, E., y Nísperos Carriedo, M. Ed. Technomic Publishing Co. E.U.

Erosky Consumer. (2006). Tomates cherry. [En línea] Consultado el 25/03/2014.

11:00 am. Disponible en la página web:

[http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en\\_la\\_cocina/alimentos\\_de\\_temporada/2006/09/11/155404.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en_la_cocina/alimentos_de_temporada/2006/09/11/155404.php)

Fan, X, Niemira, B., Doona, C., Feeherry, F. y Gracani, R. (2009). Microbial safety of fresh produce. (1era edición.). Iowa, Estaods unidos: Office.

FAO. (2003). Basic Harvest and Post-Harvest Handling Consierations for Fresh Fruits and Vegetables. En (Ed.). Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural áreas (Technical Manual) (pp. 19-37). Agricultural and Consumer Protection Department. films: Challenges and oportunities. Food Technology. 51(2): 61-74.

García-Ramos, M. L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutíco- las. Revista Mexicana de Fitopatología, 28 (1), 44 – 57.

Gennadios A y Weller CL. (1991). Edible films and coatings from soy milk and soy protein. Cereal Foods World. 36: 1004-1009.

Gennadios, A., Weller, C.L., Testin, R.F. (1993). Property modification of edible wheat, gluten-based films. Transactions of the ASAE.

36(2): 465- 470.

Gil, À. (2010). Tratado de Nutrición, Composición y Calidad nutritiva de los alimentos.( 2da ed. Tomo II). Madrid, España: Panamericana.

Grau,M. A., Fortuny, R. S. Y Beloso, O. M. (2011). Use of Edible Coating for Fresh- cut Fruits and Vegetables. En Beloso, O. M. Y Fortuny, R. S. (Ed.). Advances in Fresh- Cut Fruits and vegetables processing (pp.285-312) New York, United States: Taylor and Francis Group.

Guilbert S., (1986).Technology and application of edible protective films. “Food packaging and preservation”. Theory and practice. Elsevier applied science publishing Co. London.

Guilbert, S., Guillaume, C. y Gontard, N. (2011). New Packaing Materials Based in Renewable Resources: Properties, Aplications and Prospects. Edible Coating to improve Food. Quakity and Safety. En Unidos, E. (Ed.). Food Engineering Interfaces (pp.619- 630; 631-660). New York, U.S.A.: Springer.

Hagenmaier RD, Grohman K. (1999). Polyvinyl acetate as a high-gloss edible coating. Journal Food Science. 64: 723-728

Han, J.(2005). Innovations in Food Packaging. (1era ed.). California, Estados Unidos: Elsevier Ltda.

Hardenburg, R.E. (1967). Wax and Related Coatings for Horticultural Products. A bibliography. Ed. United States Department of Agricultural. Agricultural Research Service Publication, USA. p. 51-15.

Jiménez A, Romojaro F, Gómez JM, Llanos MR y Sevilla F. (2003). Antioxidant Systems and Their Relationship with the Response of Pepper Fruits to Storage at 20 °C. Journal of Agricultural Food Chemistry. 51: 6293-6299

J. N. M. Von Haeff, (1983). Manuales para Educación Agropecuaria, Área: Producción Vegetal (16), 1ª Edición, Editorial Trillas, D.F., México: 9-53.

Jones, R. A. y S. J. Scott. (1983) Important of tomato flavor by genetically increasing sugar and acid contents Euphytica.32:845-855.

Kader, A. (2007). Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. (3era ed.). California, Estados Unidos: Universidad de California.

Kester, J.J., Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: a review. Food Technology. 40: 47-59.

Krochta, J.M., Baldwin, E.A. y Nisperos-Carriedo, M. (eds).(1994). Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Technomic Publishing,Co. Basilea, Suiza.

Krochta, J.M., De Mulder-Johnston, C. (1997). Edible and biodegradable polymer film: challenges and opportunities. Food Technology, V. 51, n. 2, p. 61-64, 1997.

- Krochta, J.M. (2002). Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status and opportunities. En: Protein-Based Films and Coatings. Ed. Gennadios A. CRC Press. Boca Raton, UK. p. 1-32.
- Lee, Y. K., Weintraub S. T., Yu, B. P. (2000). Isolation and identification of a phenolic antioxidant from *Aloe barbadensis*. *Free Radical Biology & Medicine*. 2(28), 261 – 265.
- Lima, A. M., et al., (2010). New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits – Influence on fruits gas transfer rate. *Journal of Food Engineering*. 97, 101-109.
- Lin, D y Zhao, (2007). Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Food Science and Food Safety (Comprehensive reviews)*, 6 (2), 60- 75.
- Madruga, E. L. (Mayo de 1995). Temas de divulgación: Como se forman los polímeros y Que es un polímero. *Revista de plásticos modernos*, Núm. 466 y 467. Pág. 319-321 y 416-426. Instituto de Ciencia y Tecnología de polímeros.
- Martinez, N. M. (2004). Efecto de la aplicación de recubrimiento Agrofilm AP sobre la calidad de tomate bola (*Lycopersicon esculentum Mill*) en condiciones de almacenamiento. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México.

- Martínez-Camacho et al., (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties. *Carbohydrate Polymers*, doi:10.1016/j.carbpol.2010.04.069.
- Martínez, C. R. (2000). Utilización de ceras sobre tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) y Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia Swingle*) en Poscosecha. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo. Coah. México. Pág. 4-7, 11-14.
- Martínez, N. M. (2004). Efecto de la aplicación de recubrimiento Agrofilm AP sobre la calidad de tomate bola (*Lycopersicon esculentum Mill*) en condiciones de almacenamiento. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- McHug, T., Avena, R. J. y Du, W.-X. (2009). Extension of shelf life and control of human pathogens in produce by antimicrobial edible film and coating. En Fan, X., Niemira, B., Doona, C., Feeherry, F. y Gravani, R. (Ed.). *Microbial safety of fresh produce* (pp. 225-227). Iowa, U.S.A: Wiley Blackwell.
- Mei, Y., Zhao, Y., Yang, J., Furr, H.C. (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of Food Science*. 67: 1964-1968.
- Mellenthin, W.M., Chen, P.M., Borgic, D.M. (1982). In-line application of porous wax coating materials to reduce friction discoloration of 'Bartlett' and 'd'Anjou' pears. *HortScience*. 17: 215-217.

- Miller, K.S., Upadhyaya, S.K., Krochta, J.M. (1998). Permeability of d-Limonene in Whey Protein Films. *Journal of Food Science*. 63(2): 244-247.
- Molinari AF, Castro LR, Antoniali S, Pornchaloempong P, Fox AJ, Sargent SA, Lamb EM. 1999. The potential for bell pepper harvest prior to full color development. En: *Florida State Horticultural Society*. 143-146
- Mondoñedo Ph. D. José R. (1983). *Manuales para educación Agropecuaria*. "Tomates"; Ed. Trillas; pág. 9-11.
- Navarro, María.(2007). Efecto de la composición de 7 Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. Tesis doctoral. España: Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, 223 pág.
- Nisperos-Carriedo, M.O., Shaw, P.E. (1990). Comparison of volatile flavour components in fresh and processed orange juices. *Journal of Agriculture Chemistry*. 38:1048-1052.
- No, H. K., Park, N. Y., Lee, S. H., Meyers, S. P. (2002). Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International journal of food microbiology*, 74, 65 – 72.
- Nuez Fernando, (2001). *El Cultivo del Tomate*, 1ª Edición 1995, Reimpresión 2001, Ediciones Mundi-Prensa, España, Barcelona: 15-41, 45-87, 95-128, 191-203, 229-239, 254-308, 313-348, 627-659, 673-663, 743-766.

Ortiz, H.G. (2013).Efectos de acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la calidad y vida de anaquel de pimiento, asistida con recubrimiento biodegradable de poliacetato de vinilo – alcohol polivinílico. Tesis de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura. CIQA. Saltillo, Coah, Mexico. Pág. 73 -105.

Osuna, G. J. A. (1983). Resultados de la investigación sobre el tomate. Editorial mundi prensa. Madrid, España. Pág. 122-123.

Ozden A, y Bayindirli B. 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 Technology. 214: 320-326.

Pantástico, E. R. B. (1984). Fisiología de la posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Ed. Noviembre. Compañía Editorial Continental.

Pavlath, A.E., Orts, W. (2009). Edible films and coatings: why, what, and how. En: Edible Films and Coatings for Food Applications Eds. Embuscado M.E., Huber K.C. Springer Science and Business Media, LLC, New York, USA. p. 1-23.

Pérez, B., et al. (2004). Aplicación de cera comestible en mango. Parte II: estudios fisiológicos asociados a la maduración del fruto durante el almacenamiento comercial, Revista Iberoamericana Técnica. Poscosecha, 6 (1), 24-33.

- Sagarpa, (2010). Monografía de cultivos; Jitomate, Pag. 3-4.
- Sandoval, R. A. (1997). Almacenamiento poscosecha de chile ancho verde en Saltillo, Coahuila. Tesis Maestría, U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- Serrano AM. (2009). Efecto de diferentes factores: fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento. Tesis Doctoral. Universidad Católica San Antonio. Murcia, España.
- Singh RP. (1994). "Scientific principles of shelf life evaluation". Shelf life evaluation of foods. Chapman and Hall. Pp 3-24
- Souza, M. P., et al., (2010). Polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. tree gum (Poli- caju) as a coating for Tommy Atkins mangoes. Chemical papers, 64 (4) 475 – 481.
- Spiridon I, Popescu IC, Bodârlau R, Vasile C. (2008). Enzymatic degradation of some nanocomposites of poly(vinyl alcohol) with starch. Polymer Degradation and Stability. 93: 1884-1890.
- Tadeo, F., Cercòs, M., Colmeneros, J., Iglesias, D., Naranjo, M., Rios, G. y Carrera, E. (2008). Molecular Physiology of Development of Quality of Citrus. En Kader, J. C. Delseny, M. (Ed.) Advances in Botanical Research (pp.167). Nueva York, U.S.A: Elsavier Ltda.

- Tirilly y Yes; Claude Marcel Bourgeois. (2002). Tecnología de las Hortalizas. Ed.Acribia, Pag. 114-132.
- Urrestarazu, G. M. (2004). Tratado del cultivo sin suelo. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. Journal of agricultural and food chemistry. 53 (20), 7807 – 7813.
- Warnock, S.J.(1988). A Review of Taxonomy and Phylogeny of the Genus *Lycopersicon*. HortScience, 23 (4).
- Zehuten, P. y Bagh,L. (2003). Food preservation techniques, Abington, Estados Unidos: Whoodhead publishing limited, pag.92.

**Anexo 1. Análisis de varianza para pH final vs pH inicial**

ANOVA

Source	DF	Sum square	Means squares	F ratio	Prob>F
pH inicial	6	300.0976	50.0163	1510.88	0.000
Error	70	2.3173	0.0331		
C. Total	76	302.4149	.	.	

(Diferencia significativa)

S = 0.1819 R-Sq = 99.23% R-Sq(adj) = 99.17%

Estudio de medias por Tukey			
pH inicial	N	Mean	Grouping
8	11	7.5964	A
7	11	6.9982	B
6	11	5.8509	C
5	11	4.5973	D
4	11	3.9464	E
3	11	2.8327	F
2	11	1.8191	G

Means that do not share a letter are significantly different.

**Anexo 2. Análisis de varianza para diámetro de partícula.**

ANOVA

Source	DF	Sum square	Means squares	F ratio	Prob>F	
Model	8	10633931.7	1329241.46	0.97064751	0.46860072	No hay dif significativa
Error	54	73949644.6	1369437.86			
C. Total	62	84583576.2	.	.		

**Anexo 3. Análisis de varianza y prueba de Tukey para pérdida de peso en % en cuanto a los tratamientos**

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	7	99.4	14.2	0.15	0.992
Error	24	2257.6	94.1		
C. Total	31	2357			

Estudio de medias por Tuckey			
Tramiento	N	Least square means	Grouping
P7	4	14.896	A
P8	4	14.617	A
P6	4	14.158	A
P2	4	13.554	A
T	4	12.282	A
P5	4	11.718	A
P4	4	10.464	A
P3	4	9.987	A

**Anexo 3.1. Análisis de varianza y prueba de Tukey para pérdida de peso en % en cuanto a los días trascurridos**

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	3	2194.29	731.43	125.87	0
Error	28	162.71	5.81		
C. Total	31	2357			

Día	N	Least sq means	Agrupamiento			
15	8	23.362	A			
10	8	17.615		B		
5	8	7.733			C	
1	8	2.128				D

Means that do not share a letter are significantly different.

#### Anexo 4. Análisis de varianza para color.

##### L (Luminosidad)

###### ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	24	69.77873	2.90745	1.8775	0.6383
Error	263	407.27407	1.54857		
C. Total	287	477.0528			

a

###### ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	24	267.82308	11.1593	4.0214	0.1775
Error	263	729.81512	2.775		
C. Total	287	997.6382			

b

###### ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	24	304.9174	12.7049	4.6113	0.347
Error	263	724.6014	2.7551		
C. Total	287	1029.5187			

### Anexo 5. Análisis de varianza para firmeza.

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	8	18.666604	2.3333	4.7504	0.9025
Error	87	42.732692	0.49118		
C. Total	95	61.399297			

### Anexo 6. Análisis de varianza para SST

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	8	26.465938	3.30824	6.9743	0.1856
Error	87	41.268124	0.47435		
C. Total	95	67.734062			

### Anexo 7. Análisis de varianza para vitamina C.

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	7	1247.3003	178.186	1.6593	0.1897
Error	16	1718.1355	107.383		
C. Total	23	2965.4357			

### Anexo 8. Análisis de varianza para acidez titulable.

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Means square	F Ratio	Prob > F
Model	8	0.00028315	0.000035	0.8477	0.8359
Error	23	0.0009603	0.000042		
C. Total	31	0.00124345			

### Anexo 9. Análisis de varianza para respiración.

ANOVA

Source	DF	Sum squares	Mean squares	F ratio	Prob>F
Model	7	11342679.5	1620382.79	0.03799032	0.99992732
Error	88	3753421179	42652513.4		
C. Total	95	3764763859			