



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Desarrollo de un envase liberador antifúngico a base de un extracto de Damiana (*Turnera diffusa*) aplicado en pimiento morrón mínimamente procesado.

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:  
ITZEL GENIZ DOMÍNGUEZ

ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ  
Co. ASESORA: M. EN C. ALMA ADELA LIRA VARGAS

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2016.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

Desarrollo de un envase liberador antifúngico a base de un extracto de Damiana (*Turnera diffusa*) aplicado en pimienta morrón mínimamente procesado.

Que presenta la pasante: Itzel Geníz Domínguez

Con número de cuenta: 306079692 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Marzo de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
VOCAL	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
SECRETARIO	Q.F.B. Luis Alberto Parra Oaxaca	
1er. SUPLENTE	M. en C. María Elena Pádua Ramos	
2do. SUPLENTE	M. en C. Selene Pascual Bustamante	

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

HM/cga\*

***El presente trabajo fue financiado por el  
proyecto PAPIIT: Desarrollo de envases  
activos para la conservación de productos  
frescos y mínimamente procesados  
(IT201513), de la Dirección General de  
Asuntos del personal Académico de la  
UNAM.***

*Dedico esta tesis infinitamente a mis  
padres, que nunca se dieron por  
vencidos y me indicaron el camino a  
seguir para poder cumplir esta meta  
tan importante para mí.*

*Mi gratitud en esa hoja no es nada,  
sin embargo les doy las gracias por  
siempre apoyarme y amarme.*

*Con todo mi amor para ustedes.*



## **Agradecimientos**

Agradezco nuevamente a mis padres, Georgina e Ignacio, porque tengo la dicha de tenerlos a ustedes como padres. Gracias por siempre confiar en mí, por darme su amor, saberme guiar y corregirme cuando era necesario.

Gracias por darme todo lo que han podido, a pesar de todo los obstáculos que han superado, sin embargo he visto en ustedes que el esfuerzo da resultados.

¡¡Finalmente lo hemos logrado!!

También agradezco a mis hermanas por que han sido una parte fundamental en el desarrollo de mi vida, pues siempre han sido un ejemplo para mí. Gracias por siempre apoyarme y cuidarme.

Erika, Ise, Boni y Yaho, las quiero mucho y admiro.

A mis hermosos sobrinos, Ximena, Dana y Fer por ser parte de mi vida y brindarme muchos momentos de felicidad.

Espero poder ser un buen ejemplo para ustedes en el futuro así como lo han sido mis hermanas.

A mis amigas, Yoce, Sara, luz, Jaz, Vivi, Pau, Alicia, Ceci, Arely y Jonathan por brindarme su amistad, apoyo y por compartir grandes momento llenos de felicidad, estrés y de locuras que jamás lo olvidaré.

A mí amigo Yadir por ser parte de este proyecto y apoyarme durante la etapa experimental. Gracias por el gran compromiso y dedicación que mostraste.

Agradezco a mi asesora y coasesora, la Dra. Andrea Trejo y Alama Adela Lira por guiarme durante este proyecto, que sin su apoyo no sería posible. Muchas gracias por su compromiso y por su gran labor como profesoras. Realmente me llevo una gran experiencia del Laboratorio de Poscosecha.

A mis profesores que han colaborado en mi formación académica y a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme ser parte de esta gran institución.



Agradezco a mi novio Javier, por apoyarme en todo este proceso, en los trámites y por darme siempre ánimos. Te cielo.

“Gracias a Dios por que finalmente puedo cerrar esta etapa tan bonita como estudiante.”

*La vida está para adelante nunca para atrás,  
si andas por la vida dejando puertas abiertas  
no podrás desprenderte ni vivir lo de hoy  
con satisfacción.*

*Paulo Coelho*





---

## Índice General

	<b>Página</b>
<b>Índice de Figuras</b>	V
<b>Índice de tablas</b>	IX
<b>Resumen</b>	X
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Antecedentes</b>	4
<b>2.1. Generalidades del pimiento</b>	5
2.1.1. Origen	5
2.1.2. Taxonomía y Morfología	5
2.1.3. Composición química y valor nutricional	7
2.1.4. Clasificación del pimiento	9
2.1.5. Importancia económica	10
2.1.5.1. Producción mundial	10
2.1.5.2. Exportación mundial	11
2.1.5.3. Producción nacional	11
2.1.6. Plagas y enfermedades que atacan al pimiento	12
2.1.7. Métodos de conservación del pimiento morrón	19
<b>2.2. Productos mínimamente procesados</b>	21
2.2.1. Definición de productos mínimamente procesados	21
2.2.2. Principales operaciones unitarias	22
2.2.3. Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas	29
2.2.4. Aplicación de nuevas tecnologías en la conservación de productos mínimamente procesados.	31
<b>2.3. Envases activos</b>	33





---

2.3.1.	Tipos de envases activos	33
2.3.2.	Recubrimientos comestibles (RC)	34
2.3.2.	Recubrimiento a base de extractos naturales	36
<b>3.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>38</b>
<b>4.</b>	<b>Metodología</b>	<b>40</b>
4.1.	<b>Cuadro metodológico</b>	41
4.2.	<b>Material biológico</b>	42
4.3.	<b>Pruebas in vitro con extracto de Damiana</b>	42
4.3.1.	Obtención del extracto vegetal de Damiana	42
4.3.2.	Evaluación de la actividad antifúngica	43
4.4.	<b>Proceso de elaboración de pimiento morrón mínimamente procesado</b>	44
4.4.1.	Tratamiento de la muestra	44
4.4.2.	Selección del agente desinfectante	45
4.5.	<b>Pruebas in vivo en pimiento morrón fresco</b>	47
4.5.1.	Obtención del inóculo	47
4.5.2.	Aplicación del inóculo en el pimiento morrón fresco	48
4.5.3.	Aplicación de un recubrimiento comestible adicionado con un extracto vegetal en pimiento morrón mínimamente procesado	48
4.6.	<b>Técnicas Analíticas</b>	51
4.6.1.	Determinación de fenoles totales	51
4.6.2.	Parámetros de calidad	51
	Color	51
	Sólidos solubles totales	52
	Liberación de líquido	52
	Pérdida de peso	52
4.6.3.	Parámetros fisicoquímicos	53
	pH	53

---



---

Acidez	53
4.6.4. Parámetros nutricionales	53
Contenido de ácido ascórbico (Vitamina C)	53
Carotenoides	54
4.6.5. Parámetros microbiológicos	54
4.6.6. Determinación de parámetros sensoriales	54
<b>4.7. Análisis estadístico</b>	<b>55</b>
<b>5. Resultados y discusión</b>	<b>56</b>
<b>5.1. Evaluación de la actividad antifúngica del extracto de Damiana sobre <i>Alternaria spp</i> y <i>Colletotrichum spp</i></b>	<b>57</b>
5.1.1 Pruebas <i>in vitro</i> de las propiedades antifúngicas del extracto de Damiana	57
<b>5.2. Parámetros de calidad, nutricionales y microbiológicos en pimiento morrón mínimamente procesado bajo diferentes tratamientos de desinfección</b>	<b>62</b>
5.2.1. Parámetros de calidad en pimiento morrón mínimamente procesado bajo diferentes tratamientos de desinfección	62
5.2.1.1. Acidez titulable	62
5.2.1.2. pH	64
5.2.1.3. Sólidos solubles totales	67
5.2.2. Parámetros nutricionales en pimiento morrón mínimamente procesado bajo diferentes tratamientos de desinfección	70
5.2.2.1. Carotenoides	70
5.2.2.2. Vitamina C	74
5.2.2.3. Pérdida de peso	77
5.2.3. Parámetros microbiológicos en pimiento morrón desinfectado por diversos tratamientos	79
5.2.3.1. Recuento total de coliformes	80
5.2.3.2. Recuento total de mesófilos	82
5.2.3.3. Recuento total de Mohos y Levaduras	84



---

<b>5.3. Parámetros de calidad, microbiológicos y sensoriales en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto</b>	<b>89</b>
5.3.1. Parámetros de calidad en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto	89
5.3.1.1 Color	89
Luminosidad	89
Croma	92
Tono	95
5.3.1.2. Pérdida de peso	98
5.3.1.3. Liberación de líquido	100
5.3.2. Parámetros microbiológicos en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto	102
5.3.2.1. Recuento total de coliformes	103
5.3.2.2. Recuento total de mesófilos	104
5.3.2.3. Recuento total de mohos y levaduras	106
5.3.3. Evaluación sensorial en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto	108
<b>Conclusiones</b>	<b>111</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>114</b>
<b>Referencias</b>	<b>117</b>



## Índice de Figuras

	Página
<b>Figura 1.</b> Producción mundial en ton de chiles verdes, pimientos picantes, pimientos verdes	10
<b>Figura 2.</b> Exportación mundial en ton de chiles verdes, pimiento picante y pimientos verdes	11
<b>Figura 3.</b> Principales estados productos de pimiento morrón en México	12
<b>Figura 4.</b> <i>Alternaria spp</i> vista desde el microscopio	18
<b>Figura 5.</b> Hifas y conidios de <i>Colletotrichum spp</i>	19
<b>Figura 6.</b> Selección de chiles	22
<b>Figura 7.</b> Diagrama de proceso para la elaboración de los RMP	23
<b>Figura 8.</b> Selección de chiles	24
<b>Figura 9.</b> Cortado mecánico de zanahorias	25
<b>Figura 10.</b> Desinfección mecánica de lechuga	25
<b>Figura 11.</b> Envasado de fruta	28
<b>Figura 12.</b> Comercialización de productos mínimamente procesados	29
<b>Figura 13.</b> Propiedades que deben presentar los recubrimientos comestibles	34
<b>Figura 14.</b> Tipos de polímeros que se incluyen en los recubrimientos comestibles	35
<b>Figura 15.</b> Material biológico: pimiento morrón ( <i>Capsicum annunm L.</i> )	42
<b>Figura 16.</b> Dispositivo ultrasónico comúnmente conocido	43
<b>Figura 17.</b> Medición de la inhibición del crecimiento micelial	44
<b>Figura 18.</b> Selección del pimiento morrón	44
<b>Figura 19.</b> Desinfección de A) mesas, B) equipos De trabajo y C) utensilios	44
<b>Figura 21.</b> A) Desinfección con cloro y B) desinfección con ozono	45
<b>Figura 20.</b> Diagrama de proceso de pimiento morrón mínimamente procesado	46
<b>Figura 22.</b> A) Raspado de las esporas del hongo y B) Obtención del inóculo	47
<b>Figura 23.</b> Cámara de NeuBauer integrada por 4 cuadrantes laterales y 1 central	48
<b>Figura 24.</b> A) Inoculación del pimiento morrón y B) Almacenamiento del pimiento morrón en cámaras húmedas	48
<b>Figura 25.</b> A) Recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana, B) Inmersión del pimiento morrón mínimamente procesado en el recubrimiento comestible y C) Escurrido del pimiento	49
<b>Figura 26.</b> Diagrama de proceso de pimiento morrón mínimamente procesado y recubierto, adicionado con extracto de Damiana	50



---

<b>Figura 27.</b> Espectrofotómetro (marca thermospectronic, modelo Genesis UV)	51
<b>Figura 28.</b> Colorímetro Minolta	52
<b>Figura 29.</b> Refractómetro digital	52
<b>Figura 30.</b> Potenciómetro manual	53
<b>Figura 31.</b> A) Preparación de la muestra para su análisis microbiológico, B) Inoculación de la muestra y C) Conteo de colonias	54
<b>Figura 32.</b> Porcentaje de inhibición del extracto de Damiana sobre A) <i>Alternaria spp</i> y B) <i>Colletotrichum spp</i> en pruebas <i>in vitro</i> a tres diferentes concentraciones	58
<b>Figura 33.</b> Acidez titulable (AT) en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo.	63
<b>Figura 34.</b> pH en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo	66
<b>Figura 35.</b> Sólidos solubles totales (SST) en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5 °C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo	69
<b>Figura 36.</b> Cuantificación de carotenos en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo	72
<b>Figura 37.</b> Cuantificación de vitamina C en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo	75
<b>Figura 38.</b> Pérdida de peso en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días.	78
<b>Figura 39.</b> Efecto de diferentes desinfectantes en el conteo de células viables de coliformes presentes en el pimiento morrón mínimamente procesado almacenado a 5 °C durante 12 días	80
<b>Figura 40.</b> Efecto de diferentes desinfectantes en el conteo de células de bacterias mesófilas presentes en el pimiento morrón mínimamente procesado almacenado a 5 °C durante 12 días	83
<b>Figura 41.</b> Efecto de diferentes desinfectantes en el conteo de células de mohos y levaduras presentes en el pimiento morrón mínimamente procesado almacenado a 5 °C durante 12 días	85

---



- Figura 42.** Determinación de Luminosidad en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo 91
- Figura 43.** Cuantificación del valor de Croma en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y desinfectado a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo 94
- Figura 44.** Determinación de °Hue en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubiertos a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo 97
- Figura 45.** Evaluación de la pérdida de peso en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo 99
- Figura 46.** Cuantificación del % de liberación de líquido en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días 101
- Figura 47.** Conteo de células viables de coliformes en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto, en pimiento morrón mínimamente procesado, almacenado a 5°C durante 12 días 103
- Figura 48.** Conteo de bacterias mesófilas en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto, en pimiento morrón mínimamente procesado, almacenado a 5°C durante 12 días 105
- Figura 49.** Conteo de mohos y levaduras viables en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubiertos, en pimiento morrón mínimamente procesado, almacenado a 5°C durante 12 días 107
- Figura 50.** Perfil sensorial de pimiento morrón mínimamente procesado y recubierto con una matriz de grenetina al 3%, adicionado con extracto vegetal de Damiana a una concentración de 4000 ppm. A= día 1 y B= día 6, donde el color: Azul=



---

control que únicamente se desinfecto y Anaranjado= muestra desinfectada y  
recubierta

109



---

## Índice de tablas

	Página
<b>Tabla 1.</b> Taxonomía del pimiento morrón	6
<b>Tabla 2.</b> Morfología del pimiento	6
<b>Tabla 3.</b> Composición química y valor nutritivo de pimientos dulces y picantes por 100 g de producto comestible	8
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de pimientos dulces	9
<b>Tabla 5.</b> Plagas que atacan al pimiento morrón	14
<b>Tabla 6.</b> Enfermedades que dañan al pimiento morrón	16
<b>Tabla 7.</b> Métodos de conservación del pimiento morrón	20
<b>Tabla 8.</b> Desinfectantes más utilizados en los alimentos	26
<b>Tabla 9.</b> Cambios fisiológicos, bioquímicos y microbiológicos que sufren los productos mínimamente procesados	30
<b>Tabla 10.</b> Tecnologías emergentes para la conservación de los productos mínimamente procesados	31
<b>Tabla 11.</b> Sistemas de envases activos	33
<b>Tabla 12.</b> Composición química del extracto de <i>Turnera diffusa</i> .	37
<b>Tabla 13.</b> Escala hedónica para la evaluación sensorial del pimiento morrón.	55
<b>Tabla 14.</b> Seguimiento fotográfico de la inhibición del crecimiento del hongo <i>Alternaria spp</i> por la actividad del extracto de Damiana a las distintas concentraciones estudiadas	60
<b>Tabla 15.</b> Seguimiento fotográfico de la inhibición del crecimiento del hongo <i>Colletotricum spp</i> por la actividad del extracto de Damiana a las distintas concentraciones estudiadas	61
<b>Tabla 16.</b> Seguimiento fotográfico del comportamiento de los pimientos desinfectados con cloro y ozono con un tiempo de 3 y 6 minutos	88





# RESUMEN



---

El pimiento morrón es una hortaliza que en los últimos años, en México se ha incrementado su comercialización debido a sus múltiples beneficios nutricionales, como su alto contenido en vitamina C que aporta propiedades antioxidantes, así como su sabor dulce. Sin embargo la calidad del pimiento morrón se ve afectada por enfermedades poscosecha por hongos tales como *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp* que generan pérdidas del 25 y hasta el 50% de dicha hortaliza. Es por ello que ésta presente investigación tuvo como objeto la aplicación de nuevas tecnologías que permitan conservar la calidad del pimiento morrón por más tiempo para su comercialización. Siendo una alternativa el estudio de tecnologías de procesamiento mínimo que ofrecen al consumidor una opción saludable de consumo rápido. Así como la implementación de nuevas tecnologías de desinfección como el ozono y el desarrollo de un envase liberador antifúngico a base de un recubrimiento adicionado con extracto de Damiana.

En la primera etapa se realizaron pruebas *in vitro* en donde se determinó la concentración del extracto de Damiana para la inhibición de los hongos *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp*. Obteniéndose como resultado que a una concentración de 4000 ppm se inhibió el crecimiento de ambos hongos.

En la segunda etapa se llevó a cabo el procesamiento mínimo del pimiento morrón en donde se compararon dos tipos de desinfectantes cloro y ozono (con un tiempo de ozonificación de 3 y 6 minutos), y se evaluó el efecto sobre los pimientos de color amarillo, verde y rojo en los parámetros de calidad (acidez, pH, sólidos solubles y pérdida de peso), nutricionales (contenido de vitamina C y carotenoides) y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos, mohos y levaduras). Siendo el Ozono el que presentó mejores resultados en los parámetros de calidad y nutricionales. Con respecto a los parámetros microbiológicos el cloro y el ozono con un tiempo de 6 minutos presentaron el mayor porcentaje de desinfección.

En la última etapa se realizaron las pruebas *in vivo* en el pimiento morrón. Para lo cual se inoculó y se efectuó nuevamente el procesamiento mínimo, aplicando como desinfectante ozono con un tiempo de 6 minutos y por último se recubrió el pimiento morrón con la concentración de 4000 ppm de extracto de Damiana incorporada a la matriz del recubrimiento a base de grenetina al 3%, glicerol al 1% y tween al 0.6%. En esta etapa se evaluaron los parámetros de calidad (color, pérdida de peso y liberación de líquido), microbiológicos (coliformes totales, mesófilos, mohos y levaduras) y sensoriales.

Los resultados que se obtuvieron, es que el recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana no mejoró los parámetros de calidad y microbiológico como se había estimado, sin embargo logró limitar el crecimiento de los hongos *Alternaria spp* y



---

*Colletotrichum spp* durante los 12 días de almacenamiento que era el objetivo que se buscaba en este proyecto.

Finalmente el análisis de evaluación sensorial indicó que el recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana no imparte olores y sabores durante el almacenamiento, por otra parte no logró potencializar la apariencia visual y la textura del pimiento morrón mínimamente procesado. Por lo que se sugiere la aplicación de este recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana en otros frutos y hortalizas en donde podría incrementar la calidad de estos.



# 1. INTRODUCCIÓN



El pimiento morrón es una hortaliza que aporta diversos beneficios a la salud, debido a su alto contenido en vitamina C y capacidad antioxidantes que protege a las células del estrés oxidativo y previene diversos tipos de cáncer incluyendo el de próstata y el de pulmón (Botanical, 1999).

México es uno de los principales productores de pimiento morrón con una participación de 82,913.11 toneladas durante el año 2014 (SAGARPA-SIAP, 2014).

En los últimos cinco años las exportaciones de esta variedad de chile se han incrementado en un 36% de acuerdo a las actualizaciones más recientes de FAO (2015). Sin embargo las pérdidas poscosecha de frutas y hortalizas a nivel mundial se estiman de 5 a un 25% en países desarrollados y de 20-50% en vías de desarrollo, estas varían entre productos, áreas de producción y época del año.

De las principales razones que generan estas pérdidas está la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos de diversos géneros que generalmente no aparecen durante el crecimiento de las plantas, pero permanecen en estado latente hasta la maduración de los productos hortofrutícolas y otros se adquieren durante la cosecha, el transporte y/o el manejo del producto (Hortalizas, 2008; Ramos-García *et al.*, 2010).

En el pimiento morrón una de las principales causas de las pérdidas poscosecha por la presencia de hongos, tales como *Colletotrichum spp* y *Alternaria spp*, que originan el desarrollo de enfermedades generando pudriciones, ablandamientos, cambios de color y modificación del sabor en el pimiento morrón (Trigos *et al.*, 2008).

Ante esta problemática, México ha iniciado el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para combatir las pérdidas poscosecha que merman la calidad del producto. Algunos de estas alternativas es la tendencia de productos mínimamente procesados en fresco (RMP), denominados comercialmente de la “cuarta gama” que permite alargar el tiempo de vida útil de los alimentos, así como garantizar la calidad sensorial y nutritiva. Esta tendencia se ha expandido notablemente en nuestro país y otros, provocado una mayor demanda de productos vegetales naturales, frescos y saludables (Artés-Hernández *et al.*, 2009).

Por lo cual se han generado nuevas tecnologías con el fin de obtener productos mínimamente procesados con un tiempo de vida útil mayor y de mejor calidad. Algunas de estas nuevas tecnologías se basan en la búsqueda de nuevos desinfectantes tal es el caso del ozono dada su eficacia en la reducción de microorganismos, así como en la aplicación de recubrimientos comestibles (León, 2009). Que sirven como soporte de agentes antioxidantes, de nutrientes y antimicrobianos. Siendo este último donde se ha innovado,



desarrollando antimicrobianos a base de extractos vegetales con el fin de reducir, inhibir o detener el crecimiento de microorganismos sobre la superficie de los vegetales (Figueroa *et al.*, 2011). Debido a que los extractos vegetales contienen compuestos activos que inhiben el crecimiento de los fitopatógenos, así como la esporulación y geminación de esporas, de modo que ayudan a controlar las enfermedades de frutos y hortalizas (Hernández Lauzardo *et al.*, 2007). Se han reportado estudios acerca de la capacidad antifúngica que tienen los extractos provenientes de la planta *Turnera diffusa*, comúnmente conocida como Damiana, debido a la presencia alrededor de 35 compuestos bioactivos dentro de los cuales se identifican flavonoides, terpenoides, fenoles y sacáridos (Garza *et al.*, 2009).

Por lo que la aplicación de tecnologías de procesamiento mínimo y de recubrimientos anti fúngicos a base de extractos naturales en productos frutohortícolas es una alternativa que se propone aplicar al pimiento morrón para ofrecer un producto de buena calidad, fresco y listo para su consumo.



## 2. ANTECEDENTES



## **2.1. Generalidades del pimiento**

### **2.1.1. Origen**

El pimiento es una planta cuyo origen botánico cabe centrarlo en América del sur, concretamente en el área de Perú y Bolivia, desde donde se expandió al resto de América (Maroto, 2002). Sin embargo en México fue domesticada la especie *C. annuum* (Montes de Oca, 2009).

El inicio de la domesticación de la planta está registrado arqueológicamente en los estados de Tamaulipas, Puebla y Oaxaca. Los restos más antiguos se han encontrado en Tehuacán Puebla, en el año 6500-5500 a.C. El chile es, por tanto una de las primeras plantas domesticadas en Mesoamérica procediendo incluso al maíz y el frijol (Grajales, 2012). Posteriormente la domesticación condujo a modificar la planta y, especialmente, los frutos. El hombre seleccionó y conservó una amplia diversidad de tipos, color, tamaño y sabor (Nuez *et al.*, 2003).

El chile fue llevado de México y Sudamérica a España, en el siglo XVI, cuando Cristóbal Colón en la búsqueda de especias, confundió el chile con la pimienta negra y llevó a España un cargamento de lo que él llamó “pimiento”, pues sintió la misma sensación picante que le producía la pimienta negra, a pesar de que su sabor es muy diferente, pues el compuesto picante de la pimienta es el alcaloide piperina mientras que el del chile es la capsaicina. De esta manera fueron los españoles y portugueses quienes se encargaron de introducir el pimiento a Europa, Asia y África y en poco tiempo se instaló en la gastronomía de un sin número de culturas y hasta ahora México no ha dejado de proveer a todo el planeta una diversidad de chiles del género *Capsicum annuum* siendo la más importante económicamente. Se estima que un cuarto de la población mundial consume chile diariamente, bien sea como forma directa o por el consumo de alimentos procesados que lo contienen (Waizel y Camacho, 2011).

### **2.1.2. Taxonomía y Morfología**

El pimiento morrón se agrupa en la familia Botánica denominada *Solanaceae* o *Solanaceas*. Esta familia tiene gran importancia económica por tener entre otros representantes a la “papa, el tomate, jitomate, tabaco”. En la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica a la cual pertenece el pimiento (Maroto, 2002).





Tabla 1. Taxonomía del pimiento morrón.

Familia	<i>Solanaceae o Solanaceas</i>
Genero	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>annuum</i>

Fuente: Maroto (2002).

El género *Capsicum* agrupa a más de 26 especies, de las cuales sólo 12 son empleadas por el hombre. De éstas sólo 5 especies han sido domesticadas y cultivadas. Sin embargo *Capsicum annum L.*, es la especie más conocida, extendida y cultivada de este género y a la cual pertenecen la mayoría de los chiles tal es el caso del pimiento (Maroto, 2002).

Ya se ha indicado que la mayor parte de las variedades cultivadas pertenecen a *Capsicum annum L.*, cuyas característica botánicas son las que se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Morfología del pimiento.




<p><b>Planta</b></p> 	<p>Herbácea anual. Su aspecto es lampiño de tallos erguidos y de crecimiento limitado en función del cultivar y las condiciones de cultivo.</p>
<p><b>Sistema radicular</b></p> 	<p>Es la parte de la planta que se desarrolla por debajo del suelo. El pimiento consta de una raíz axonomorfa (raíz principal gruesa) con numerosas ramificaciones que pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 -1 m y una profundidad de 30-60 cm.</p>
<p><b>Tallo principal</b></p> 	<p>De crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura emite 2 o 3 ramificaciones dependiendo de la variedad y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo.</p>



Tabla 2. Morfología del pimiento (continuación).

<p style="text-align: center;"><b>Hoja</b></p> 	<p>Es ovalada, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado y poco aparente. Tienen un pecíolo corto, es lisa, suave al tacto y de color verde más o menos intenso y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Flor</b></p> 	<p>La flor es hermafrodita, es decir en la misma flor se producen gametos masculinos y femeninos. Son pequeñas y constan de una corola blanca formada de 5-8 pétalos, aparecen solitarias en cada nudo del tallo. Normalmente una planta produce varios cientos de flores.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fruto</b></p> 	<p>Baya hueca con forma de cápsula, semicartilaginosa, de tamaño y forma según la variedad, está constituida por un pericarpio grueso y jugoso con un tejido placentario al que se le une las semillas. Su peso oscila entre 50-500 g con tamaño entre 5-20 cm de longitud y 2-10 cm de diámetro.</p> <p>Los frutos inmaduros, exhiben colores pálidos (blanco-amarillo o verde) así como colores oscuros (verde, amarillo, verde-azulado). En el estado maduro se distingue el color amarillo y rojo</p> <p>Se caracteriza por su pungencia o astringencia debido a la capsaicina (C<sub>18</sub>H<sub>27</sub>O<sub>3</sub>). En algunas variedades es abundante y en otros es escasa, cuando se trata de pimientos dulces.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Semillas</b></p> 	<p>Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 milímetros.</p>

Fuente: Grajales (2012); Nuez *et al.* (2003).

### 2.1.3. Composición química y valor nutricional

En la Tabla 3 se muestra el valor nutricional del pimiento, el cual es alto en comparación con otras hortalizas de amplio consumo, como por ejemplo el tomate.



Tabla 3. Composición química y valor nutritivo de pimientos dulces y picantes por 100 g de producto comestible.

Composición	Pimiento dulce	Pimiento picante
Materia seca (%)	8.0	34.0
Valor calórico (Kcal)	26.0	116.0
Proteína (g)	1.3	6.3
Fibra (g)	1.4	15.0
Calcio (mg)	12.0	86.0
Hierro (mg)	0.9	3.6
Carotenos (mg)	1.8	6.6
Tiamina (mg)	0.1	0.4
Riboflavina (mg)	0.1	0.5
Niacina (mg)	0.8	2.5
Vitamina C (mg)	103.0	96.0
Valor nutricional medio (ANV)	6.6	27.9
ANV POR 100 g de materia seca	82.6	80.7

Fuente: Nuez *et al.* (2003).

El contenido de agua en el pimiento dulce varía de 82-92 %, mientras que los pimientos picantes se encuentran en torno a un 70 %.

Por su composición química, los pigmentos contenidos en el pimiento se incluyen dentro del grupo de los carotenoides. Los carotenoides son pigmentos amarillos, rojo- anaranjados o rojos, que pueden encontrarse en las hojas, junto con la clorofila, o en otras partes de la planta, tales como raíces, frutos, etc. (Nuez *et al.*, 2003).

Los pigmentos del pimiento se pueden dividir en (Sanz, 2013):

- Pigmentos principales o característicos: capsantina ( $C_{40}, H_{58}, O_3$ ) y capsorubina ( $C_{40}, H_{60}, O_4$ ), que son los que proporcionan el color rojo.
- Pigmentos con efecto de provitamina: criptoxantina ( $C_{40}, H_{56}, O$ ) y  $\beta$  caroteno ( $C_{40}, H_{56}$ ).

Estos pigmentos tienen propiedades antioxidantes que protege a las células del estrés oxidativo y previene el cáncer de próstata, así como el colesterol malo (LDL). A esto se suma que reduce déficits de memoria vinculados al envejecimiento (Sanz, 2013).

En cuanto al contenido de vitamina A es elevado, estimándose que con 3-4 g de pimiento rojo se cubren los requerimientos diarios de vitamina A de una persona adulta.

El pimiento por su alto contenido en vitamina C, aunque hay diferencias entre variedades, ya que las variedades de color verde generalmente contiene más vitamina C que la de color amarillo, favorecen la absorción del hierro de los alimentos en el tubo digestivo. Mientras que la vitamina B<sub>6</sub> y magnesio contenidas en el pimiento reducen la ansiedad y el



insomnio. Además la vitamina B6 es un diurético natural, por lo que incluir este alimento en la dieta contribuye a evitar la hipertensión (Sanz, 2013). El pimiento además de contener vitamina A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, también contiene aceites volátiles, lípidos, aminoácidos, proteínas, ácidos orgánicos y sustancias minerales (Nuez *et al.*, 2003).

#### 2.1.4. Clasificación del pimiento

Dada la complejidad taxonómica existente en el pimiento, es difícil establecer una clasificación homogénea que agrupe las distintas variedades, ya que se suelen clasificar por género, de acuerdo a su forma y tamaño. Por su forma y tamaño, los pimientos se clasifican en pimientos de forma cuadrada y pimientos de forma alargada o rectangular. En este texto se abordara la clasificación más práctica, basada en el sabor dulce o picante de los pimientos (Maroto, 2002).

La variedad dulce, suelen tener frutos de tamaño grande, son los que se cultivan en invernaderos y su consumo está muy extendido para el consumo en fresco y la industria de la conserva (Maroto, 2002). Dentro de la clasificación de pimientos dulces se encuentra el pimiento california, italiano, lamuyo y morrón. A continuación se presenta en la Tabla 4 una breve descripción de cada uno de estos.

Tabla 4. Clasificación de pimientos dulces.

Variedades de pimiento dulce	Descripción
<b>California</b> 	Frutos de forma cuadrada, cortos (7-10 cm), ancho (6-9 cm) con 3 ó 4 cascós bien marcados, en el cáliz y la base del pedúnculo. De carne gruesa (7- 3 mm)
<b>Italiano</b> 	Variedad de pimiento verde, alargado, estrecho, acabado en punta, de carne fina, más tolerantes al frío, que se cultivan normalmente en un ciclo único, con plantación tardía en septiembre u octubre y recolección entre diciembre y mayo.



Tabla 4. Clasificación de pimientos dulces (continuación).

Variedades de pimiento dulce	Descripción
<p><b>Lamuyo</b></p> 	<p>Es alargado o rectangular, con buena cavidad central, con piel tersa, lisa y gruesa. Presentan tres o cuatro cascós bien marcados. Los cultivares son más vigorosos y menos sensibles al frío que los de tipo californiana.</p>
<p><b>Morrón</b></p> 	<p>Variedad gruesa, carnosa y de gran tamaño. Miden de largo de 8-12 cm y 8 cm de ancho, tiene forma cuadrada y achatada. Su piel es brillante, lisa y sin manchas, su carne firme y de sabor suave y su tallo es verde y rígido. En estado inmaduro son verdes, cambian de rojo conforme maduran, aunque algunos pasan del blanco al rojo o del verde al naranja.</p>

Fuente: INFOAGRO (2012).

## 2.1.5. Importancia económica

### 2.1.5.1. Producción mundial

A nivel mundial México ocupa el segundo lugar en producción de pimiento morrón con una producción de 2, 337, 068 ton, mientras que China ocupa el primer lugar con una producción de 15, 700, 000 ton, según datos reportados por la FAOSTAT en el periodo 2012- 2013, como se puede apreciar en la Figura 1 (FAO, 2013).

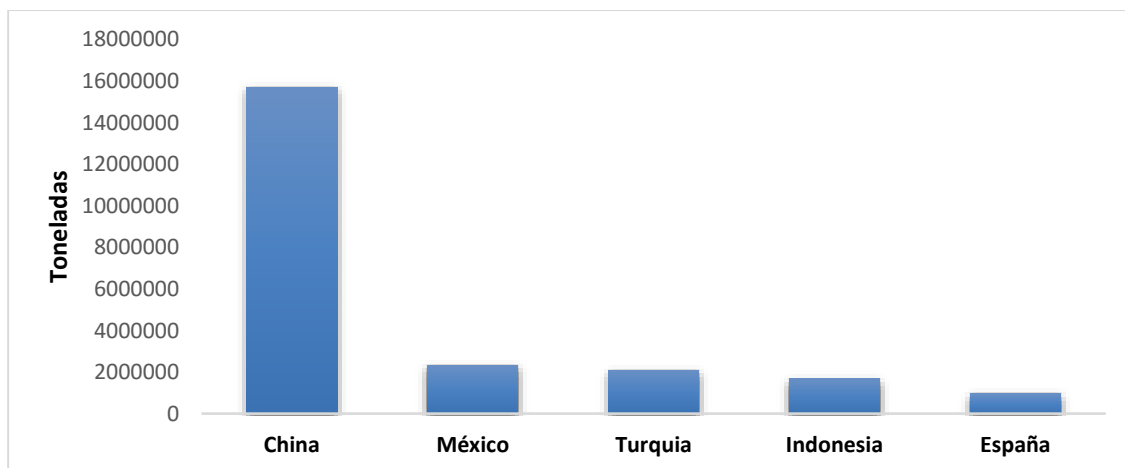


Figura 1. Producción mundial en ton de chiles verdes, pimientos picantes, pimientos verdes. Periodo (2012-2013).

Fuente: FAO (2013).



### 2.1.5.2. Exportación mundial

Según datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), México ocupó el primer lugar a nivel mundial en exportación de pimiento con 644,560 ton en el 2011, (Figura 2) (FAO, 2011). Ya que durante los últimos cinco años las exportaciones de esta variedad de chile se han incrementado en un 36% debido a la aplicación de técnicas de producción en invernaderos y a que los productores le han estado apostando a la calidad de los productos, tanto del pimiento mismo, como en los empaques o las certificaciones de inocuidad, razón por la cual México se ha convertido en el principal exportador de pimientos a países como Estados Unidos, Canadá y el norte de Europa, principalmente durante los meses de invierno, cuando las condiciones de luz y temperatura limitan la producción agrícola en esos países (Aldana, 2011; Zúñiga *et al.*, 2004).

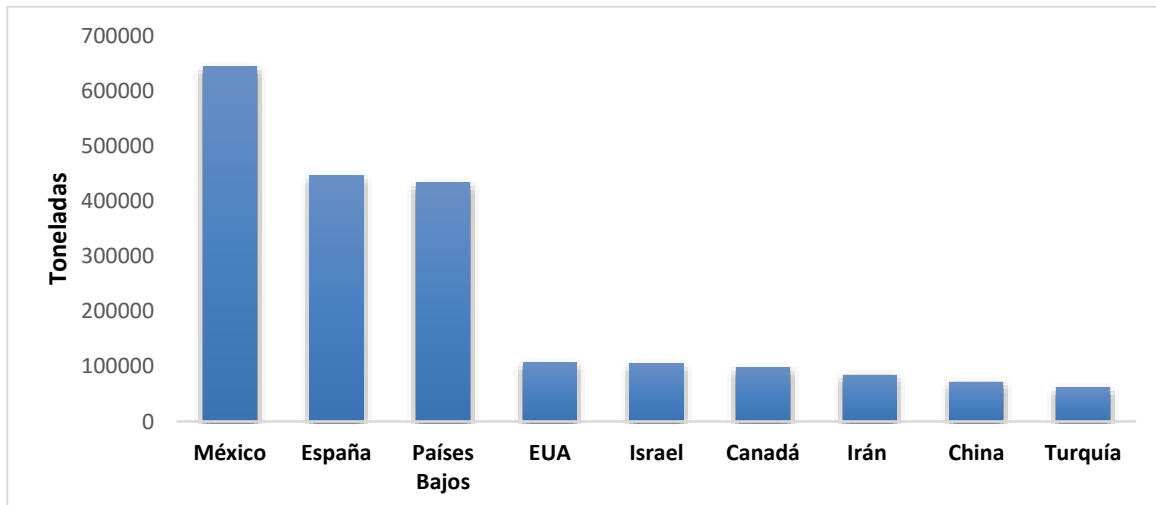


Figura 2. Exportación mundial en ton de chiles verdes, pimiento picante y pimientos verdes (2011).

Fuente: FAO (2011).

### 2.1.5.3. Producción nacional

México posee una gran variedad de climas y ecosistemas que le permite la adecuada producción de hortalizas durante todo el año, lo cual constituye una de las principales ventajas ante otros competidores potenciales. Siendo el pimiento morrón una de las principales hortalizas que produce y exporta en mayor cantidad, debido a que el pimiento ha ido adquiriendo gran importancia económica ya que se puede consumir en fresco, en conservas, como pimentón o mezclado con otros (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010). El pimiento morrón o Bell se cultiva de manera general en las regiones templadas y cálidas, en los estados de Baja California, Baja California Sur, Jalisco, Morelos, Sinaloa y Sonora



(Figura 3) (SIAP, 2014). En estos estados predomina la tecnología de producción de invernadero debido a que se obtiene un rendimiento por unidad de superficie de 80 toneladas por hectárea mayor en comparación con la agricultura de riego la cual se ve limitada por el agua (Zúñiga *et al.*, 2004). Datos proporcionados por SIAP indican que en el 2014 se produjo 77,946.96 toneladas de pimiento morrón por el sistema de invernadero.



Figura 3. Principales estados productores de pimiento morrón en México.  
Fuente: SIAP (2014).

Sin embargo se ha reportado que durante el manejo poscosecha de dicha hortaliza se pierde cerca del 40% o más del total de la producción, dependiendo del sistema de cultivo, áreas de producción y época del año. De las principales razones que generan estas pérdidas está la incidencia plagas en los cultivos y por enfermedades causadas principalmente por hongos de diversos géneros, que aparecen durante el crecimiento de las hortalizas, y en algunos casos permanecen en estado latente hasta la maduración del producto hortícola y otros se adquieren durante la cosecha, el transporte y/o el manejo del producto (Ramos-García *et al.*, 2010).

#### **2.1.6. Plagas y enfermedades que atacan al pimiento**

Las pérdidas que ocasionan las plagas y enfermedades en los cultivos de hortalizas y frutas se ubican entre 20 y 50 por ciento de la producción, convirtiéndose en uno de los principales inconvenientes para los productores (Gaceta Innovación, 2009).



En la actualidad la mayor parte de las plagas que afectan a los cultivos comerciales de pimiento son muy similares en casi todos los países del mundo. El cultivo de pimiento es atacado por un sin número de plagas y enfermedades.

A continuación se presenta en la Tabla 5 las plagas principales, que provocan daños de cierta consideración económica, y señalaremos aquellos parásitos secundarios que afectan en áreas muy concretas o restringidas al cultivo (Nuez *et al.*, 2003).

Por otra parte las plagas y enfermedades, particularmente estas últimas, son el principal problema de la producción de pimiento en el mundo. Entre todas ellas, las enfermedades no víricas son las de mayor importancia debido a que el pimiento está dotado de un pobre sistema radical (Nuez *et al.*, 2003). En la Tabla 6 se abordaran las enfermedades no víricas que mayor repercusión económica generan en el pimiento.





Tabla 5. Plagas que atacan al pimiento morrón.




Plaga		Daños		Métodos	
<p><b>Araña roja</b> (<i>Tetranychus urticae</i>)</p> 	<p>Los daños son ocasionados por las picaduras al alimentarse, ya que succionan la savia de las hojas. La hojas toman una coloración amarillenta a marrón y esta se vuelven lisas (hojas adultas) o abombadas (hojas en crecimiento) con el paso del tiempo. Así mismo la planta se ven afectada, deteniéndose el crecimiento y cubriéndose de densas telas.</p>	<p>Evitar la contaminación de los semilleros.  Eliminar los restos de vegetales de anteriores cosechas y malas hierbas.  Instalar mallas en puertas y ventanas.  Colocar placas amarillas con sustancias pegajosas para facilitar la detección de la plaga.</p>	<p>Empleo de acaricidas tales como: • Fenbutestán • Propargita • Dinobutano oxamilo • Aldicarb</p> <p>Aplicación de: • Azufre micronizado • Endosulfán • Dicofof-tetradifón Fenbutestán</p>		
<p><b>Araña blanca</b> (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)</p> 	<p>Son producidos por larvas y adultos que al alimentarse extraen los jugos celulares y los órganos afectados sufren deformaciones. Las hojas atacadas se recurvan, generalmente hacia el envés, se produce una decoloración y bronceamiento en la superficie. Las flores abortan o dan lugar a frutos deformes y en ocasiones son inservibles para su comercialización. En los frutos aparece un acostumamiento y un rajado dejando expuesto el interior de éste.</p>	<p>Colocar placas amarillas con sustancias pegajosas para facilitar la detección de la plaga.</p>	<p>Las materias activas son: • Acefato • Etofenprox, • Etofencarb • Fluvalinato • Metomilo Malarion</p>		
<p><b>Áfidos o pulgones</b></p> 	<p>Los áfidos o pulgones se alimentan extrayendo la savia de los órganos de las plantas principalmente jóvenes. Generalmente la planta manifiesta una reducción en su crecimiento, un color amarillento y deformaciones. La presencia de áfidos da lugar al desarrollo de hongos saprófito en los tejidos de las plantas. Así mismo son vectores de un gran número de virosis que afectan al cultivo.</p>	<p>Colocar placas amarillas con sustancias pegajosas para facilitar la detección de la plaga.</p>	<p>Las materias activas son: • Acefato • Etofenprox, • Etofencarb • Fluvalinato • Metomilo Malarion</p>		



Tabla 5. Plagas que atacan al pimiento morrón (continuación).

Plaga	Daños	Métodos	
		Preventivos	Químicos
<p><b>Moscas blanca</b></p> 	<p>Producen marchitamiento de las plantas y las hojas se vuelven amarillentas, cubiertas de mielecilla hasta que se mueren por desecamiento. La secreción producida por la mosca blanca es un soporte para el desarrollo de hongos del tipo <i>Cladosporium sphaerosporum</i>. Tiene la capacidad de ser transmisores de virosis, tal es el caso del virus de la hoja rizada.</p>		<p>Los plaguicidas más utilizados son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imidacloprid</li> <li>• Teblubenzuró</li> <li>• Piretroides.</li> </ul>
<p><b>Trips</b></p> 	<p>Se alimenta de los tejidos de las flores y de las hojas jóvenes de la planta. La planta se torna marrón como consecuencia de la necrosis de los tejidos. En las hojas se aprecia una deformación (se enroscándose hacia arriba), retarda la maduración de la planta. Son transmisores de virus, siendo las larvas quienes lo adquieren y los adultos lo transmiten.</p>		<p>Destaca el uso de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piretroides</li> <li>• Carbamatos</li> <li>• Insecticidas organofosforados.</li> </ul>
<p><b>Gorgojo o picudo (<i>Anthonomus wugenii</i>)</b></p> 	<p>El gorgojo adulto se alimenta de las hojas y flores del pimiento, aunque también taladran los frutos. Mientras que las larvas se alimentan de las semillas en formación y de los tejidos en crecimiento provocando el aborto del fruto. Los primeros síntomas son en las hojas y en los frutos caídos, que aparecen con pequeños agujeros, mientras que los tallos se vuelven amarillos y marchitos. El fruto se desprende de forma prematura y se favorecen la penetración de hongos.</p>		<p>Destacan los piretroides, bastante eficaces para el control de la plaga</p>

Fuente: Nuez et al., (2003).



Tabla 6. Enfermedades que dañan al pimiento morrón.

Enfermedad	Daños	Métodos de control
<p><b>Marchitez bacteriana</b> (<i>Pseudomonas solanacearum</i>)</p> 	<p>Afecta a grupos de plantas próximas entre sí. Se inicia con una marchitez ligera de algunas hojas y se expande de forma brusca y permanece en la planta, además de generar decoloración y necrosis del tejido.</p>	<p>Rotación de cultivos. Tratamiento de semillas y de agua de riego con productos a base de cobre. Desinfección del suelo y de utensilios de trabajo con formaldehído al 10 %. Quemar las plantas enfermas y las que le rodeen.</p>
<p><b>Podredumbre blanda</b> (<i>Erwinia carotovora</i>)</p> 	<p>Se inicia en el pedúnculo y el cáliz, pasa a la parte carnosa del fruto o a través de heridas en este y en los tallos, observándose manchas oscuras. La bacteriosis se presenta sobre el fruto en forma de depresiones acuosas y blandas, hasta ser reducido a una masa flácida en el plazo de 3 a 6 días tras la infección.</p>	<p>Rotación de cultivos, no utilizar riego por aspersión. Combatir los insectos responsables de lesiones mecánicas en los frutos. Reducir los daños mecánicos durante la postcosecha, almacenar los frutos a 4°C y baja humedad.</p>
<p><b>Mancha bacteriana o sarna</b> (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>)</p> 	<p>La bacteria penetra a través de los estomas. Los síntomas se inician con pústulas de no más de 2 mm de diámetro en el envés de la hoja, posteriormente aparecen manchas cloróticas deprimidas, con aspecto grasiento y húmedo, que terminan necrosándose pero manteniendo un halo amarillento. Las hojas caen permanentemente y producen quemaduras de sol en los frutos.</p>	<p>Desinfección de las semillas y rotación de cultivos. Evitar el riego por aspersión y aplicar tratamientos semanales con productos a base de cobre. Utilizar variedades resistentes a dicha bacteria.</p>
<p><b>Alternaría</b> (<i>Alternaría spp.</i>)</p>	<p>En la placenta, semillas y cara interna del fruto, observándose manchas pardas o necróticas por la entrada de esporas a través de algún orificio.</p>	<p>Tratamientos preventivos a partir de la floración con fungicidas como: clortalonil, maneb, mancozeb y fentín. Desinfección de semillas que puedan provenir de frutos infectados.</p>



Tabla 6. Enfermedades que dañan al pimiento morrón (continuación).

Enfermedad	Daños	Métodos de control
<p data-bbox="300 304 527 367"><b><i>Alternaria</i></b> <b>(<i>Alternaria spp.</i>)</b></p> 	<p data-bbox="613 268 1036 472">La infección puede ocurrir a partir del estado de floración en adelante. Se detecta al abrir los frutos maduros, ya que no hay una manifestación externa hasta fases muy avanzadas.</p> <p data-bbox="613 472 1036 745">En los frutos, las lesiones aparecen en la superficie del fruto. Son pequeñas, circulares, con los márgenes bien definidos y gradualmente se agrandan, tornandose más oscuras y se hunden, mostrando un hongo gris.</p>	<p data-bbox="1068 268 1380 504">Manipulación cuidadosa de los frutos para evitar dañarlos, almacenarlos durante periodos cortos y temperaturas por debajo del óptimo del desarrollo del hongo.</p>
<p data-bbox="259 819 560 882"><b><i>Antracnosis</i></b> <b>(<i>Colletotrichum spp.</i>)</b></p> 	<p data-bbox="613 787 1036 1018">Manchan marrones, oscuras, hundidas, bien delimitadas por una o más aureolas concéntricas sobre las hojas y tallos jóvenes. Las plantas afectadas tendrán un aspecto como si hubiesen sido quemadas por el sol.</p> <p data-bbox="613 1018 1036 1375">En los frutos aparecen manchas circulares hundidas de hasta 3-4 cm de diámetro, primero acuosas y finalmente necróticas blandas. Pueden llegar al interior y contaminar las semillas. Si la humedad es excesiva, en las manchas, pueden observarse masa de esporas de color naranja, formando generalmente anillos concéntricos.</p>	<p data-bbox="1068 787 1380 1081">Practicar una adecuada rotación de cultivos y desinfectar las semillas. Aplicación de fungicidas específicos, como: clortalonil, mancozeb o maneb, pueden reducir las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad.</p>

Fuente: Infojardin (2015); Nuez *et al.* (2003).

La frutas y hortalizas son altamente susceptibles a la contaminación fúngica, lo que genera disminución de su calidad organoléptica, serías pérdidas económicas y un riesgo para la salud ya que muchos géneros son capaces de producir metabolitos secundarios que resultan tóxicos para el consumo. El pimiento es un cultivo de gran importancia económica, ya que se destina al consumo fresco como industrial (Da Cruz *et al.*, 2011).

Dentro de los contaminantes más frecuentes en el pimiento morrón se encuentran la enfermedad alternaria producida por el hongo *Alternaria spp* y antracnosis generada por el hongo *Colletotrichum spp*. Debido a su importancia que tienen en el pimiento morrón se abordaran en el siguiente apartado.



- ***Alternaria spp.***

Este género incluye alrededor de 50 especies de hongos ampliamente distribuidas en las regiones templadas de la tierra. Generalmente saprofitos o parásitos sobre muchos tipos de plantas hortícolas y sobre gran diversidad de sustratos (papel, cueros, tapicerías, etc.). Algunas especies pueden descomponer azúcares, pectinas y lignina, así como contaminar alimentos con micotoxinas. Como patógenos reducen el rendimiento de las cosechas o afectan a los vegetales almacenados (Gutiérrez y Juárez 2011).

El grupo *Alternaria* origina cadenas de 10 ó más conidios muy ramificados a partir de conidióforos cortos. Los conidios tienen septos transversales y longitudinales y se les conoce como dictiosporas, además son pardos y picudos (Figura 4). Nacen de la espora anterior, dando lugar a una cadena que suele ramificarse, siempre y cuando una espora produzca más de un brote, produciendo colonias de tamaño 56- 63 mm de diámetro chatas y ligeramente algodonosas (Carrillo, 2003).

El micelio aéreo es gris verdoso con reverso negro

parduzco. La esporulación es óptima a 27 °C pero es inhibida por debajo de 15 °C. La actividad mínima de agua para el desarrollo es de 0.88 y la óptima es casi 1 (Carrillo, 2003).

El hongo inverna, mediante los conidios o restos micelares, sobre residuos vegetales. También puede ser transmitido por la semilla si no son desinfectadas y es capaz de atacar a las plantas en el semillero. Produciendo numerosos conidios que propagan la infección al ser transmitidos por el viento, agua o insectos. Cuando penetran en los frutos, se encuentran con humedades relativas altas, óptimas para su germinación y desarrollo miceliar. En poscosecha la enfermedad se producen con gravedad sobre frutos con heridas o daños por frío y cuando se mantienen más de dos semanas a temperaturas óptimas para el desarrollo del hongo (Nuez *et al.*, 2003).

- ***Colletotrichum spp.***

Éste género se encuentra distribuido por todo el mundo, implicado en enfermedades de plantas causantes de la antracnosis en diversos cultivos. Ya que tiene la habilidad de causar infecciones latentes por lo cual es el más importante en campo y en poscosecha.



Figura 4. *Alternaria spp* vista desde el microscopio.



En la actualidad se encuentra constituido por 39 especies entre saprófitos y parásitos. Estas últimas han causado serias pérdidas en un amplio número de cultivos tales como el pimiento (Alarcón, 2012).

El hongo presenta conidias hiladas, unicelulares y fusiformes que se encuentran ubicadas en una estructura reproductiva llamada acérvulo. Estos cuerpos son en forma de discos, cerosos. También presenta setas en el borde del acérvulo o entre conidióforos, aunque a veces estas ausentes. Por lo general las esporas son numerosas y forman un micelio brillante de color rosado o salmón (Alarcón, 2012).

Este patógeno es transmitido por los residuos vegetales de anteriores cultivos a través de la semilla de pimiento. La antracnosis se desarrolla particularmente en condiciones de alta pluviosidad o cuando se utiliza el riego por aspersión, siempre que las temperaturas se encuentren próximas a 25 °C. En estas condiciones suelen infectarse los frutos inmaduros, que no suelen mostrar la enfermedad hasta su estado de madurez o en la fase comercial de poscosecha (Nuez *et al.*, 2003).

Sin embargo la presencia de enfermedades por hongos en las frutas y hortalizas, genera altas pérdidas económicas y constituye un riesgo para la salud de los consumidores ya que muchas especies son productores de metabolitos tóxicos. Por lo que se han desarrollado cada vez más nuevas tecnologías de conservación que permiten alargar el tiempo de vida útil de estos productos (Da Cruz *et al.*, 2011).

#### **2.1.7. Métodos de conservación del pimiento morrón**

Los métodos conservación tienen como objetivo disminuir las reacciones metabólicas de las frutas y hortalizas después de la cosecha. En este sentido, deben aplicarse técnicas de conservación que puedan prolongar la vida útil del producto minimizando, la modificación de sus características sensoriales y nutricionales. Así como inhibir el desarrollo de microorganismo que altere la calidad del producto (Venema, 2013).

En la Tabla 7 se muestran algunos de los métodos de conservación que se aplican al pimiento morrón.



Figura 5. Hifas y conidios de *Colletotrichum spp.*



Tabla 7. Métodos de conservación del pimiento morrón.

<b>Método de conservación o transformación</b>	<b>Fundamento</b>	<b>Condiciones</b>
<p data-bbox="347 338 521 407"><b>Escaldado y Congelación</b></p> 	<p data-bbox="634 306 1049 638">Los pimientos se someten a un proceso previo de escaldado para inactivar enzimas, reducir el crecimiento de bacteriano y fúngico. Posteriormente se someten a una congelación en donde se produce un descenso de temperatura para retardar las reacciones químicas, microbiológicas y enzimáticas.</p>	<p data-bbox="1075 306 1364 604">El tiempo de escaldado es de 3 minutos con agua o vapor. La temperatura de congelación es de 0 a 5 °C, consiguiendo un tiempo de vida útil de 1 a 3 semanas.</p>
<p data-bbox="339 709 529 743"><b>Refrigeración</b></p> 	<p data-bbox="634 709 1049 1138">Es una tecnología empleada en la conservación de este tipo de producto (como requisito indispensable en las etapas de producción, distribución, almacenamiento y comercialización). Las temperaturas bajas son esenciales para disminuir la tasa respiratoria, el crecimiento microbiano, la actividad enzimática y la pudrición de las superficies cortadas.</p>	<p data-bbox="1075 709 1364 940">Se almacenan a temperaturas entre 7 y 13 °C, alcanzando, en general, una vida útil de aproximadamente 7 a 10 días.</p>
<p data-bbox="266 1178 605 1211"><b>Atmosferas modificadas</b></p> 	<p data-bbox="634 1146 1049 1545">Es el segundo método más eficaz para prolongar la vida útil de los productos frescos procesados. Es un proceso dinámico en donde se reemplaza el aire atmosférico por una mezcla de gases (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>) para reducir la velocidad de respiración, actividad metabólica y prevenir el crecimiento microbiano en el producto.</p>	<p data-bbox="1075 1146 1364 1444">En general se utilizan materiales de envasado con permeabilidad selectiva al oxígeno, dióxido de carbono y al vapor de agua. Se almacenan a 2 - 4 °C.</p>

Fuente: Venema (2013); Rotondo *et al.* (2008); Salunkhe y Kadam (2003).

De acuerdo a lo anterior descrito, hay diversos métodos para conservar el pimiento, ya que la mayor parte de éste se comercializa como fruto entero; debido a los cambios en los estilos de vida y las tendencias actuales de los consumidores que demandan productos de fácil preparación, rápido consumo y sobre todo buena calidad. Razón por la cual se han desarrollado los frutos y vegetales frescos cortados (alimentos de IV gama) que está



teniendo un gran auge y han contribuido aproximadamente con el 25% de las ventas en el mercado de los alimentos (Rotondo *et al.*, 2008).

## **2.2. Productos mínimamente procesados**

### **2.2.1. Definición de productos mínimamente procesados**

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas (RMP) son productos que han sido pelados, rebanados o cortados haciendo un producto 100 % utilizable, que es embolsado o preempacado y que ofrece al consumidor alta nutrición y sabor manteniendo su frescura, los cuales se encuentran en estado natural, pero no congelados o procesados térmicamente y listos para comer o cocinar (Rojas-Ávila *et al.*, 2008).

También se definen como aquellas frutas y hortalizas procesadas para aumentar su funcionalidad sin cambiar de forma apreciable sus propiedades originales y que están listas para ser consumidas.

Este tipo de productos se envasa generalmente en atmósferas modificadas y requieren de ser conservadas a bajas temperaturas (2 y 4°C), mostrando una vida útil entre 7 y 10 días (Rojas-Graü, 2006).

Los productos mínimamente procesados responden a la tendencia de satisfacer la necesidad de conveniencia del mundo moderno, donde la gente dispone de menos tiempo para la preparación de sus alimentos; en tanto que su grado de interés por comidas saludables (libres de aditivos químicos) es cada vez más alto. Pues estos son una excelente fuente de vitaminas, minerales y fibra, además de poseer bajo contenido calórico (Rojas-Ávila *et al.*, 2008).

Para poder asegurar la estabilidad, calidad nutricional y organoléptica de este tipo de productos debe conocerse la fisiología del fruto tanto entero como cortado, además de todos aquellos componentes propios del producto original que puedan verse afectados por la manipulación y el almacenamiento. Controlar todos los factores que puedan influir directa o indirectamente sobre la calidad de productos vegetales frescos cortados es de suma importancia para la aceptación y el éxito final de estos productos (Rojas-Graü, 2006).

Las características que definen a un producto fresco cortado de buena calidad depende de gran medida de su proceso de producción, pues la forma en que se lleve a cabo cada una de estas etapas de dicho proceso aseguran un producto final de apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución. Si alguno de estos requisitos no se cumple o se encuentra por debajo de los valores mínimos aceptables para cada parámetro, el producto pierde automáticamente su valor comercial (Salazar, 2013).





### 2.2.2. Principales operaciones unitarias

El proceso de producción de los mínimamente procesados (RMP) dependerá de la materia prima y del producto final que se desee obtener. No obstante, se describe un esquema general en la Figura 7 que enuncia las principales etapas, y las operaciones que se realizan en la mayoría de los procesos de elaboración de frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Parzanese, 2012).

**Recepción de materia prima.** La materia prima debe ser inspeccionada visualmente de manera de poder clasificar el producto o eliminarlo, poniendo especial atención en el estado de madures, daños mecánicos y microbianos que pudiesen influir en la calidad del producto a obtener (Vázquez, 2013).

**Almacenamiento.** Es necesario hacerlo a temperaturas de refrigeración, Dependiendo del tipo de fruta u hortaliza. La temperatura de almacenamiento se encuentran en rangos: -1 a 6°C, 6°C a 18°C (Parzanese, 2012).

**Selección y clasificación.** El objetivo de esta operación es obtener un producto final que cumpla con un estándar de calidad uniforme al momento de su comercialización. Consiste en realizar una selección y clasificación relacionadas con diversos factores: tamaño, forma, color, firmeza, magulladuras, superficies cortadas, alteraciones y solidez. Esta etapa puede efectuarse de manera mecánica mediante la operación de distintos equipos (Seleccionadoras de cinta plana, de tambores, de rodillo, entre otros) o manualmente, por personas entrenadas (Figura 6) (Salazar, 2013).



Figura 6. Selección de chiles.

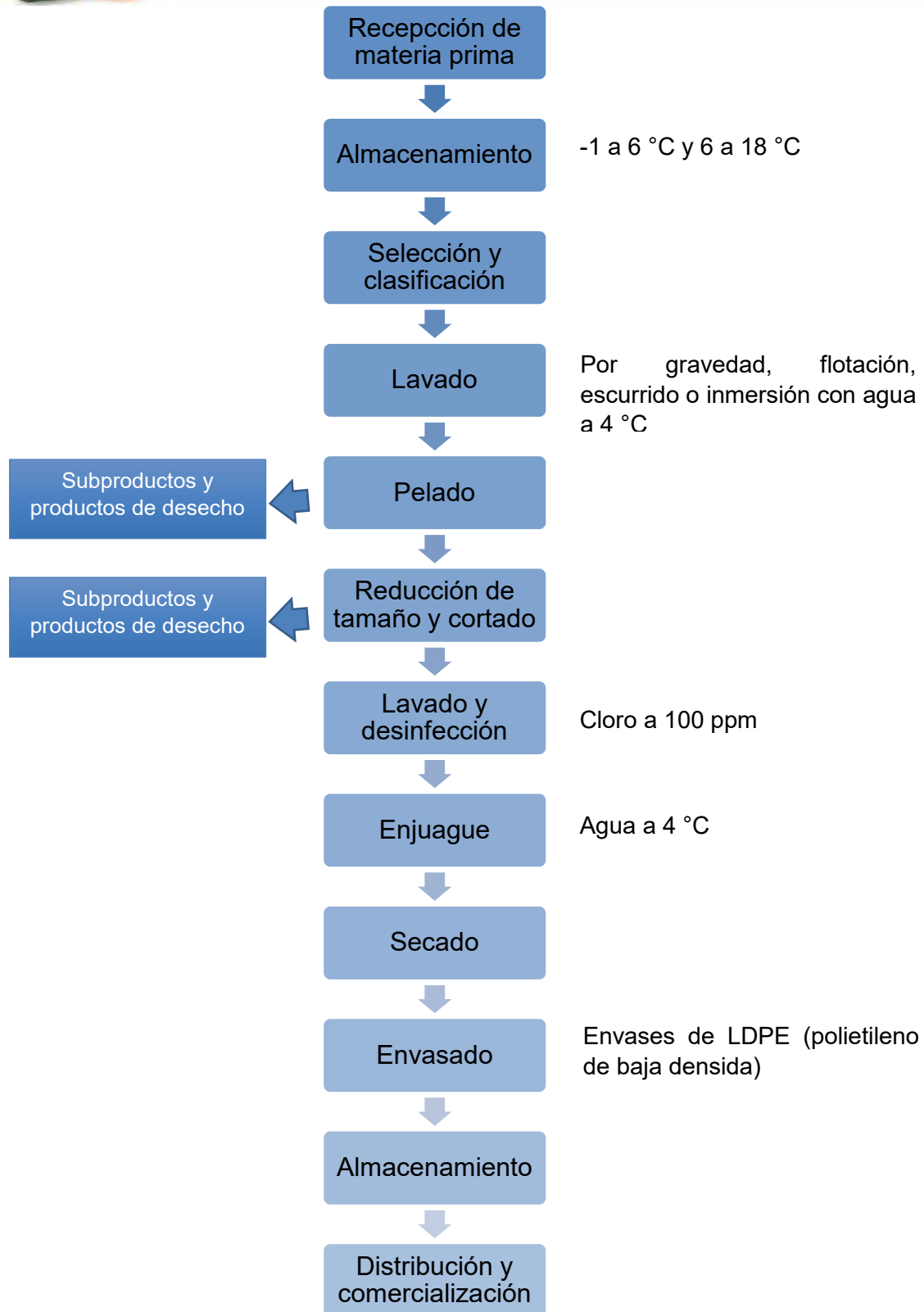


Figura 7. Diagrama de proceso para la elaboración de los PRMP.  
Fuente: Parzanese (2012).



**Lavado.** Elimina la suciedad, restos de tierra, contaminantes físicos y reducir la carga microbiana (Figura 8). Separar y eliminar las sustancias extrañas eventualmente presentes en las frutas y hortalizas. En algunos casos resulta efectivo realizar esta operación mediante gravedad, flotación, escurrido o inmersión con agua a una temperatura de 4°C para mantener el producto frío (Aguayo *et al.*, 2001).



Figura 8. Lavado de fresas

**Pelado.** Consiste en separar la corteza o piel del vegetal. Es importante que durante el pelado el producto no sufra daños físicos ni químicos. Se describen tres tipos de pelado.

- **Pelado al vapor.** Los vegetales son introducidos por lotes en un recipiente a presión que gira a una velocidad de 4-6 rpm, al cual se le ingresa una corriente de vapor a alta presión (1500 Kpa). La elevada temperatura del vapor calienta rápidamente la superficie de producto sin modificar sus características sensoriales, ya que posee una baja conductividad térmica.
- **Pelado por chuchillo.** Consiste en eliminar la piel mediante la presión de las frutas y hortalizas sobre cuchillas fijas o rotatorias.
- **Pelado por abrasión.** En este sistema los vegetales entran en contacto directo con unos rodillos de carborundo que arranca la piel, que seguidamente es arrastrada por abundante agua (Parzanese, 2012).

**Cortado.** Es una operación dirigida a dar forma y tamaño definido a las frutas y hortalizas. La elección del corte afectará el rendimiento del producto a la vez que atraerá la atención del consumidor. Después del corte es necesario enfriar el producto hasta 4°C (Figura 9). En la actualidad se comercializan distintos tipos de contadoras automáticas en continuo o semicontinuo, que satisfacen las distintas necesidades, según el vegetal y tipo de corte que se desee obtener (rodajas, tiras, rallado, etc.) (Aguayo *et al.*, 2001; Parzanese, 2012).



Figura 9. Cortado mecánico de zanahorias.

**Lavado y desinfección.** Su objetivo es enfriar los vegetales luego de la etapa de corte y eliminar los exudados celulares que se producen tras esta operación, además de disminuir la contaminación microbiana inicial (Figura 10) (Parzanese, 2012).



Figura 10. Desinfección mecánica de lechuga

La inocuidad es esencial para cualquier producto alimenticio y en el caso de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas o IV Gama, es un aspecto que exige cuidados especiales al tratarse de productos cortados y a los que no se les aplica un proceso térmico para la inactivación de microorganismos (Artes Hernández *et al.*, 2009; Gil *et al.*, 2009). Siendo el lavado y desinfección una de las etapas más críticas en el procesado de vegetales de la IV Gama ya que está íntimamente relacionado con la seguridad y vida útil del producto final (Salazar, 2013).

La desinfección debe ser eficaz tanto en la inactivación de patógenos y en la conservación de la calidad sensorial del producto. Por lo cual se han desarrollado nuevas tecnologías de desinfección como una alternativa al uso del cloro. Debido a que se ha demostrado que el uso de éste genera subproductos cancerígenos nocivos para la salud (Bermúdez y Barbosa, 2013). En la Tabla 8 se muestra la importancia del uso del cloro como agente de desinfectante vs ozono.



Tabla 8. Desinfectantes más utilizados en los alimentos.

Desinfectante	Descripción	Principio	Condiciones	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
<p><b>Cloro</b></p>  	<p>Es un gas irritante, de olor fuerte, penetrante y muy reactivo químicamente. Se comercializa como gas a presión en cilindros de metal, como hipoclorito de calcio sólido, en polvo granulado o tabletas y líquido como hipoclorito de sodio.</p>	<p>En solución acuosa, el cloro existe en forma de ácido hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) dependiendo del pH de la solución. En soluciones ácidas predomina el ácido hipocloroso y en las alcalinas el ión hipoclorito. Mientras que la acción germicida se debe a la acción del primero.</p>	<p>pH entre 6.5-7.5 y temperaturas menores de 10°C. Por debajo del primer valor, la forma hipoclorosa es muy inestable y tiende a gasificarse, siendo muy irritativa para los operarios y corrosiva para el equipo.</p>	<p>Desinfección del agua de proceso, equipo y superficies. También se usa como desinfectante general de uso doméstico.</p>	<p>Es una tecnología bien establecida y más eficiente en términos de costo. La desinfección es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos. Permite un control de la dosificación Y puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.</p>	<p>El cloro genera subproductos potencialmente cancerígenos como hidrocarburos clorados y trihalometanos tras su reacción con la materia orgánica. Su eficiencia es limitada en algunos productos. Genera una contaminación medioambiental.</p>



Tabla 8. Desinfectantes más utilizados en los alimentos (continuación).

Desinfectante	Descripción	Principio	Condiciones	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Ozono	Es un gas ligeramente azul, de olor característico, muy volátil perdiéndose en un 10%. No imparte al agua color, olor, ni sabor.	Consta de tres átomos de oxígeno que al contacto con el agua o el aire se descompone rápidamente a oxígeno sin generar subproductos de reacción inestables.	El ozono se obtiene in situ con el empleo de equipos generadores de aire u oxígeno. La vida media del ozono en el agua es de alrededor de 30 minutos, por lo cual es necesario la generación continua de ozono.	Desinfección de las líneas de producción y equipamiento de las plantas procesadoras, así como de frutas y hortalizas. Prolongar el tiempo de almacenaje en frutas y hortalizas retrasando la maduración en un 20 a 30 %.	Tiene 3, 000 mil veces mayor capacidad de desinfección que el cloro. Permite inactivar bacterias, virus, hongos y parásitos. Tiene la capacidad de eliminar algunos pesticidas agrícolas. Preserva las características organolépticas de los vegetales.	Exposición a altas concentraciones de ozono produce: sequedad en la boca y garganta, tos dolor de cabeza y mareos. Tiene un alto costo inicial de equipamiento. El mantenimiento debe ser constante y por personal capacitado. Su concentración decae rápidamente a un pH alto y a altas temperaturas.

Fuente: Battaler *et al.* (2010); Gil *et al.* (2009); Piagentini (1999).



Cabe destacar que no importando el método de desinfección a utilizar, es necesario tener en cuenta los siguientes factores (Parzanese, 2012):

- Parámetros físico-químicos de agua del lavado tales como pH, temperatura y contenido de materia orgánica.
- Tipo de vegetal a procesar. Específicamente las características que tiene la superficie del producto y aplicación de una o varias etapas de lavado.
- Forma de aplicación del desinfectante (lavado por inmersión con o sin agitación, spray, etc.) y tiempo de contacto.
- Carga microbiana inicial.

**Enjuague.** Eliminar los residuos de la superficie del producto. Para mantener fríos los vegetales la operación debe realizarse con agua de proceso a temperaturas próximas a los 4°C (Salazar, 2013).

**Secado.** Operación esencial para garantizar un tiempo de vida útil aceptable de los productos, a través de un secado centrífugo, o un secado conectivo por aire frío seco (Vázquez, 2013).

**Envasado.** Está destinado a proteger el producto terminado de daños físicos, químicos o microbiológicos durante su comercialización (Figura 11). Un factor importante en la elección del material de envase es su permeabilidad, ya que esto determinará cómo se modificará la atmósfera en el interior del envase. En la actualidad se comercializan una gran variedad de materiales poliméricos de distintas permeabilidades que satisfacen los requerimientos y especificaciones de envasado para los productos mínimamente procesados. Los más comunes son el LDPE (polietileno de baja densidad) y el PVC (policloruro de vinilo) flexible (Parzanese, 2012).



Figura 11. Envasado de fruta.



**Almacenamiento del producto terminado.** Es fundamental que el depósito donde se almacenan los productos mínimamente procesados sea en óptimas condiciones de limpieza e higiene y cuente con un sistema de refrigeración que evite el deterioro del producto (Parzanese, 2012).

**Distribución y comercialización.** El producto, por su seguridad debe distribuirse sin romper la cadena de frío, para evitar pérdidas en la calidad sensorial, nutritiva y en la vida útil (Figura 12) (Aguayo *et al.*, 2001)



Figura 12. Comercialización de productos mínimamente procesados.

### **2.2.3. Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas**

El principal objetivo que se persigue en los mínimamente procesados al ser comercializados es garantizar el período de vida útil establecido, que sea inocuo y que conserve las características del vegetal fresco (Parzanese, 2012).

Sin embargo, los productos mínimamente procesados se deterioran después de su procesamiento debido a que se someten a diversas operaciones (lavado, pelado, cortado etc.) que generan cambios sobre la estructura y composición del vegetal, acelerar procesos fisiológicos naturales que desencadenan procesos bioquímicos y físicos, que pueden provocar la degradación del color, textura, sabor y aroma del producto, como también alteración microbiológica (Salazar, 2013). En la Tabla 9 se ejemplifican los principales cambios fisiológicos, bioquímicos y microbiológicos que sufren los productos mínimamente procesados.





Tabla 9. Cambios fisiológicos, bioquímicos y microbiológicos que sufren los productos mínimamente procesados.

Cambios	Mecanismo	Alteración
<p data-bbox="298 296 467 327"><b>Fisiológicos</b></p> 	<p data-bbox="557 296 1003 596">En los vegetales enteros el agua se halla contenida en los espacios inter e intracelulares y por lo tanto no está expuesta a la atmósfera, cuando los tejidos se dañan, aumentan la velocidad de evaporación y la deshidratación provocando la pérdida de turgencia del tejido vegetal.</p>	<p data-bbox="1032 296 1382 394">Aumento de la velocidad de respiración y O<sub>2</sub> en el envase.</p> <p data-bbox="1032 401 1382 527">Pérdida de azúcares y otros compuestos determinantes del sabor y del aroma.</p> <p data-bbox="1032 533 1382 625">Aumento de la producción de etileno y rápida maduración del vegetal.</p>
<p data-bbox="298 730 472 762"><b>Bioquímicos</b></p> 	<p data-bbox="557 653 1003 779">Se genera cuando las membranas celulares se dañan liberando enzimas y sustratos que reaccionan entre sí.</p> <p data-bbox="557 785 1003 982">La enzima polifenoloxidasa (PPO), en presencia de O<sub>2</sub> actúan hidroxilando los compuestos fenólicos de los tejidos vegetales produciendo el pardeamiento enzimático.</p> <p data-bbox="557 989 1003 1255">La pectin esterasa (PE) y poligalturonasa (PG), catalizan las reacciones de hidrólisis de las sustancias pécticas, que forman parte de la estructura de la pared celular y le otorgan la textura característica a los diferentes tejidos vegetales.</p> <p data-bbox="557 1262 1003 1459">Las lipooxigenasas catalizan las reacciones de peroxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, dando como producto numerosos compuestos volátiles aldehídicos y cetónicos de aroma desagradable.</p>	<p data-bbox="1032 653 1382 751">Pérdida de calidad sensorial y nutricional del vegetal.</p> <p data-bbox="1032 785 1382 919">Producción de pigmentos pardos denominados genéricamente melaninas en el vegetal.</p> <p data-bbox="1032 953 1382 1052">Pérdida de firmeza del tejido vegetal y la textura natural del producto.</p> <p data-bbox="1032 1085 1382 1220">Modificaciones de aroma y sabor de las frutas y hortalizas.</p>
<p data-bbox="272 1493 500 1524"><b>Microbiológicos</b></p> 	<p data-bbox="557 1493 1003 1724">La composición de la materia prima, contaminación inicial, el manejo poscosecha, y las condiciones de procesamiento, son determinantes para la creación y la acción de diversos microorganismos.</p>	<p data-bbox="1032 1493 1382 1619">Deterioro de las características sensoriales deseables y pérdida de nutrientes.</p>

Fuente: Parzanese, (2012); Salazar, (2013).



#### 2.2.4. Aplicación de nuevas tecnologías en la conservación de productos mínimamente procesados.

Encontrar métodos que ayuden a frenar el deterioro de estos productos constituye uno de los principales objetivos de la industria Alimentaria. En este sentido, se han desarrollado nuevas tecnologías con la finalidad de obtener alimentos mínimamente procesados a la vez que seguros y que conserven sus cualidades nutricionales y organolépticas. Lo que permite alargar la vida útil de muchos productos y satisfacer los gustos del consumidor (Herrero y Romero de Ávila, 2006).

Los mayores avances en este campo se han conseguido con el desarrollo de sistemas físicos, que afectan la viabilidad de los microorganismos, sin un incremento sustancial de temperatura del alimento (Herrero y Romero de Ávila, 2006). Estos métodos “no térmicos” no afectan, o lo hacen mínimamente en las características nutritivas y sensoriales de los alimentos que a continuación se ejemplifican en la Tabla 10.

Tabla 10. Tecnologías emergentes para la conservación de los productos mínimamente procesados.


Tecnologías emergentes	Fundamento	Aplicación
<p data-bbox="256 1058 548 1092"><b>Irradiación Ionizante</b></p> 	<p data-bbox="592 1031 1034 1161">El alimento se expone a radiaciones ionizantes durante periodos cortos de tiempo y no deja residuos.</p> <p data-bbox="592 1165 1034 1295">Se puede aplicar a alimentos refrigerados como congelados, para evitar el desarrollo de sabores anormales.</p> <p data-bbox="592 1299 1034 1465">En el sistema internacional, la dosis absorbida se mide en gray (Gy), siendo este equivalente a la absorción de un joule por kilogramo de masa irradiada.</p> <p data-bbox="592 1470 1034 1600">Los tratamientos pueden clasificarse según la OMS y de acuerdo a la dosis media absorbida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1057 1066 1386 1266">• Dosis baja (hasta 1KGy). Retarda los procesos biológicos de los vegetales y elimina insectos y parásitos en diversos alimentos.</li> <li data-bbox="1057 1270 1386 1535">• Dosis media (hasta 10 KGy), reducción de los microorganismos patógenos de diferentes alimentos y mejorar propiedades tecnológicas de los alimentos.</li> <li data-bbox="1057 1539 1386 1738">• Dosis alta (Superior a 10 KGy), es una esterilización comercial de diversos alimentos mediante la irradiación ultravioleta (UV-C).</li> </ul>
<p data-bbox="277 1772 527 1806"><b>Pulsos luminosos</b></p>	<p data-bbox="592 1745 1034 1839">Es un tratamiento basado en destellos o pulsos intensos de luz blanca de radiación no ionizante.</p>	<p data-bbox="1057 1745 1386 1808">Se aplica a líquidos transparentes</p>



Tabla 10. Tecnologías emergentes para la conservación de los productos mínimamente procesados (continuación).

Tecnologías emergentes	Fundamento	Aplicación
<p><b>Pulsos luminosos</b></p> 	<p>Los pulsos de luz blanca tienen un espectro de longitudes de onda desde el ultravioleta hasta el infrarrojo próximo. Los pulsos son de corta duración (entre una décima y una micra de segundo) y bastante intensos (de 1 a 20 flashes por segundo).</p>	<p>Alimentos envasados en materiales transparentes. También puede aplicarse para la esterilización de superficies de materiales y equipos.</p>
<p><b>Campos Eléctricos</b></p> 	<p>Los campos eléctricos (PEF) o pulsos de alto campo eléctrico (HEFP) actúan destruyendo la pared celular de los microorganismos, provocando una diferencia de potencial entre ambos lados de la membrana, originando la pérdida de su integridad, un incremento de la permeabilidad y finalmente la destrucción de la célula afectada. Por lo que se le denomina también una pasteurización fría.</p>	<p>Su uso está limitado a productos bombeables, capaces de conducir la electricidad y exentos de microorganismos esporulados. Los alimentos más idóneos para este tratamiento son: leche, huevo líquido, zumos de frutas y concentrados, sopas y extractos de carne.</p>
<p><b>Altas Presiones</b></p> 	<p>Consiste en la someter el producto a elevadas presiones hidrostáticas (400- 900 MPA) desde minutos hasta algunas horas. También llamado pasteurización hiperbárica, que consiste en introducir los productos a tratar, envasados previamente en recipientes herméticos y flexibles, en una cámara llena de agua y someterlos a alta presión hidrostática durante un tiempo.</p>	<p>Se puede aplicarse directamente a alimentos líquidos o a cualquier producto envasado. Tiene fines distintos a la conservación, ya que permite obtener distintos tipos de geles de pescado, carne, huevo y leche, así como zumos, jaleas, concentrados y purés de frutas.</p>
<p><b>Envases activos</b></p> 	<p>Diseñados para interactuar de forma activa y continúa con su contenido, mediante la transferencia de masa, al incorporar sustancias al contenido del envase o absorber componentes del mismo, para proteger los alimentos de factores como la presencia de luz, humedad, oxígeno, suciedad e insectos que pueden deteriorar rápidamente el producto.</p>	<p>Es una interesante opción para el envasado de fruta cortada, cárnicos y algunos lácteos.</p>

Fuente: Figueroa *et al.* (2011); Herrero y Romero de Ávila (2006); León (2009); Mendoza (2011); Pretel, (2015); Rojas-Camacho (2008).



## 2.3. Envases activos

Los envases activos tienen componentes integrados que pueden liberar o absorber sustancias hacia o desde los alimentos, permitiendo así la extensión de su vida útil o incluso mejorar la calidad de éstos. Los elementos activos de estos envases pueden generar cambios tanto en la composición como en las características organolépticas del producto, cuidando que siempre se mantengan dentro de la normativa de cada país (Pineda, 2015).

### 2.3.1. Tipos de envases activos

Los envases activos incluyen sistemas que absorben/eliminan o regulan compuestos como el oxígeno, radicales, etileno, humedad o aquellos que pueden ocasionar olores o sabores desagradables en los alimentos. Otros sistemas liberan sustancias como son los recubrimientos comestibles que tienen amplias funciones tales como: control de la pérdida de humedad y gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ), adición de diversos aditivos para mejorar la calidad del alimento y como antimicrobianos (Pretel, 2015).

En la Tabla 11 se muestran los principales sistemas de envases activos desarrollados.

Tabla 11. Sistemas de envases activos

Sistema	Función	Clasificación
Control de humedad	Control de humedad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Absorbente de humedad</li> <li>▪ Plásticos con aditivos anti vaho</li> <li>▪ Reguladores de humedad</li> <li>▪ Películas comestibles</li> </ul>
Absorbentes de etileno	Absorber el etileno producido por los productos vegetales, el cual es causante de la maduración y procesos de descomposición en este tipo de productos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sustratos de permanganato de potasio</li> <li>▪ Metales catalizadores con carbón activado</li> <li>▪ Películas plásticas</li> </ul>
Control de oxígeno	Absorber el oxígeno. En general, para este propósito se utiliza como materia activa ácido ascórbico o sales de hierro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bolsas o sobres</li> <li>▪ Películas plásticas</li> <li>▪ Películas y recubrimientos comestibles</li> </ul>
Adición de aditivos para usos específicos	Incorporación de aditivos como aromas, edulcorantes, antioxidantes, enzimas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Películas y recubrimientos comestibles</li> </ul>
Antimicrobianos	Control de la carga microbiana.	

Fuente: Pineda, (2015).



### 2.3.2. Recubrimientos comestibles (RC)

Se definen como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento, generando una atmósfera modificada que forma una barrera física a los gases, reduciendo la disponibilidad de  $O_2$  e incrementa la concentración de  $CO_2$  para minimizar el deterioro de las frutas y hortalizas. (Figuroa *et al.*, 2011).

Su aplicación favorece el control de los procesos respiratorios de los tejidos vivos, los procesos de deshidratación, retardar cambios bioquímicos que puedan afectar el color, aroma, textura y valor nutricional del alimento. Además de permitir el transporte de agentes antioxidantes y la incorporación de compuestos antimicrobianos (Figuroa *et al.*, 2011; Mendoza, 2011; Pérez-Martínez, 2012). El uso de recubrimientos en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como: costo, disponibilidad, propiedades ópticas (brillo y opacidad), aceptabilidad sensorial y la efectividad de la película de mantener compuestos de diversa funcionalidad (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes, sabores y olores) dentro de dicha matriz, ya que la pérdida de dichas soluciones afecta el espesor de la película y su solubilidad (Figuroa *et al.*, 2011; Mendoza, 2011; Pérez-Martínez, 2012; Rojas Grau, 2006). Por lo cual los RC deben cumplir con una serie de propiedades para poder ser empleados en frutas y hortalizas frescas cortadas, las cuales se describen en la Figura 13.

Propiedades de barrera	Propiedades mecánicas	Propiedades de transporte
<ul style="list-style-type: none"><li>• Generan una atmósfera modificada, combinando las ventajas de los compuestos hidrocoloides y compuesto lipídicos.</li><li>• Los primeros como barrera selectiva a los gases (<math>CO_2</math> y <math>O_2</math>) y los últimos como barrera al vapor de agua impidiendo la pérdida de peso.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión y flexibilidad, dependen en gran medida de la composición y estructura de los componentes del RC, de la naturaleza del alimento y del método de aplicación.</li><li>• Cuando el material empleado se coloca en la superficie de la fruta, se desarrollan dos fuerzas: Cohesión y adhesión entre el recubrimiento y la fruta.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su finalidad es retener y transportar aditivos, tales como: antioxidantes antimicrobianos, estabilizantes de textura, colorantes, saborizantes, compuesto bioactivos o funcionales, que le confiere un beneficio añadido al recubrimiento</li><li>• Esto permite mejorar aspectos de calidad y nutricionales sin destruir la integridad del alimento.</li></ul>

Figura 13. Propiedades que deben presentar los recubrimientos comestibles.

Fuente: Mendoza (2011); Pérez-Martínez (2012).



Los recubrimientos comestibles están formados por tres componentes principales:

- **Polímero.** Es el componente mayoritario de un RC. Estos pueden ser hidrocoloides (proteínas y polisacáridos), lípidos o una mezcla de ambos (Figura 14). La concentración de cada componente determina las propiedades mecánicas y de barrera de los RC (Ávila y López, 2008).

Recubrimiento comestible a base de lípidos	Recubrimientos a base de proteínas	Recubrimientos a base de polisacáridos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducen la deshidratación de los productos por su baja polaridad.</li> <li>• Presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua.</li> <li>• Evita la pérdida de humedad en frutas y vegetales frescos.</li> <li>• Presenta propiedades mecánicas pobres y en ocasiones malas, así como la apariencia; es por ello que es recomendable mezclarlos con otras sustancias como polisacáridos, para dar al recubrimiento mayor estabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentan mejores propiedades de barrera a los gases.</li> <li>• La resistencia que presentan al vapor de agua es menor debido a su naturaleza hidrofílica, pero presenta mayor resistencia que los polisacáridos</li> <li>• Son susceptibles al cambio de pH.</li> <li>• Pueden otorgar un valor nutricional agregado al producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestran propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie de los productos hortofrutícolas.</li> <li>• Reducen la tasa respiratoria y el intercambio de gases gracias a su permeabilidad selectiva al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Son una barrera deficiente al vapor de agua.</li> </ul>

Figura 14. Tipos de polímeros que se incluyen en los recubrimientos comestibles.  
Fuente: Mendoza (2011); Ramos-García *et al.* (2010).

- **Solvente.** Es necesario el uso de un compuesto que sea adecuado e inocuo para el alimento. Generalmente se limita al uso de agua (Ávila y López, 2008).
- **Plastificante.** Se encuentra en menor proporción en la formulación del RC. Tiene como objetivo emulsificar fases que no son miscibles, además de impartir a la película flexibilidad, cierta resistencia, incrementar la movilidad de las cadenas poliméricas y reducir las fuerzas intermoleculares, con esto se mejoran las propiedades mecánicas. Es importante que el plastificante sea miscible con el polímero, generalmente se utilizan compuestos de bajo peso molecular y alto punto de fusión. (Ávila y López, 2008).

Los recubrimientos también pueden incluir la incorporación de aditivos con el fin de modificar las condiciones superficiales del recubrimiento u otras funcionalidades. Entre los aditivos comúnmente utilizados se encuentran: surfactantes, emulsificantes, antioxidantes



y agentes antimicrobianos (González, 2013). Estos últimos evitan o retardan el crecimiento de bacterias y hongos en la superficie del alimento. Algunos ejemplos son: el ácido sórbico, ácido benzoico, benzoato de sodio, ácido cítrico, sorbatos de potasio. Así como compuesto de origen natural como extractos y aceites de plantas: oregano, vainilla, clavo, etc (Ávila y López, 2008; Pérez-Martínez, 2012).

Los recubrimientos pueden servir como vehículos para un amplio rango de aditivos, como ya se ha mencionado anteriormente, incluyendo compuestos antimicrobianos, con la finalidad de proporcionar mayores atributos como es el control de microorganismos. Entre los aditivos naturales están los extractos naturales y aceites esenciales de diferentes plantas que presentan una inhibición contra hongos y bacterias (Ávila y López, 2008; Ramos-García *et al.*, 2010).

### **2.3.2. Recubrimiento a base de extractos naturales**

La incorporación de agentes antimicrobianos dentro de RC constituye una técnica innovadora en el mantenimiento de la seguridad, inocuidad y vida útil de alimentos mínimamente procesados (Rojas-Graü, 2006). Siendo los extractos vegetales una alternativa para el control de los microorganismos, además de poseer un origen biológico, es biodegradable y manifiesta un mínimo impacto negativo sobre la salud humana y el medio ambiente (Barrera y Bautista, 2008). El método de obtención de los extractos vegetales es variable; se puede obtener extractos acuosos o polvos, o con disolventes para obtener diferentes compuestos, según su polaridad. Evidenciado que la actividad fungistática difiere entre los extractos acuosos y los polvos. También se ha comprobado un efecto fungistático selectivo que depende de la especie de planta y del patógeno, (Ávila y López, 2008; Ramos-García *et al.*, 2010).

La planta comúnmente conocida como Damiana, itamo real, hierba de la pastora o pastorcita, cuyo nombre científico es *Turnera diffusa*, pertenece a la familia *Turneraceae*, al género *Turnera* y a la especie *T. diffusa* (Garza *et al.*, 2009).

La planta de *T. diffusa* como extracto vegetal contiene una composición química conformada de compuestos bioactivos como: taninos (4%), alcaloides (7%), resinas (6-14%), gomas (13.5%) y proteínas (15%), flavonoides, sacáridos, fenoles y derivados cianogénicos (Garza *et al.*, 2009) que en la Tabla 12 se muestra.



Tabla 12. Composición química del extracto de *Turnera diffusa*.

Componentes	Contenido en %
Sólidos totales	99.80
Humedad	0.20
Extracto etéreo	3.29
Fibra cruda	27.00
Proteína	4.75
Cenizas	20.78
Azúcares totales	0.2912
Azúcares reductores	0.1560
Taninos hidrolizables	0.5514
Taninos condensados	0.1991
Otros componentes	42.7823

Fuente: Garza *et al.* (2009).

La planta de Damiana es un pequeño arbusto con tallos amarillos o rojizos, muy ramificados, que llega a medir 60 cm a 1 m de altura y algunas variedades alcanzan de 30 cm a 2 metros de altura. Sus hojas son aromáticas, tiene forma lanceolada y miden de 10 - 25 mm de longitud. Sus flores son amarillas, de 8 a 12 mm de largo.

Se produce en: Baja California Sur, Chihuahua, Querétaro, Guerrero, Oaxaca, San Luis Potosí, Coahuila, Sinaloa, Nayarit, Zacatecas, Tamaulipas y Puebla

Es un purgante, estimulante, astringente, diurético, expectorante, laxante, ayuda a controlar los desórdenes menstruales, gastrointestinales y debilidad sexual. Se usa también como tratamiento del desorden nervioso y enfermedades venéreas (Garza *et al.*, 2009). Sin embargo sus compuestos bioactivos pueden ser una alternativa poscosecha para contrarrestar las enfermedades causadas por hongos y bacterias.





## 3. OBJETIVOS



---

### **Objetivo general**

Desarrollar un recubrimiento antifúngico mediante la adición de extracto de Damiana (*Turnera diffusa*) y su aplicación en pimiento morrón amarillo, verde y rojo mínimamente procesado para alargar el tiempo de vida útil.

### **Objetivo particular 1**

Determinar la actividad anti fúngica del extracto de Damiana a diferentes concentraciones (2000, 3000 y 4000 ppm) sobre *Colletotrichum spp* y *Alternaria spp*, mediante pruebas *in vitro* para seleccionar la concentración con mayor poder de antifúngico y utilizarla como agente activo en la conservación de pimiento morrón.

### **Objetivo particular 2**

Comparar el efecto de diferentes desinfectantes (ozono y cloro) sobre la carga microbiana (coliformes, mesófilos, mohos y levaduras) para seleccionar el desinfectante más efectivo que no afecte los parámetros de calidad (acidez, pH, sólidos solubles, pérdida de peso) y nutricionales (vitamina C y carotenos) del pimiento morrón amarillo, verde y rojo mínimamente procesado.

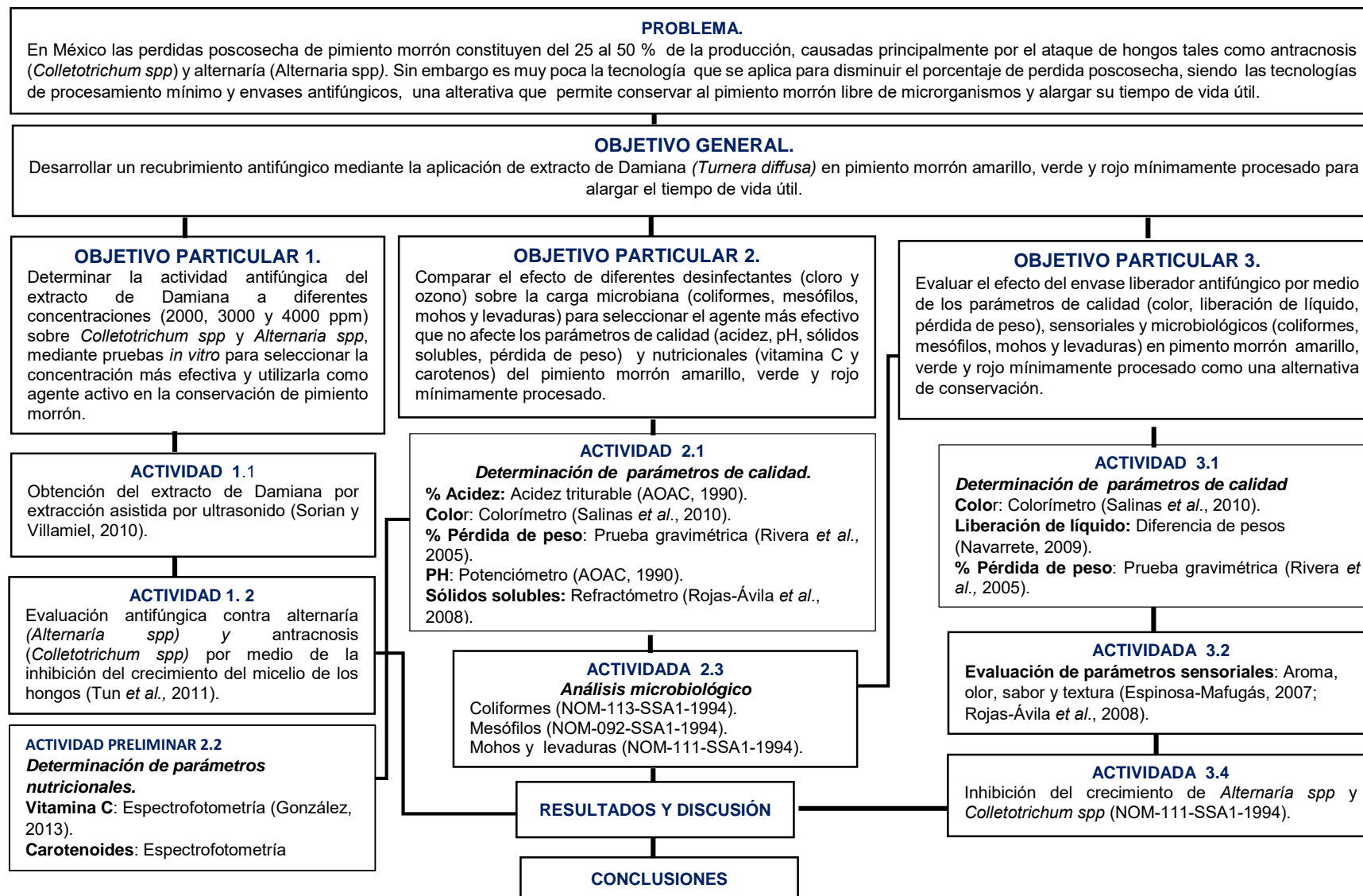
### **Objetivo particular 3**

Evaluar el efecto del envase liberador antifúngico por medio de los parámetros de calidad (color y pérdida de peso), sensoriales y microbiológicos (coliformes, mesófilos, mohos y levaduras) en pimiento morrón amarillo, verde y rojo mínimamente procesado como una alternativa de conservación.



## 4. METODOLOGÍA

## 4.1. Cuadro metodológico





## 4.2. Material biológico

El pimiento morrón fue adquirido en la central de abastos de la Ciudad de México y trasladado al Laboratorio de Poscosecha de Productos vegetales del centro de asimilación Tecnológica de la UNAM. Se almacenó a una temperatura de 5°C para su posterior estudio (Figura 15).



Figura 15. Material biológico: pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.)

## 4.3. Pruebas in vitro con extracto de Damiana

### 4.3.1. Obtención del extracto vegetal de Damiana

La obtención del extracto de Damiana se realizó por extracción asistida por ultrasonido (Sorian y Villamiel, 2010), con un tiempo de 90 minutos, utilizando una relación de 1:5 de etanol.

Las hojas de Damiana fueron pulverizadas por medio de un molino (Krups modelo 203) hasta obtener un polvo fino que se hizo pasar por un tamiz (ISICAS) empleando una malla del número 40. Posteriormente se pesaron 5 g de Damiana y se mezcló con 25 mL de etanol al 70 % y por último se realizó la extracción por medio de un dispositivo ultrasónico (Figura 16). El extracto fue filtrado a temperatura ambiente empleando papel filtro estéril hasta obtener el volumen fijado inicialmente. Una vez obtenido el extracto se determinó la cantidad de fenoles totales por el método de Folin Cicalteu (Quiroz *et al.*, 2013) con la finalidad de determinar el volumen de extracto de Damiana necesario para generar 2000, 3000 y 4000 ppm requeridas para evaluar la actividad antifúngica de dicho extracto.



Figura 16. Dispositivo ultrasónico comúnmente conocido como sonicador (Cole Parmer 8891).

#### 4.3.2. Evaluación de la actividad antifúngica

La actividad antifúngica del extracto fue evaluada en dos hongos *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp* mediante la técnica de dilución de extracto en agar. Cada una de las especies de hongos fueron previamente cultivadas sobre placas con agar papa dextrosa (PDA) a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días en cajas Petri (Moreno *et al.*, 2011).

La técnica de dilución de extracto en agar consistió en la preparación de una mezcla homogénea del medio de cultivo con el extracto etanólico a una concentración de 2000, 3000 y 4000 ppm y posteriormente se vació en cajas Petri. La mezcla se realizó cuando el agar PDA estaba a una temperatura de  $50^\circ\text{C}$ . Una vez solidificado el medio se depositó en la parte central de la caja Petri un explante de 1 cm de diámetro de la cepa del hongo crecida previamente. Las cajas Petri fueron incubadas a temperatura ambiente.

La efectividad antifúngica del extracto de Damiana sobre *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp* se evaluó a través de la inhibición del crecimiento micelial en centímetros, midiendo el diámetro de crecimiento radial en cuatro puntos del hongo cada 24 horas hasta que el testigo cubrió totalmente la superficie del medio (Figura 17). Los resultados fueron expresados en porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (Tun *et al.*, 2011).

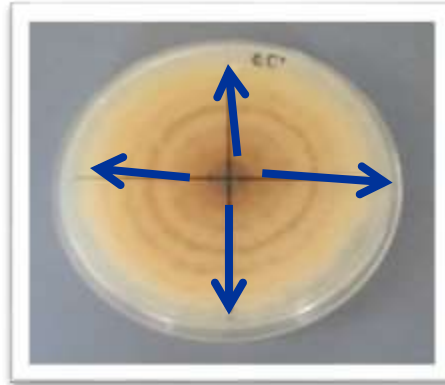


Figura 17. Medición de la inhibición del crecimiento micelial.

#### 4.4. Proceso de elaboración de pimiento morrón mínimamente procesado

##### 4.4.1. Tratamiento de la muestra

El pimiento morrón se seleccionó de acuerdo a las siguientes especificaciones: enteros y bien desarrollados, libre de defectos mecánicos, entomológicos (insectos) y microbiológico (Figura 18).



Figura 18. Selección del pimiento morrón.

El procesamiento de la hortaliza se realizó manualmente en la cámara de refrigeración, previamente desinfectada al igual que todo el material utilizado (cuchillos, tablas, cucharas, escurridores, tinas etc.) con una dilución de cloro al 2%, durante 20 min (Figura 19).



Figura 19. Desinfección de A) mesas, B) equipos De trabajo y C) utensilios.



Subsiguientemente el pimiento morrón fue sometido a las siguientes operaciones: selección, lavado del producto entero, desvenado, cortado, desinfección, escurrido, pesado, envasado y finalmente almacenado en refrigeración a 5°C de acuerdo con el diagrama de proceso que se muestra en la Figura 20.

#### 4.4.2. Selección del agente desinfectante

En esta etapa se analizaron dos tipos de desinfectantes con las siguientes condiciones: cloro a una concentración de 100 ppm con un tiempo de inmersión de 8 minutos y ozono con un tiempo de inmersión de 3 y 6 minutos. Cada tratamiento fue aplicado a los pimientos de color amarillo, verde y rojo por separado (Figura 21). Por otra parte se mantuvo un control al que no se le aplicó ningún tratamiento de desinfección.

Los pimientos fueron envasados en tarrinas de PET (Polietileno tereftalato) el cual presenta transparencia y brillo con efecto lupa, es liviano, altamente resistencia al desgaste, su temperatura de trabajo es de -40°C a 70°C, muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad (Tecnología de los plásticos, 2011).

Posteriormente se llevó a cabo la evaluación de los parámetros de calidad, nutricionales y microbiológicos durante los días 1, 6 y 12 y así seleccionar el mejor desinfectante para su posterior aplicación.

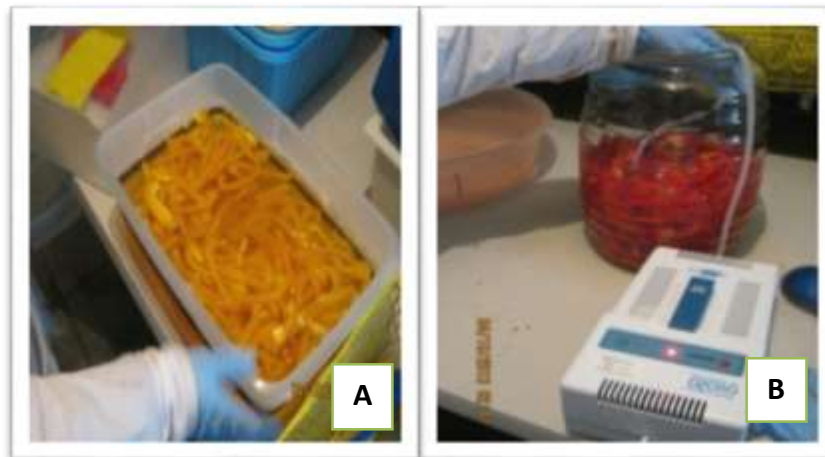


Figura 20. A) Desinfección con cloro y B) desinfección con ozono.





Figura 21. Diagrama de proceso de pimiento morrón mínimamente procesado.



#### 4.5. Pruebas *in vivo* en pimiento morrón fresco

##### 4.5.1. Obtención del inóculo

Consecutivamente los pimientos se sometieron a un proceso de desinfección con una solución de cloro al 2% durante 1 minuto, después de este lapso se enjuagaron por inmersión con agua estéril durante 1 minuto. Transcurrido ese tiempo los pimientos se sometieron a un secado con ayuda de una corriente de aire forzado.

Para la obtención del inóculo se utilizaron 10 cajas de *Alternaria spp* y 7 cajas de *Colletotrichum spp* previamente cultivadas sobre cajas petri con agar papa dextrosa (PDA) e incubadas a una temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  por 7 días. A cada caja se le agregó 5 mL de una solución estéril de Tween al 0.5%. Cada caja fue raspada con un bisturí para arrastrar las esporas del hongo. La suspensión así obtenida se filtró a través de gasas estériles y de esta manera se consiguió el inóculo (Figura 22).

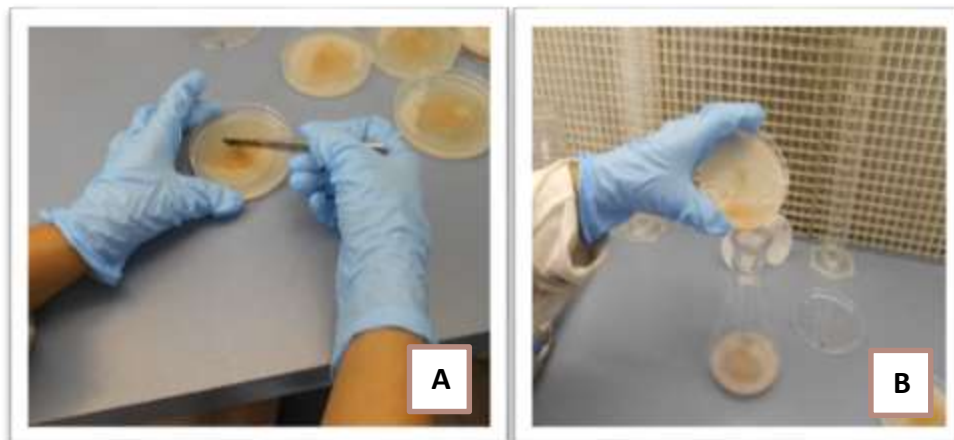


Figura 22. A) Raspado de las esporas del hongo y B) Obtención del inóculo.

A continuación se procedió al conteo de esporas por medio de una cámara de NeuBauer, la cual es una placa que está conformada por 2 áreas y cada una se encuentra conformada de la siguiente manera: 4 cuadrantes que a su vez se dividen en 16 y 1 cuadrante más se localiza en la parte central de la placa que a su vez se dividen en 25 cuadros (Figura 23) (Pascual, 2000).

El conteo de esporas se realizó colocando sobre la cámara de NeuBauer un portaobjetos específico para luego colocar una gota de la solución del inóculo en la parte central. Posteriormente se observó al microscopio en donde se realizaron ajustes (luz y resolución) para poder observar los cuadrantes y efectuar el conteo y conseguir una concentración de esporas de  $20 \times 10^1$  en *Alternaria spp* y  $70 \times 10^4$  en *Colletotrichum spp*.

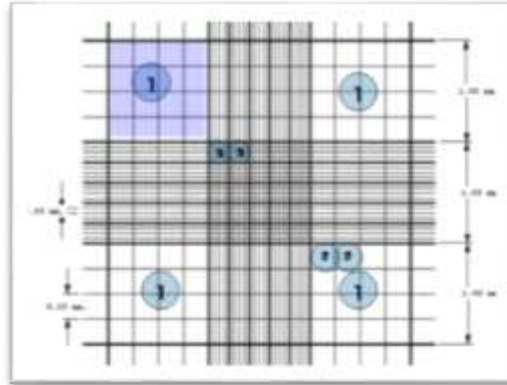


Figura 23. Cámara de NeuBauer integrada por 4 cuadrantes laterales y 1 central.

#### 4.5.2. Aplicación del inóculo en el pimiento morrón fresco

En el pedúnculo de cada pimiento morrón se aplicaron 2 mL del inóculo y se esparció por medio de una gasa estéril por toda la superficie de la hortaliza. Este procedimiento se realizó en una cámara de flujo laminar y los pimientos morrones se almacenaron a temperatura ambiente y en cámaras húmedas durante 24 horas para permitir el establecimiento del hongo y posteriormente aplicar los tratamientos propuestos (Figura 24).

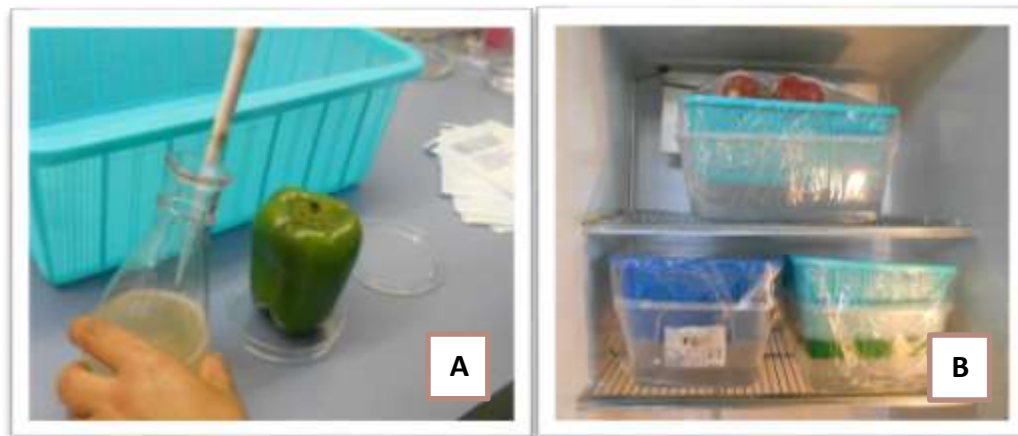


Figura 24. A) Inoculación del pimiento morrón y B) Almacenamiento del pimiento morrón en cámaras húmedas.

#### 4.5.3. Aplicación de un recubrimiento comestible adicionado con un extracto vegetal en pimiento morrón mínimamente procesado

Una vez que se inoculó el pimiento morrón se procedió a procesarlo de acuerdo a la Figura 26. Un recubrimiento comestible a base de gnetina al 3%, glicerol al 1%, Tween al 0.6% y extracto vegetal de Damiana se aplicó al pimiento con un tiempo de inmersión de 3 minutos y se secó por 3 minutos más (Figura 25).



El pimiento morrón mínimamente procesado y recubierto fue envasado y almacenado a una temperatura de 5°C, para llevar a cabo la evaluación de los parámetros de calidad, sensoriales y microbiológicos durante los días 1, 6 y 12.



Figura 25. A) Recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana, B) Inmersión del pimiento morrón mínimamente procesado en el recubrimiento comestible y C) Ecurrido del pimiento.

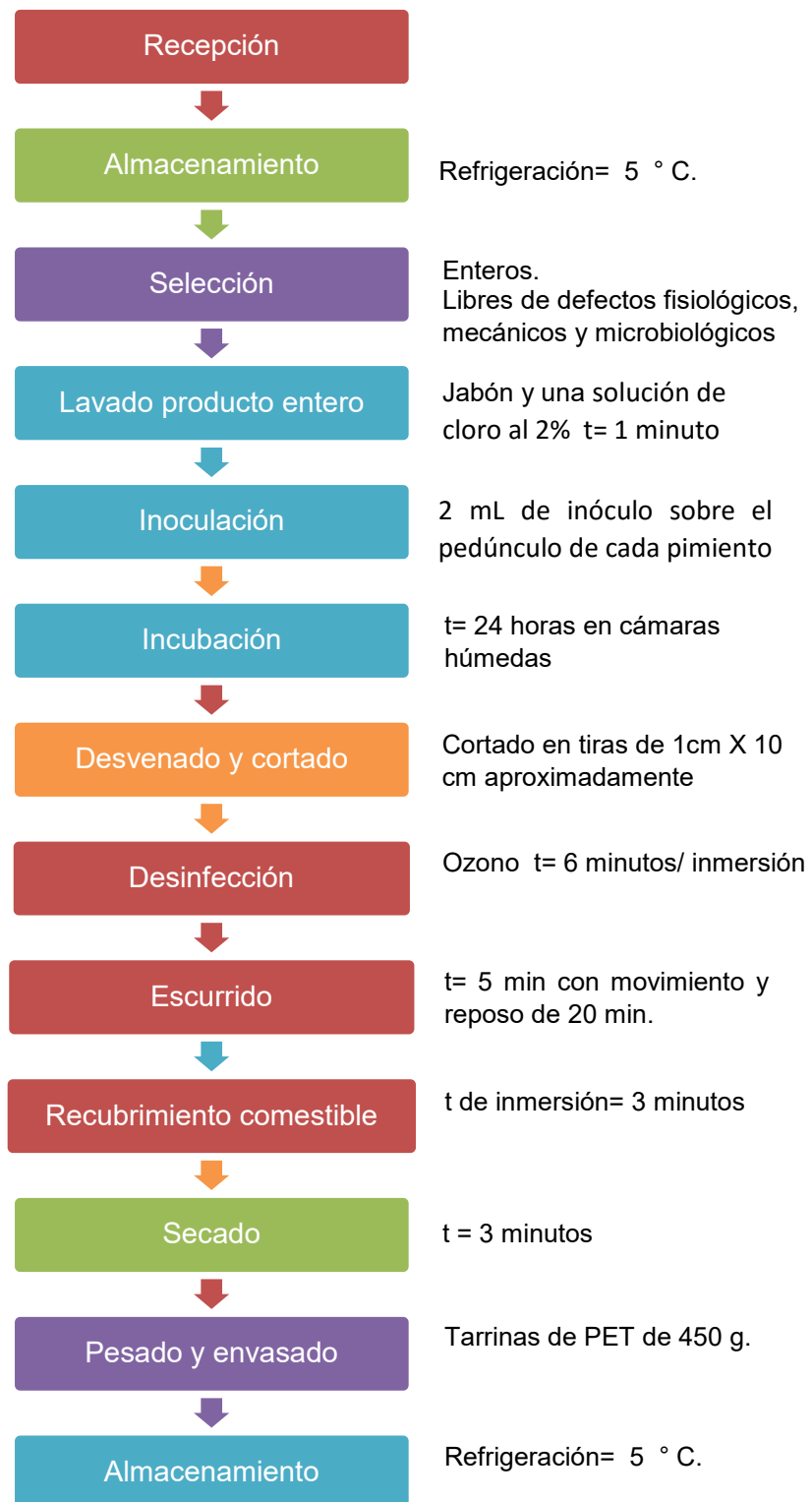


Figura 26. Diagrama de proceso de pimiento morrón mínimamente procesado y recubierto, adicionado con extracto de Damiana.



## 4.6. Técnicas Analíticas

### 4.6.1. Determinación de fenoles totales

La cuantificación de fenoles totales se realizó por el método de Folin-Ciocalteu por espectrofotometría utilizando el ácido gálico como solución estándar (Figura 27). El método se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungsteno sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno ( $W_8O_{23}$ ) y molibdeno ( $Mo_8O_{23}$ ), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula (Gutiérrez *et al.*, 2008). Los resultados se obtuvieron previo a la preparación de la curva patrón utilizando ácido gálico estándar, expresándose los resultados en mg de ácido gálico/ g de peso fresco. (Gutiérrez *et al.*, 2008).



Figura 27. Espectrofotómetro (marca thermospectronic, modelo Genesis UV).

### 4.6.2. Parámetros de calidad

- **Color**

El color se midió por medio de un colorímetro Minolta (Figura 28) por reflexión Hunter con el cual se obtuvieron valores de L (mide los valores de oscuridad a luminosidad), a (representa al rojo si es positivo y verde si es negativo) y  $b^*$  (amarillo si es positivo y azul en caso de ser negativo). A partir de las coordenadas a y b se calculó el ángulo Hue con la siguiente ecuación:  $Hue = \arctan(b/a)$  que representa el tono mientras que el croma indica la intensidad del color o saturación del color y se calculó de la siguiente manera:  $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$  (Salinas *et al.*, 2010).



Figura 28. Colorímetro Minolta

- **Sólidos solubles totales**

El contenido de total de sólidos solubles se determinó con un refractómetro digital (Figura 29). Para lo cual se depositó una gota del jugo del pimiento sobre el prisma a temperatura ambiente, el cual fue previamente calibrado con una gota de agua destilada. Los resultados fueron expresados como °Brix (AOAC, 1990).



Figura 29. Refractómetro digital

- **Liberación de líquido**

Se evaluó poniendo papeles filtro de 8 x 8 cm a peso constante, una vez conseguido esto, se procedió a pesar 20 gramos de muestra y se colocó sobre uno de los papeles filtro mientras que el otro se puso arriba de la muestra seguido de una pesa de 20 g, la cual ejerció una presión sobre la muestra y con ello se logró una liberación de líquido. Finalmente se calculó el porcentaje de desprendimiento de líquido por diferencia del peso final e inicial de los papeles filtro (Navarrete, 2009). Este procedimiento se aplicó a cada tratamiento. Los resultados fueron expresados en % de pérdida de liberación de líquido.

- **Pérdida de peso**

Se determinó mediante una diferencia de pesos, tomando como base el peso inicial y final de cada tarrina. El resultado se expresó en % de pérdida de peso durante el



almacenamiento. La determinación se realizó para cada tratamiento, así como para los controles (Rivera *et al.*, 2005).

#### 4.6.3. Parámetros fisicoquímicos

- **pH**

Se tomaron 10 g de muestra y se homogeneizaron con 90 mL de agua destilada y posteriormente se filtró la solución. El pH se midió con un potenciómetro manual digital marca HANNA (Figura 30) al sumergir la parte del electrodo sobre la solución a temperatura ambiente. Estos instrumentos miden la diferencia de potencial que se establece entre dos electrodos, que depende de la concentración de iones hidrogeno del medio que se analiza (AOAC, 1990).



Figura 30. Potenciómetro manual

- **Acidez**

Para la valoración de la acidez se utilizó el método de titulación (AOAC, 1990), donde se empleó una solución de NaOH 0.1 N como base y fenolftaleína 1 % como indicador. Se registró el volumen gastado para neutralizar el ácido y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.

#### 4.6.4. Parámetros nutricionales

- **Contenido de ácido ascórbico (Vitamina C)**

El contenido de vitamina C presente en el pimiento se cuantificó a través de un espectrofotómetro. Para lo cual se llevó acabo la extracción de vitamina C de la siguiente manera: se pesó 100 mg de la muestra y se macero con 2 mL de ácido metafosfórico ( $\text{HPO}_3$ ) al 2 %, después se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos. Por otra parte se realizó una curva patrón con una solución de ácido ascórbico estándar y el blanco se midió con una solución de ácido metafosfórico y agua destilada. Por último se tomó una alícuota de 500  $\mu\text{L}$  de la muestra y se agregó 2000  $\mu\text{L}$  de indofenol y se tomó la lectura en el





espectrofotómetro a una longitud de onda de 518 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico/ 100 g de muestra (González, 2013).

- **Carotenoides**

Se determinó por el método descrito por Cardona *et al.* (2006), el cual consiste en una extracción con solventes (acetona y éter de petróleo) por etapas de una muestra de 200 mg del fruto. Una vez realizado los lavados con los solventes se deja reposar la muestra y posteriormente se agrega agua destilada y nuevamente se dejó reposar en la oscuridad para después colectar la fase orgánica y medir su absorbancia.

Los resultados fueron expresados en mg de caroteno/ 100 g de muestra.

#### 4.6.5. Parámetros microbiológicos

La determinación de coliformes totales, mesófilos, mohos y levaduras se llevó a cabo por el método de cuenta en placa mediante la siembra por dilución (Figura 31). Para el recuento de bacterias coliformes se usó el medio de agar Mc Conkey incubado a 35°C por 24 horas, para mesófilos se empleó el medio de agar Nutritivo incubado a 35°C por 48 horas mientras que para mohos y levaduras se utilizó el medio de agar Papa Dextrosa (PDA) incubado a 25°C durante 5 días. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (ufc/g) (NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994, NOM-113-SSA1-1994).

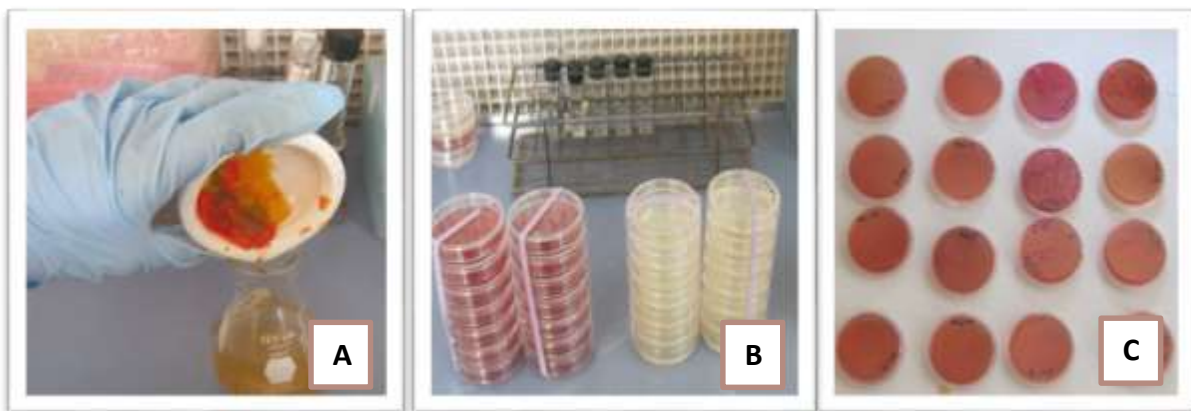


Figura 31. A) Preparación de la muestra para su análisis microbiológico, B) Inoculación de la muestra y C) Conteo de colonias.

#### 4.6.6. Determinación de parámetros sensoriales

El análisis sensorial se efectuó a través de una prueba afectiva. Estas pruebas se realizan con personas no seleccionadas ni entrenadas, las que constituyen los denominados jueces



afectivos que expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, si lo prefiere a otro o no. Son pruebas que tienen una interpretación o apreciación hedónica, son esenciales para saber en qué medida un producto puede resultar agradable al consumidor o conocer las primeras impresiones de un alimento nuevo (Espinosa-Manfugás, 2007).

Para lo cual se utilizó un test hedónico, en donde se evaluaron atributos sensoriales tales como: apariencia visual, olor, sabor y textura y se manejaron 3 escalas con 5 puntos (Tabla 13). De esta manera los jueces emitieron el grado de aceptación o rechazo de las dos muestras de pimiento morrón (A Y B) que se les dio a evaluar.

Tabla 13. Escala hedónica para la evaluación sensorial del pimiento morrón.

Escala general	Escala de olores y sabores extraños	Escala de Textura
1. Muy mala	1. Mucho	1. Muy blanda
2. Mala	2. Alguno	2. Blanda
3. Aceptable como límite de consumo	3. Aceptable	3. Aceptable como límite de consumo
4. Buena	4. Leve	4. Firme
5. Muy buena	5. Alguno	5. Muy firme

#### 4.7. Análisis estadístico

Para el objetivo 1 se efectuó un diseño completamente al azar (ANOVA), para cada hongo (*Alternaria spp* y *Colletotrichum spp*) teniendo como variables la concentración de extracto de Damiana (2000, 3000 y 4000 ppm); mientras que para el objetivo 2 se estableció un diseño factorial 3<sup>3</sup>, es decir con tres tratamientos (cloro, ozono 3 y 6 minutos) y 3 colores de pimiento (amarillo, verde y rojo). Así mismo en el objetivo 3 se aplicó un diseño factorial 3<sup>3</sup>, con 3 variables (diferentes tratamientos) y 3 colores de pimiento morrón (amarillo, verde y rojo).

Cabe mencionar que los experimentos se realizaron por triplicado con el fin de obtener resultados significativos. La diferencia significativa se determinó mediante una prueba de rango múltiple Tukey y Duncan a través de un paquete estadístico SPSS versión 15.



## 5. RESULTADOS y DISCUSIÓN



---

## 5.1. Evaluación de la actividad antifúngica del extracto de Damiana sobre *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp*

### 5.1.1 Pruebas *in vitro* de las propiedades antifúngicas del extracto de Damiana

Los extractos vegetales son una mezcla compleja de metabolitos secundarios, aislados de las plantas por diversos métodos. Los principales componente químicos de estas mezclas son: alcoholes, aldehídos, carbohidratos, cetonas, éteres y fenoles. Siendo los compuestos fenólicos los que mayor efecto fungistático tienen (Viveros y Castaño, 2006).

En la Figura 32 se aprecia la actividad antifúngica del extracto de Damiana a tres diferentes concentraciones (2000, 3000 y 4000 ppm), observándose que el mayor efecto de inhibición fue sobre el hongo de *Alternaria spp* en comparación con el hongo del género *Colletotrichum gloeosporoides*.

En la Figura 32 (A) se muestra el crecimiento micelial de *Alternaria*; en el control se presentó una tendencia decreciente conforme pasaron los días, hasta llegar al día 10, en donde hubo un porcentaje nulo de inhibición del hongo. En cuanto a las concentraciones de 2000 y 3000 ppm inhibieron un 100 % el crecimiento de los hongos hasta el día 8 comparado con el control que solo inhibió un 8.6 %. En el día 9 la concentración de 2000 ppm impidió el desarrollo del hongo un 93.6 % y la concentración de 3000 ppm inhibió un 97.8 %. En el último día el extracto de Damiana a una concentración de 2000 y 3000 ppm disminuyeron su poder fungistático, el primero inhibió un 89.2 % y el segundo un 92.5%. Con respecto a la concentración de 4000 ppm inhibió el crecimiento micelial un 100% durante los 10 días de muestreo. Por lo que hubo una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el porcentaje de inhibición de *Alternaria* con el uso de la concentración de 2000, 3000 ppm a partir del día 9, mientras que la inhibición de la muestra control presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) a partir del día 3.

En la Figura 32 (B) el porcentaje de inhibición en el control disminuyó continuamente hasta el día 10 donde se obtuvo 0 % de inhibición de hongo, con respecto a las concentraciones de 2000, 3000 y 4000 ppm impidieron el crecimiento micelial en un 100% hasta el día 3 en comparación con el control con un 76.8 %. Posteriormente dichas concentraciones disminuyeron su porcentaje durante los días restante hasta el día 10, en donde se obtuvieron valores de inhibición del hongo de 30 % para 2000 ppm, 49 % para 3000 ppm y 56 % para 4000 ppm en comparación con el control con un 0 %.

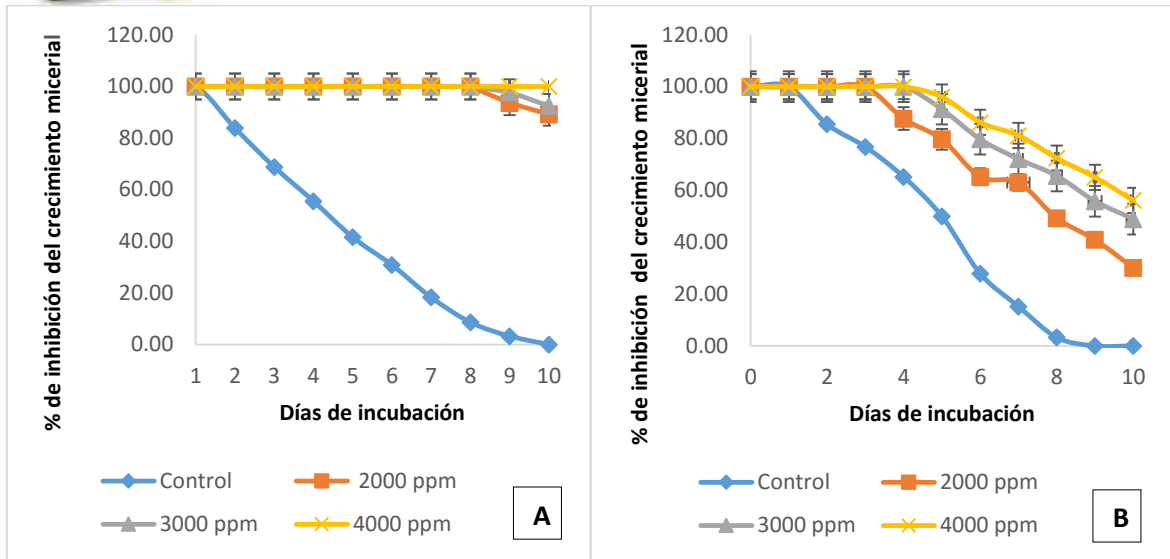


Figura 32. Porcentaje de inhibición del extracto de Damiana sobre A) *Alternaria spp* y B) *Colletotrichum spp* en pruebas *in vitro* a tres diferentes concentraciones.

En el caso de *Colletotrichum* se observó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el porcentaje de inhibición para las concentraciones de 2000, 3000 y 4000 ppm desde el día 4 hasta el final del muestreo al igual que la muestra control.

Los resultados antes mencionados son producto de la composición química del extracto de Damiana, ya que contiene compuestos bioactivos tales como: fenoles (taninos), alcaloides, proteínas, flavonoides, y sacáridos. Por lo que cada compuesto tiene un mecanismo de acción variable; por ejemplo, la toxicidad de los fenoles en microorganismos se atribuye a inhibición enzimática por oxidación de compuestos, reaccionar con la pared celular o alterar la función de material genético y se ha observado que el pH y las concentraciones de extracto, pueden afectar la actividad antimicrobiana. Aún que en muchos casos los antimicrobianos pueden no tener ningún efecto hasta que se rebasa una concentración crítica (Rodríguez-Sauseda, 2011).

La acción microbiana también se debe a los componentes de los extractos vegetales, ya que va en orden decreciente de los fenoles >aldehídos >cetonas >alcoholes > éteres (García-Lujan *et al.*, 2010). De los alcaloides se fundamenta que incrementa con el DNA, y de las lectinas y polipéptidos se conoce que pueden formar canales iónicos en la membrana microbiana o causar la inhibición competitiva por adhesión de proteínas microbianas a los polisacáridos receptores del hospedero (Hernández-Lauzardo, *et al.*, 2007). Por lo que la composición química de los extractos no es el único factor que afecta el crecimiento, esporulación y germinación del hongo, ya que se ha evidenciado un efecto fungistático selectivo que depende de la especie de planta y del patógeno de esta manera



---

algunos extractos pueden ser inhibitorios para un hongo y estimuladores para otros (Hernández-Lauzardo *et al.*, 2007; Montes *et al.*, 2000).

Estudios realizados por Pérez-Cordero *et al.* (2011) muestran similitud con los resultados reportados en este proyecto, ya que la aplicación de extractos vegetales de hojas de *Melia azederach* y *Mascagnia concinna* permitieron controlar en condiciones *in vitro* el desarrollo del hongo *Colletotrichum* en un 70 y 60 % respectivamente. Mientras que Stauffer *et al.* (2000) realizaron pruebas *in vitro* con extractos de 98 especies de plantas medicinales con posibles efectos antimicóticos sobre *Colletotrichum spp*, *Penicillium italicum*, *Aspergillus flavus* y *Alternaria spp*, encontrando inhibición del crecimiento fungoso únicamente con extractos de ajo y cebolla, resaltando que el efecto de los extractos se va perdiendo con el tiempo. Así mismo Landero *et al.* (2013) realizaron estudios con extractos de ajo y canela que lograron la inhibición un 100% de la germinación y esporulación del hongo *C. gloesporoides*, debido a la presencia de compuestos fenólicos tales como eugenol considerado como uno de los componentes de la canela con gran actividad antifúngica.

De acuerdo a lo anterior se concluye que el efecto de inhibición del extracto de Damiana a diferentes concentraciones presentó un efecto, siendo este superior a una concentración de 4000 ppm ya que logró inhibir el crecimiento micelial en *Colletotrichum*, mientras que en *Alternaria* inhibió al 100 % su crecimiento. Por lo que a mayor concentración de dicho extracto la inhibición del crecimiento del hongo fue mayor.

La determinación de una concentración que pudiera inhibir por completo o su mayoría el desarrollo de estos dos hongos ya anteriormente mencionados, tiene como finalidad la aplicación en posteriores pruebas *in vivo* en pimiento morrón mínimamente procesado para alargar su tiempo de vida útil.

El efecto fungicida del extracto de Damiana y de cualquier extracto vegetal se puede manifestar desde un cambio en la forma, textura y color de las colonias de los hongos, tal y como sucedió con *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp* hasta la total inhibición del hongo (Montes *et al.*, 2000).

En la Tabla 14 y 15 se muestra el seguimiento fotográfico que se les realizó a ambos hongos durante 10 días, observándose un cambio evidente de color en los hongos conforme iban envejeciendo, así como una textura más algodonosa y un incremento en el tamaño. En el caso del hongo *Alternaria spp* en el día 1 mostró un color blanco por la parte superior y al final del estudio era gris verdoso con reverso negro parduzco. Lo mismo paso con *Colletotrichum spp* que al final de la experimentación se formó un micelio brillante de color rosado o salmón.



Tabla 14. Seguimiento fotográfico de la inhibición del crecimiento del hongo *Alternaria spp* por la actividad del extracto de Damiana a las distintas concentraciones estudiadas.

Día		1	4	7	10
Control	Superior				
	Inferior				
2000 ppm	Superior				
	Inferior				
3000 ppm	Superior				
	Inferior				
4000 ppm	Superior				
	Inferior				



Tabla 15. Seguimiento fotográfico de la inhibición del crecimiento del hongo *Colletotricum spp* por la actividad del extracto de Damiana a las distintas concentraciones estudiadas.

Día		1	4	7	10
Control	Superior				
	Inferior				
2000 ppm	Superior				
	Inferior				
3000 ppm	Superior				
	Inferior				
4000 ppm	Superior				
	Inferior				





---

## 5.2. Parámetros de calidad, nutricionales y microbiológicos en pimiento morrón mínimamente procesado bajo diferentes tratamientos de desinfección

### 5.2.1. Parámetros de calidad en pimiento morrón mínimamente procesado bajo diferentes tratamientos de desinfección

#### 5.2.1.1. Acidez titulable

El contenido de ácido desciende normalmente durante el decaimiento debido a la utilización de ácidos orgánicos, producto de la respiración celular o su conversión en azúcares para conferirle un sabor dulce al fruto (Caro y García, 2012). Como es sabido, los pimientos dulces deben principalmente su sabor a los azúcares y ácidos orgánicos presentes, siendo el ácido cítrico el predominante en el pimiento (Avalos *et al.*, 2012).

La acidez titulable del pimiento morrón amarillo, verde y rojo se midió como porcentaje de ácido cítrico. En cuanto al efecto de los diferentes tratamientos de desinfección aplicados, se observó una tendencia diferente para cada color de pimiento morrón (Figura 33).

En la Figura 33 (A) el pimiento morrón de color amarillo mostró, que los pimientos control en el día 1 registro un porcentaje de acidez de 0.02 % al igual que el tratamiento con cloro, mientras que la aplicación con ozono 3 y 6 minutos presentaron un valor mayor de acidez de 0.03%. Para los días posteriores de almacenamiento las muestras de cloro y ozono con un tiempo de 3 minutos mantuvieron la misma tendencia con un valor de 0.02 % de acidez al igual que el control, excepto por los días 3 y 6 donde la acidez se incrementó a 0.03%. Con respecto a los pimientos desinfectados con ozono 6 minutos a partir del día 6 mantuvieron un valor de 0.03% de acidez, mayor a todos los demás tratamientos.

En la Figura 33 (B), el pimiento morrón de color verde en el día 1 tuvo un valor de 0.02 % de acidez al igual que todos los pimientos sometidos a desinfección, así como los pimientos control. A partir del día 6 la muestra control y los pimientos tratados con ozono 3 minutos conservaron el mismo porcentaje de acidez de 0.01%. En cuanto a los sometidos con cloro a partir del día 3 hasta el día final de almacenamiento disminuyeron su acidez de 0.02 a 0.01 %. Mientras que los pimientos inmersos en ozono 6 minutos mantuvieron la misma tendencia, excepto por el día 6 donde su acidez disminuyó un 50%.

En la Figura 33 (C), el pimiento morrón de color rojo no desinfectado, desde el día 1 hasta día 12 de almacenamiento presentó un valor de acidez de 0.03 %, sin embargo el día 6 disminuyó su acidez a 0.02%. En cuanto a los pimientos tratados con cloro, ozono 3 y 6 minutos se observó una tendencia decreciente, ya que en el día 1 el valor de acidez del



cloro fue de 0.03% y para los de ozono 3 y 6 minutos fue de 0.04 %. Al final de los día de almacenamiento la acidez de los de cloro fue de 0.01%, mientras que los de ozono con 3 y 6 minutos su acidez fue de 0.02%.

Estadísticamente se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de acidez entre los desinfectantes cloro y ozono con un tiempo de 3 y 6 minutos con respecto a la muestra control durante el almacenamiento. No obstante en el día 1 no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre la muestra control y el desinfectante con cloro. Para este día tampoco no se encontró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre el ozono 3 y 6 minutos.

En cuanto al color del pimiento morrón se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el % de ácido cítrico en los 3 colores de pimiento morrón. Sin embargo durante el almacenamiento, el pimiento de color verde no se presentó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ). Los pimientos de color amarillo mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) el día 12 de almacenamiento y los pimientos rojos el día 9 y 12.

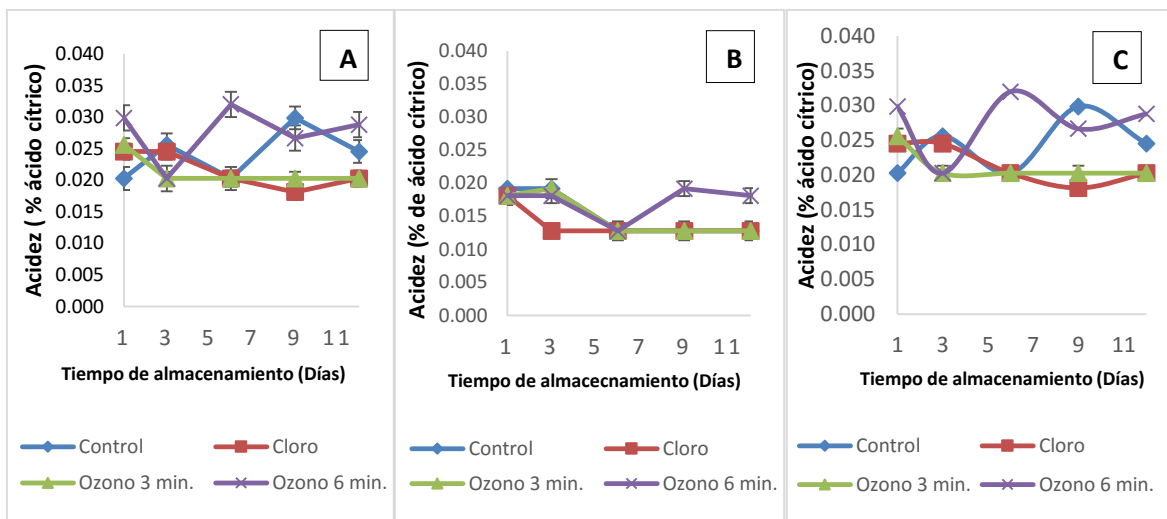


Figura 33. Acidez titulable (AT) en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

El incremento de la acidez en el pimiento morrón en los primeros días de almacenamiento puede ser asociado a la disminución de la tasa de actividad fisiológica producto de la temperatura de almacenamiento (5°C), generando una tasa baja de utilización de los ácidos orgánicos (Ciclo de Krebs) y por lo tanto un aumento de la acidez (Rivera *et al.*, 2005; Vásquez, 2013).



---

Por otra parte una disminución de la acidez en el pimiento morrón puede ser producto de la disminución del ácido ascórbico durante el almacenamiento debido a la oxidación enzimática del ácido L. ascórbico a ác. dehidroascórbico (Villegas, 2005).

Lo anterior coincide con Espinosa-Torres *et al.* (2010) quienes mencionan que el fruto de chile, durante el proceso de maduración a senescencia, ocurre una disminución de ácidos orgánicos y fenólicos proporcionándole al fruto su sabor característico.

Cabe mencionar que el color del pimiento es un factor importante para la acidez pues estudios realizados por Hernández-Fuentes *et al.* (2010) en chile manzano demuestran que el color del chile tiene influencia en la acidez, ya que los chiles verdes (que no presentan cambios de color) a medida que se vuelven senescentes, disminuyen su contenido de ácido a diferencia de los chiles que cambian de color, debido a su alto contenido en pigmentos, que actúan como antioxidantes protegiendo así al ácido ascórbico.

Así el mayor valor promedio de la acidez titulable en el pimiento morrón amarillo y rojo se deba a este efecto, aunado a que los ácidos orgánicos son también sustratos de las reacciones de respiración.

De modo que los tratamientos con cloro y ozono con un tiempo de aplicación de 3 minutos pueden ser una alternativa para emplearse como método de desinfección.

#### **5.2.1.2. pH**

El valor del pH es un parámetro de calidad que indica la medida de la acidez o alcalinidad de un producto. Por lo que tiene gran influencia en los cambios químicos que se producen en poscosecha, tanto en tejidos frescos como procesados (González, 2013)

El pH puede variar de 2 a 7 unidades en las distintas frutas y hortalizas, en el pimiento morrón fresco de color verde el valor del pH oscila entre 4.9 y 6.9 dependiendo del tipo de cultivar (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

En la Figura 34 (A) se muestra la variación del pH en el pimiento morrón de color amarillo sometido a diversos tratamientos de desinfección. Puede observarse que el pH experimenta una tendencia decreciente en los pimientos control y en los tratados con ozono 3 y 6 minutos durante los 12 días de almacenamiento. La muestra control reportó un valor inicial de pH de 6.67 y al final perdió un 5.5 % de su valor inicial. Para los frutos tratados con ozono 3 minutos su valor inicial fue de 6.60 y en el día 12 tuvo una pérdida del 8 %, mientras que para los sometidos con ozono 6 minutos reportaron valores de 6.55 al inicio y al final se perdió un 15 % del valor del pH. En cuanto a los inmersos en cloro, presentaron una



---

tendencia ascendente en comparación con los controles, ya que su valor inicial reportado de pH fue de 6.70 y al final de los días de estudio su pH fue de 6.80

En la Figura 34 (B) se ejemplifica la tendencia de pH en los diferentes métodos de desinfección aplicados al pimiento morrón de color verde. Por lo que la muestra control y el desinfectante con ozono con un tiempo de 3 y 6 minutos presentaron una tendencia decreciente en cuanto al pH, expresando valores iniciales de 7 y finalizaron una pérdida de 3.3 % en la muestra control y 2 % para los pimientos tratados con ozono con ambos tiempos de ozonización. Mientras que los pimientos tratados con cloro disminuyeron su valor de la misma manera que el pimiento morrón de color amarillo, ya que su pH inicial tuvo un valor de 7.0 y finalizó con una disminución del 5 % en comparación con el control.

En la Figura 34 (C) se indica el efecto de los diferentes métodos de desinfección en el pH del pimiento morrón de color rojo, que de la misma manera que el pimiento de color amarillo y verde expresó la misma tendencia decreciente en los frutos control y los desinfectados con ozono con un tiempo de 3, sin embargo los pimientos desinfectados con ozono registraron un porcentaje de 3.76 % mayor para el día 12 en comparación con el día 9. Por otra parte se observó que los pimientos tratados con ozono con un tiempo de 6 minutos su tendencia fue variable, ya que para el día 1 reportó 6.17 unidades de pH, para el día 3 su pH se incrementó 3.4 % y para el día 12 el pH presentó el mismo valor que el día 1. Por último los pimientos desinfectados con cloro mostraron la misma tendencia al igual que el pimiento de color amarillo y verde, a excepción del día 9 donde el pH se incrementó a 7.0 unidades en comparación con el día 1 con un pH de 6.40.

Estadísticamente el pH de los pimientos de los diferentes tratamientos, presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) durante el tiempo de almacenamiento. Los pimientos desinfectados con cloro fueron diferentes de los de ozono y este último mostró diferencia en el tiempo de inmersión de 3 y 6 minutos. Así mismo se presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el control los días 6 y 9, en los pimientos tratados con cloro los días 3 y 12, los de ozono con un tiempo de 3 minutos el día 6 y 9. Por último los pimientos ozonificados con un tiempo de 6 minutos presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el día 3.

En tanto que el pH de los pimientos amarillo, verdes y rojos mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a los desinfectantes. El color amarillo del pimiento morrón no presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en relación con el tiempo de almacenamiento, al igual que los pimientos de color verde. El pimiento de color rojo presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) únicamente el día 12 de almacenamiento.

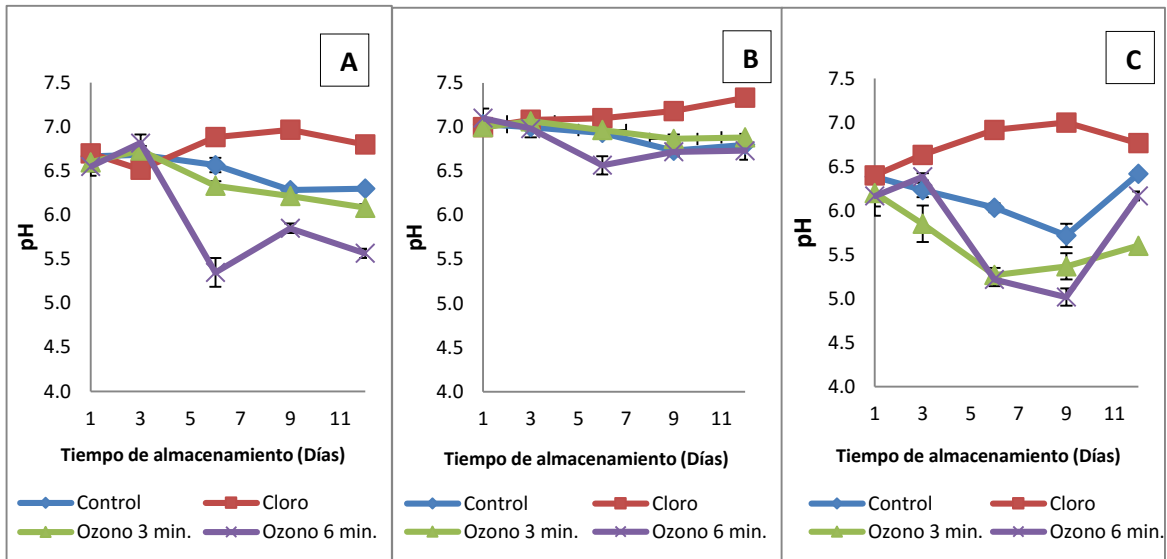


Figura 34. pH en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Los variaciones de los datos de pH reportados en el pimiento morrón por los diferentes tratamientos de desinfección se atribuyeron al incremento de la población microbiana de alguna especie de microorganismos tales como las bacterias lácticas, las cuales son habitantes comunes en frutas y hortaliza que contribuyen al descenso de pH durante el almacenamiento del pimiento morrón (Escobar-Hernández *et al.*, 2014; García-Martínez *et al.*, 2006). Así mismo Vázquez (2013) señala que los frutos mínimamente procesados luego de 2 días de almacenamiento tienden a producir ácidos orgánicos debido a la presencia de microorganismos indeseables, los cuales probablemente excedieron el umbral de la capacidad del tejido de actuar como buffer, ocasionando así un descenso del pH.

Por lo que la disminución de los valores de pH se traduce en mayores valores de acidez titulable o disminución de ésta. Así el ligero aumento de los valores obtenidos de acidez titulable del pimiento morrón mínimamente procesado coincide con el descenso del pH.

Los resultados encontrados en esta investigación concuerdan con los reportados por Pilon *et al.* (2006) quienes encontraron una disminución del pH en zanahoria mínimamente procesadas desinfectadas con cloro y en ensalada mixta de lechuga y pepino envasados en atmósferas modificadas y almacenados a temperaturas de 5, 12 y 21 °C. Por otra parte Pilon *et al.* (2006) reportaron variaciones en los valores de pH de 5.4 a 6.3 en pimiento verde mínimamente procesado y desinfectado con cloro, almacenados durante 21 días. Dicho aumento en el pH durante el almacenamiento se relaciona con los valores más bajos



---

de ácidos orgánicos encontrados, razón por la cual estos valores no concuerdan con los datos reportados en este proyecto.

En cuanto a la relación de pH y el color del pimiento morrón mínimamente procesado, el descenso del pH tuvo un impacto principalmente en el color amarillo y rojo dado que poseen mayor cantidad de carotenoides, los cuales no son relativamente resistentes a valores de pH extremos, los ácidos y álcalis pueden modificar la estructura de los carotenoides y provocar isomerización cis/trans de ciertos dobles enlaces induciendo una decoloración de los pigmentos y una pérdida de las características organolépticas del pimiento (Meléndez *et al.*, 2007 ).

Como consecuencia de esto, el método de desinfección que menor impacto tuvo en el pimiento morrón fué el cloro y el ozono con un tiempo de 3 minutos dado que se reportaron valores mayores de pH similares a la muestra control lo que significa una menor degradación de los carotenoides presentes en los pimientos.

#### **5.2.1.3. Sólidos solubles totales**

El cambio más importante ligado a la maduración de los productos frutohortícolas tras la recolección es la degradación de los carbohidratos presentes en la pared celular (entre los que se incluyen el almidón, la celulosa, la hemicelulosa y la pectina), que al degradarse proporcionan un aumento en el contenido de sólidos solubles totales (SST) y un sabor dulce a los alimentos. Sin embargo, este proceso estará condicionado por el comportamiento climatérico o no climatérico del producto. Así el contenido de sólidos solubles aumenta hasta alcanzar un máximo y después se mantiene o disminuye cuando avanza la maduración (Fennema, 2010; Figueroa *et al.*, 2011).

En el caso de los productos no climatéricos, se caracterizan por presentar valores bajos de sólidos solubles (°Brix), tal es el caso del pimiento morrón en donde los valores de SST oscilan entre 4.7 y 7.4 dependiendo del cultivar y el color (Muy *et al.*, 2004; Rinaldi *et al.*, 2008).

Durante el almacenamiento se observó que en todos los tratamientos disminuyó el contenido de sólidos solubles (SST), así como en cada color de pimiento morrón durante los 12 días de almacenamiento (Figura 35).

En la Figura 35 (A) se muestra que el contenido de sólidos solubles osciló entre 6.07 y 8.23 °Brix para el pimiento morrón de color amarillo. La muestra control reportó el contenido de SST más altos, de 8.03 °Brix al inicio y al final de los días de almacenamiento perdió un 8 % de SST. Sin embargo los pimientos tratados con ozono con un tiempo de 3 minutos para



---

el día 1 mostraron un incremento del 2 %, los desinfectados con ozono 6 minutos disminuyeron 1.2 % al igual que los inmersos en cloro un 10 % en comparación con la muestra control. En el día 12 los pimientos tratados con ozono 3 minutos perdieron un 26 % de SST, los que se ozonificaron por 6 minutos disminuyeron 16.4 % y los que se sometieron en cloro un 5 %, resultando ser el tratamiento con menor cantidad de sólidos solubles perdidos.

En la figura 35 (B) el contenido de SST para el pimiento de color verde se situó en un intervalo de 3.98 a 5.27 °Brix durante todo el periodo de almacenamiento. Para el día 1 los pimientos que reportaron un mayor contenido de SST fueron los desinfectados con ozono 3 minutos con 5.2 °Brix y al final del almacenamiento perdieron 32 % de los SST. En cuanto los tratados con ozono con un tiempo de 6 minutos registraron un incremento en un rango de 6 a 10 % los días 6 y 9. Al final del almacenamiento los frutos control exhibieron un contenido más alto de SST con 4.27 °Brix, mientras que el cloro perdió 2.3%, los inmersos en ozono con un tiempo de 3 minutos un 17 % y con un tiempo de 6 minutos un 13 % comparados con el control.

En la figura 35 (C) se reportó el comportamiento del pimiento morrón de color rojo durante los 12 días de almacenamiento, el cual presentó un contenido mayor de SST a diferencia del pimiento amarillo y verde, siendo este último el que mostró valores más bajos de SST. En el día 1 los pimientos tratados con cloro y ozono con ambos tiempos de aplicación reportaron valores muy similares en un rango de 8.27 a 8.3 °Brix. En los días posteriores de almacenamiento la cantidad de SST disminuyó en los sometidos con ozono con ambos tiempos de aplicación, ya que al final del almacenamiento se perdió un 17.2 % y un 6 % para el ozono 3 minutos y 6 minutos respectivamente. En cuanto a los pimientos desinfectados con cloro reportaron un incremento del 3 % de los °Brix a partir del día 6 y hasta el final el valor fue similar al día 1.

Estadísticamente se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el contenido de los sólidos solubles de los pimientos desinfectados con cloro y ozono por 3 y 6 minutos durante los 12 días de almacenamiento. Sin embargo la muestra control no presentó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al cloro los días 1 y 6. En tanto que si hubo una diferencia significativa con respecto al tiempo de ozonificación de 3 y 6 minutos en los pimientos tratados con ozono.

Así mismo los colores del pimiento morrón amarillo y verde no mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la cantidad de SST en relación a los desinfectantes. Sin embargo



los pimientos de color rojo en el día 3 de almacenamiento presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) únicamente.

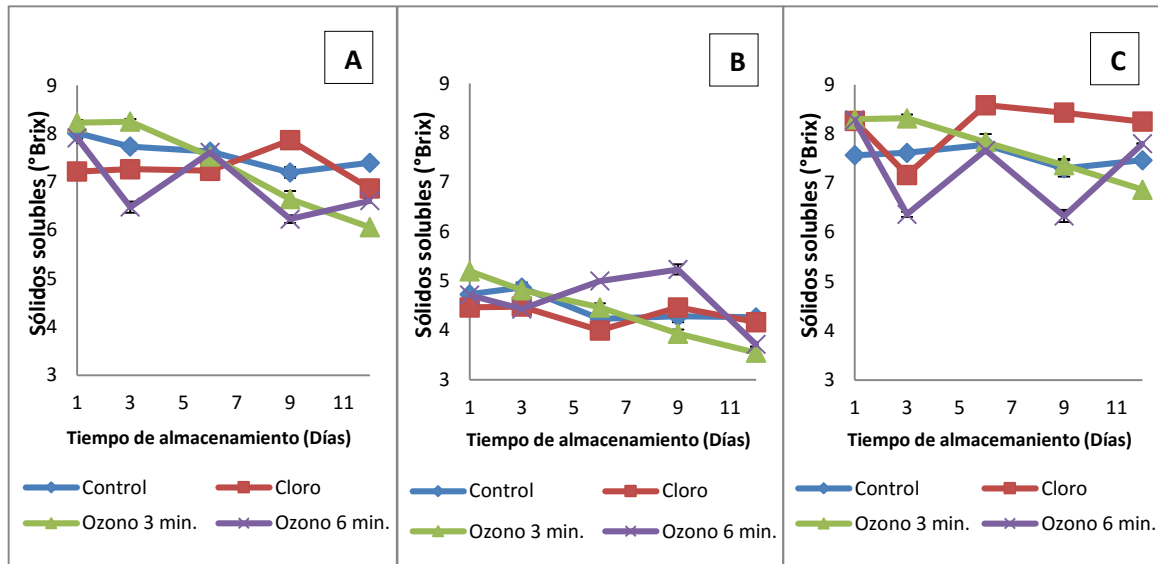


Figura 35. Sólidos solubles totales (SST) en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5 °C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

El contenido de SST en el pimiento de color amarillo y rojo presentados en este proyecto se encontraron por arriba de lo obtenido por Arce (2013), que reportó valores en pimiento morrón de color amarillo, verde y rojo sin procesar de 5.56, 5.05 y 7.77 °Brix respectivamente. Mientras que el pimiento morrón verde mínimamente procesado y desinfectado mostró valores menores a los reportados por dicho autor.

Así mismo Lima *et al.* (2013) realizaron estudios en brócoli desinfectado con cloro y ozono, almacenado durante 7 días, encontrando que la cantidad de SST no presentó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre los desinfectantes. Sin embargo al inicio del almacenamiento disminuyó la cantidad de SST y a partir del día 4 comenzó a incrementarse. Atribuyendo estas variaciones a los cambios biosintéticos que aumentan con el tiempo después de la cosecha produciendo una degradación de los polisacáridos de la pared celular y al efecto germicida de los desinfectantes que podrían afectar el contenido de los SST, debido a su potencial de oxidación, que daña las células de la planta contribuyendo al cambio de sustancias citoplásmicas.

Alvares *et al.* (2012) no encontraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el valor de SST de 4.0 y 4.5 en la muestra control y en pimientos de color verde desinfectados con ozono, sin





---

embargo los valores reportados en éste trabajo en pimientos verdes desinfectado con ozono son mayores.

Por otra parte el daño físico provocado por las operaciones de corte y pelado tienden a generar la oxidación de lípidos y proteínas presente en la membrana celular de los tejidos vegetales incrementando la permeabilidad de la membrana celular que induce la deshidratación del fruto y en consecuencia aumenta la concentración de azúcares (Aguayo-Giménez, 2003). Esto concuerda con el trabajo realizado por Sepúlveda *et al.* (2000), que indican un incremento en los sólidos solubles para arilos de granada mínimamente procesada y empacados en atmósferas modificadas; en donde interpretaron el incremento de SST como el resultado de un proceso de deshidratación.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que el ozono con un tiempo de 6 minutos es el mejor desinfectante, ya que mantuvo valores bajos de SST lo que se traduce en un efecto positivo en la vida de anaquel al incrementarla y reducir el metabolismo respiratorio del pimiento morrón.

## **5.2.2. Parámetros nutricionales en pimiento morrón mínimamente procesado bajo diferentes tratamientos de desinfección**

### **5.2.2.1. Carotenoides**

Los carotenoides son pigmentos presentes en la naturaleza que se encuentra en diversas estructuras de plantas y en gran variedad de animales, hongos, y bacterias (Ruiz, 2011) (Ruiz, 2011). Son responsables del color amarillo, naranja y rojo, no solo de las flores sino también de frutos y hortalizas tal es el caso del pimiento morrón. Los carotenoides se han considerado compuestos indispensables en la salud humana, ya que son esenciales para la nutrición, pues poseen una actividad provitamínica A, al actuar como antioxidante biológico que protegen estructuras celulares con el ADN y membranas celulares de los lípidos y proteínas del efecto dañino de los radicales libres (Ruiz, 2011).

En la Figura 36 se muestra el contenido en mg de carotenoides / 100 g de muestra, presentes en los 3 colores de pimiento (amarillo, verde y rojo) que fueron sometidos a diferentes tratamientos de desinfección (cloro, ozono 3 y 6 minutos).

Para los pimientos de color amarillo, Figura 36 (A) se observa que la muestra control en el día 6 posee 42 % más de carotenoides y en el día 12 un 52 % con respecto al día 1, mientras que los pimientos tratados con cloro en el día 6 reportaron un 30 % más de carotenoides que la muestra control, sin embargo en el día 12 su contenido de carotenoides disminuyó



---

44 % en relación a los pimientos control. Los frutos sometidos en ozono 3 minutos mostraron la mejor tendencia de todos los desinfectantes aplicados al pimiento, siendo el día 6 y 12 en donde el contenido de carotenoides se triplico con respecto al día 1 con 146.7 mg / 100 g. Los pimientos sometidos en cloro en el día 6 y 9 duplicaron el valor inicial de los carotenoides y en el último día disminuyó un 10 % su valor. Los pimientos tratados con ozono 6 minutos tuvieron una tendencia ascendente, siendo el día 9 en donde se obtuvo el mayor contenido de este atributo con 319.91 mg / 100 g para finalizar con una pérdida del 31 % con respecto al día 9.

Los pimientos de color verde Figura 36 (B) mostraron una tendencia muy similar entre tratamientos ya que los valores reportados se encuentran dentro de un rango entre 100 y 300 mg de carotenoides / 100 g de muestra. En los fruto control en el día 3 se triplico el contenido de carotenoides, en el día 6 se duplico y en el día 12 el valor fue 6 veces el valor inicial. En cuanto a los tratados con cloro su tendencia fue constante excepto los días 6 en donde el contenido de carotenoides se redujo 26 % y en el día 12 se incrementó 48 %.

Los pimientos tratados con ozono 3 minutos tuvieron una tendencia constante, sin embargo los día 3 y 12 son los que menor cantidad de carotenoides reportaron con un pérdida del 23 % y 15 %; los desinfectados con ozono 6 minutos exhibieron la tendencia más baja en comparación con el control y los demás tratamientos. En promedio su contenido de carotenoides osciló entre 79 - 136 mg / 100 g, aun cuando en el día 6 manifestó el mayor contenido de carotenoides de 284.57 mg / 100 g comparado con los demás tratamientos para ese día.

Finalmente los pimientos de color rojo sometidos a diferentes tratamientos se reflejan en la Figura 36 (C) reportando los valores más altos en comparación con los pimientos de color amarillo y verde. Los pimientos control generaron una tendencia ascendente alcanzando su pico más alto el día 6, ya que su contenido fue cinco veces el valor inicial. Por otra parte los desinfectados con cloro y ozono con un tiempo de 3 minutos expusieron los valores más altos comparados con el control. Los frutos inmersos en cloro en el día 1 mostraron un valor de 543.91 mg / 100 g y finalizaron con un incremento del 50 %. Con respecto a los sometidos en ozono 3 y 6 minutos para el día 1 el contenido de carotenoides fué muy similar, los primeros con un valor de 179.17 mg y los segundos con 151.53 mg / 100 g, valores semejantes a los control. A partir del día 3 los valores difirieron ya que los pimientos tratados con ozono 3 minutos incrementaron 99 % el contenido de carotenoides y los de ozono 6 minutos 64 %. No obstante el día 6 el valor de los pimientos desinfectados con ozono 3 minutos se duplico y el ozono 6 el contenido de carotenoides fue 4 veces el valor



inicial. A partir del día 9 los sometidos en ozono 3 minutos ampliaron sus valores finalizando con un valor de 1168.04 mg / 100 g y los inmersos en ozono 6 minutos con 963.54 mg / 100 g. Siendo los desinfectados con ozono 3 y 6 minutos los tratamientos que mayor cantidad de carotenos mantuvieron durante los 12 días de almacenamiento.

Estadísticamente se presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la cantidad de carotenoides de los diferentes desinfectantes cloro y ozono 3 y 6 minutos, con respecto al control, durante los días de almacenamiento. Así mismo los pimientos desinfectados con ozono 3 minutos fueron diferentes de los ozonificados 6 minutos. En cuanto al color de los pimientos (amarillo, verde y rojo) no se presentó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en los carotenoides presentes en los diferentes tratamientos.

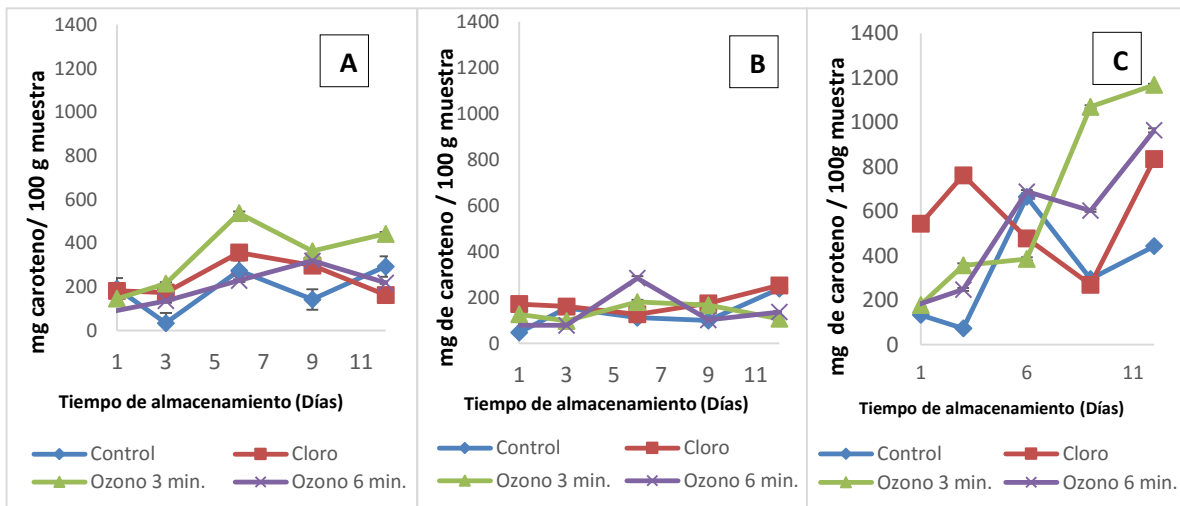


Figura 36. Cuantificación de carotenos en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Cabe destacar que de los tratamientos que se aplicaron al pimiento morrón, el cloro fué el desinfectante que mayor pérdida de carotenoides tuvo en los tres colores de pimiento, generando una pérdida del valor nutritivo, así como la decoloración y por tanto la pérdida de las características organolépticas de dicha hortaliza.

Los carotenoides son los pigmentos responsables de la mayoría de los colores amarillos, naranjas y rojos del pimiento morrón. Están presentes en todos los tejidos fotosintéticos, junto con las clorofilas. La estructura básica de los carotenoides es un tetraterpeno de 40 carbonos, lineal, compuesto por un sistema extenso de dobles enlaces conjugados, el cual consiste en alternar enlaces carbono-carbono simple y doble. Siendo los dobles enlaces conjugados los responsables de la intensa coloración de los alimentos que contienen estos



pigmentos. Por ejemplo, el color amarillo y rojo del pimiento, se deben a la presencia principalmente de  $\beta$ -carotenos y capsantina (Rodríguez-Amaya, 1997).

Los carotenoides son pigmentos estables en su ambiente natural, pero muy inestables debido a que son compuestos altamente insaturados. En los alimentos la degradación de carotenoides se ve influenciada por diversos factores tales como: operación de proceso (pelado y cortado), reacciones de oxidación que repercuten en la estructura de los carotenoides, exposición a la luz y pH (Meléndez *et al.*, 2007).

Las operaciones de proceso tales como pelado o cortado producen una degradación de los carotenoides, debido al daño de la integridad celular que produce la pérdida de compartimentación celular y pone en contacto sustancias que pueden modificar estructuralmente, e incluso destruir los pigmentos lo que conlleva a un proceso de oxidación (Meléndez *et al.*, 2004).

Una de las principales causas de la inestabilidad de los carotenoides como ya se ha mencionado es la susceptibilidad a la oxidación debida también al efecto de los desinfectantes. La acción desinfectante del cloro se basa en su poder oxidante; por un lado actúa como bactericida, fungicida y por otro lado es capaz de oxidar compuestos presentes en el alimento. El cloro en presencia del agua, reacciona para dar ácido hipocloroso (HOCl), la forma con mayor potencial de óxido reducción y más activa como desinfectante, sin embargo inducen daños en las membranas celulares, proteínas y ácidos nucleicos de los alimentos, así como la inhibición o degradación de los pigmento ya existentes (Meléndez *et al.*, 2004; Piagentini, 1999).

Así mismo, el ozono influye en la estabilidad de los carotenoides. Estudios reportados por Meléndez *et al.* (2004), comprobaron el efecto que tiene el ozono a 30°C, sobre una serie de carotenoides, evidenciando que aproximadamente el 90% de los carotenos se perdía después de 7 horas de exposición al ozono. Lo que nos demuestra que los resultados reportados en este proyecto concuerdan con dicho autor.

El ozono como método de desinfección es muy viable debido a que la degradación de carotenoides es mínima en comparación con el cloro. Pues estudios reportados por Pilon *et al.* (2006), evaluaron el contenido de carotenoides presente en zanahoria y pimiento morrón mínimamente procesado, utilizando como agente desinfectante cloro a una concentración de 200 ppm· demostrando que el contenido de carotenoides decreció continuamente durante los 21 días de almacenamiento, por lo que la pérdida de carotenoides fué de 23.5 % en zanahoria y de 38.5 % para el pimiento morrón.



---

De acuerdo a lo anterior se concluye que el ozono es una alternativa para ser usado como agente desinfectante, ya que mejora la estabilidad de los carotenoides y potencializa el contenido de compuestos nutricionales.

#### **5.2.2.2. Vitamina C**

La vitamina C es una vitamina hidrosoluble, también conocida como ácido ascórbico. Es un nutriente indispensable en la dieta de los seres humanos, su función más difundida está relacionada con su poder antioxidante, que le permite desactivar una gran variedad de especies reactivas al oxígeno y nitrógeno en sistemas acuosos y de ser un factor preventivo de cáncer. Mientras que en los vegetales es parte del sistema de defensas contra el estrés fotooxidativo, entre otras funciones (Pighín y Rossi, 2010). El pimiento morrón es una de las hortalizas que tienen mayor contenido de vitamina C, sin embargo su contenido suele variar de acuerdo al color del pimiento y a los tratamientos a los que se somete.

En la Figura 37 (A) se muestra el efecto de los diferentes métodos de desinfección en el pimiento morrón de color amarillo. La muestra control mantuvo una tendencia decreciente, siendo el día 3 y 12 donde sostuvo un incremento de vitamina C, el primero con 92 % y el segundo con 32 %. En cuanto a los pimientos desinfectados con cloro, conservaron la misma tendencia durante los 12 días de almacenamiento con valores inferiores a 1 mg de ácido ascórbico. Los tratados con ozono 3 minutos mostraron un mayor contenido de vitamina C, ya que en el día 1 se incrementó en 70 % la vitamina C en comparación con los pimiento control, en los días posteriores disminuyó 36 % y en el día 12, 1 %. Los frutos desinfectados con ozono con un tiempo de 6 minutos sostuvieron una tendencia decreciente, únicamente en el día 1 presentó un incremento del 67 % mayor que los pimientos control y finalizó con una pérdida de 86 % de éste atributo.

En la Figura 37 (B) los frutos control durante los primeros 6 días de almacenamiento se encontraron en un rango de 32 mg de ác. ascórbico y en el día 12 tuvieron una pérdida del 18 %. Los pimientos desinfectados con cloro mantuvieron la misma tendencia durante los días 12 días de almacenamiento, con valores por debajo de 0.4 mg de ác. ascórbico. Con respecto a los sometidos con ozono 3 minutos en el día 1 su valor fue de 34.6 mg de ác. ascórbico muy similar al valor reportado por los pimientos control, en los siguientes días se mantuvieron en un rango de 24 mg de ác. ascórbico y finalizaron con una disminución del 96 %. Los pimientos desinfectados con ozono 6 minutos en el primer día reportaron 38 % del contenido de vitamina C por debajo de la muestra control, en tanto que en el día 9



aumentó 30 %, un valor muy similar a los pimientos control y en el último día el contenido de éste atributo disminuyó 20 %.

En la Figura 37 (C) los pimientos control mantuvieron una tendencia decreciente durante los 12 días de almacenamiento, ya que para el día 1 su valor fué de 66.5 mg y para el día 12 su contenido de carotenoides disminuyó 46 %. En cuanto a los inmersos en cloro su tendencia no mostró cambio alguno durante los días de almacenamiento, sin embargo sus valores reportados fueron menores a 0.5 mg de ác. ascórbico. Los frutos tratados con ozono 3 minutos durante los 3 primeros días mostraron en promedio 20 % más del contenido de vitamina C y en el último día decreció 46 % comprado con los pimiento control, no obstante fue el tratamiento que mayor cantidad de este atributo reporto durante los primeros 6 días. Por último los desinfectados con ozono 6 minutos durante los 6 días de almacenamiento se posicionaron en el segundo lugar en cuanto al contenido de vitamina C. Iniciando con un valor de 76.58 mg de ác. ascórbico y en el día 6 disminuyo 56 y 30 % en el día 12, aun así dichos valores se posicionaron por arriba del contenido de vitamina C de todos los tratamientos y la muestra control.

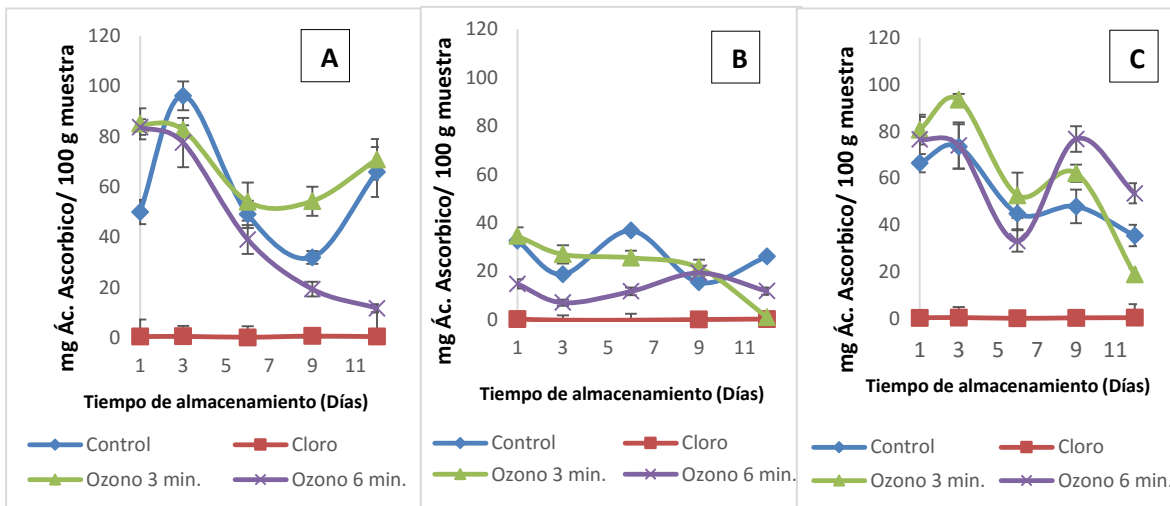


Figura 37. Cuantificación de vitamina C en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

En cuanto al análisis estadístico realizado, se presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de vitamina C de los pimientos tratados con cloro y ozono. En tanto que hubo una diferencia significativa entre los pimientos tratados con ozono con un tiempo de ozonificación de 3 y 6 minutos durante el almacenamiento. También hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) de este atributo en los colores de pimiento morrón con respecto a los



---

tratamientos, ya que los pimientos verdes fueron los únicos que no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) durante los 12 días.

La cantidad de vitamina C reportada por Arce (2013) en pimiento morrón amarillo, verde y rojo sin procesar es de 97.56, 36.70 y 177.6 mg / 100 g de fruto respectivamente. De acuerdo a estos valores, el contenido de vitamina C obtenido en la muestra control y en los pimientos desinfectados fue menor a lo reportada por dicho autor.

La diferencia observada en el contenido de vitamina C en los tres colores de pimiento morrón sometidos a diferentes tratamientos de desinfección se debe a diversos factores tales como: procesos de pelado y cortado, exposición al oxígeno, a la luz, a periodos largos de almacenamiento y al uso de desinfectantes. Todos estos factores suponen un impacto potencial en las propiedades antioxidantes de la vitamina C, que tiene múltiples efectos benéficos para la salud (Robles *et al.*, 2007).

El procesamiento mínimo (pelado y cortado) de los frutos puede afectar el contenido, composición, actividad y biodisponibilidad de la vitamina C, así mismo se incrementan la actividad metabólica y descompartmentalización de enzimas y sustratos, causando oscurecimiento, ablandamiento deterioro microbiológico y desarrollo de sabores y olores indeseables. Lo que puede reducir la vida media de 1-2 semanas a solo 1-3 días, aun cuando las temperaturas sean las óptimas. Todos estos cambios suponen un impacto en los compuesto fotoquímicos y en las propiedades antioxidantes beneficiosas para la salud que poseen los frutos (Robles *et al.*, 2007).

Los constituyentes antioxidantes como la vitamina C y otros compuestos bioactivos en los productos mínimamente procesados también son muy susceptibles a degradarse cuando se exponen a procesos de sanitización en donde se emplean compuestos como el hipoclorito que al combinarse con las proteínas de la membrana celular forman compuesto cloraminados que intervienen en el metabolismo celular favoreciendo en diferente medida la oxidación y el daño del tejido, dependiendo del cultivar y estado de madurez de la hortaliza o fruto (Aguayo-Giménez, 2003; Robles *et al.*, 2007).

En el caso de los pimientos desinfectados con cloro, los valores obtenidos de vitamina C no concuerdan con los valores reportados por Pilon *et al.* (2006) quienes obtuvieron un valor promedio de vitamina C en pimiento morrón de 129.46 mg / 100g y en zanahoria de 14.12 mg / 100 g desinfectados con cloro a una concentración de 100 ppm. La zanahoria mínimamente procesada no presentó diferencia durante los 21 días de almacenamiento, sin embargo el pimiento morrón presentó un ligero descenso de este parámetro durante el almacenamiento.



---

Así mismo Gómez *et al.* (2013) determinaron que las hojas de espinaca baby lavadas con hipoclorito de sodio mostraron los niveles más bajos de vitamina C durante el almacenamiento.

Con respecto al ozono Martínez *et al.* (2006) afirma que el contenido de vitamina C en hojas de rúcula desinfectadas con ozono disminuyó su contenido durante los 8 días de almacenamiento. Por el contrario Beltrán *et al.* (2005) no reportó ninguna diferencia en el contenido de vitamina C en lechuga lavada con ozono y cloro.

Por lo que se concluye que el pimiento morrón es más susceptible que otros vegetales a la pérdida de vitamina C durante la desinfección. Además de que los valores inferiores mostrados por el control y los tratamientos podrían también estar asociado con un efecto de dilución de dicho parámetro debido a la pérdida de peso de esta hortaliza (Gómez *et al.*, 2013).

De acuerdo a lo anterior el ozono con un tiempo de 3 y 6 es el desinfectante más viable, ya que mantuvo un porcentaje más alto de vitamina C durante los 12 días de almacenamiento.

#### **5.2.2.3. Pérdida de peso**

La pérdida de peso es la principal causa del deterioro de vegetales mínimamente procesados dado que afecta la apariencia general del producto. Esto se atribuye a la pérdida de agua y daños provocados en el fruto u hortaliza durante las etapas de procesamiento mínimo, en donde se producen cambios físicos, fisiológicos, bioquímicos y ataques por microorganismos que aceleran la pérdida de calidad del producto durante su almacenamiento (Avalos *et al.*, 2012; Caro y García, 2012).

La medición de este atributo no se hizo para cada color de pimiento morrón por separado debido a que la presentación comercial incluye los tres colores de pimiento morrón en una tarrina, dado que visualmente es más atractiva dicha presentación para los posibles consumidores. Por lo tanto la evaluación del porcentaje de pérdida de peso se debe hacer de esta manera para asemejar las condiciones en las que sería comercializado.

En la Figura 38 se presenta el porcentaje de la pérdida de peso que experimentaron los pimientos morrón de color amarillo, verde y rojo durante el almacenamiento debido a la aplicación de diferentes desinfectantes.

La pérdida de peso del pimiento morrón se expresó en porcentaje de pérdidas acumuladas con respecto a su peso inicial. Observándose que los pimientos control y los desinfectados con cloro exhibieron una pérdida de peso del 2 %, mientras que los tratados con ozono 6





minutos tuvieron una pérdida de peso del 2.05 %. En tanto que el pimiento morrón desinfectado con ozono con un tiempo de 3 minutos presentó una pérdida de peso del 1.77 %, siendo este el de menor pérdida de peso.

Estadísticamente la pérdida de peso generada en los diferentes tratamientos no presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control durante los 12 días de almacenamiento.

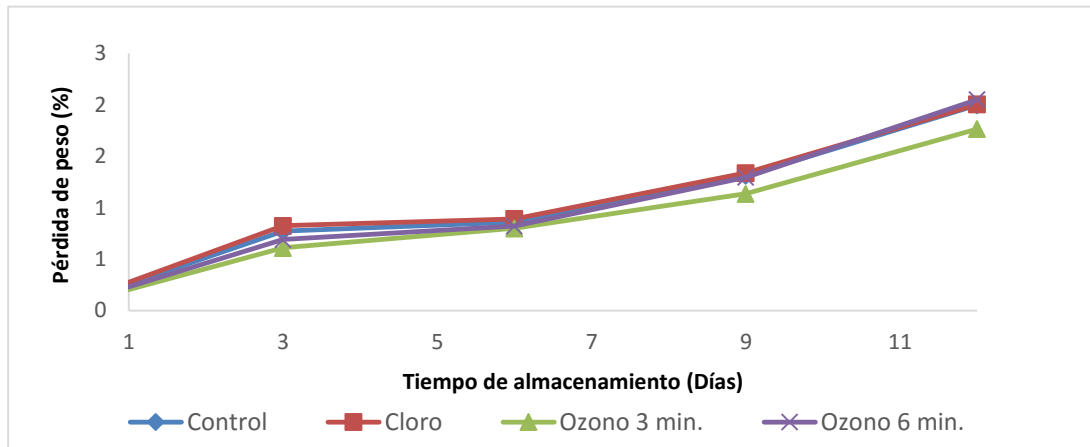


Figura 38. Pérdida de peso en pimiento morrón con diferentes tratamientos de desinfección almacenados a 5°C durante 12 días. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

La pérdida de peso es resultado de la deshidratación del producto, ya que el proceso de pelado y cortado de la fruta, expone al tejido al medio ambiente y acelerando la velocidad de evaporación del agua, así como la contaminación del producto por microorganismo que pueden ser patógenos o no, dando como resultado una pérdida de textura en el alimento y desarrollo de malos olores, causando daños al tejido, lo que a su vez contribuye a una mayor pérdida de la apariencia general (Rivera *et al.*, 2005).

Muchos de los tratamientos y condiciones de almacenamiento aplicados a las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, están diseñadas para aminorar los efectos iniciales de las respuestas de los tejidos vegetales al corte. Diversos aditivos se aplican para reducir el deterioro en las frutas y hortalizas, esto incluye a los desinfectantes, que tienen como objetivo la disminución de la carga microbiana con el fin de proporcionar un alimento seguro al consumidor y preservar la calidad del producto, sin embargo los desinfectantes con el hipoclorito de sodio se combinan con las proteínas de la membrana celular formando compuestos cloroaminados que interviene en el metabolismo celular de éstas, oxidando así la membrana celular, ocasionando un incremento de la permeabilidad de la membrana e



---

incrementando la evaporación del agua contenida (Aguayo-Giménez, 2003; Pérez y López, 2011; Villegas, 2005).

De acuerdo con Osuna *et al.* (2011), una pérdida de peso superior a 5 % puede ser suficiente para disminuir la calidad en diferentes frutos. En dicho estudio se observó que con 5 % de pérdida de peso, las pitahayas presentaron marchitez ligera y muerte de tejido en el borde de las brácteas, lo cual ocurrió después de 7 días de almacenamiento, mientras que en los estados de madurez medio y completo ocurrió a los 10 y 11 días, respectivamente.

Así mismo Avalos *et al.* (2012) Informo una disminución continua de la calidad de los pimientos cortados en tiras, empacados y almacenados en un rango de temperatura de 5 y 10°C, debido fundamentalmente a la pérdida de agua, generando así una pérdida de firmeza de los tejidos del fruto.

De acuerdo a lo anterior se concluye que las pérdidas de peso generadas en el pimiento morrón desinfectado se encontraron por debajo del 5 % sin embargo su calidad y aspecto visual se vio afectado los últimos días de almacenamiento, siendo el tratamiento con ozono 3 minutos el que presentó mejores resultados seguido del ozono con un tiempo de 6 minutos.

### **5.2.3. Parámetros microbiológicos en pimiento morrón desinfectado por diversos tratamientos**

Las frutas y hortalizas de la IV gama contienen los nutrientes necesarios para el rápido crecimiento de bacterias, hongos y levaduras. La alta concentración de acidez que algunos productos frescos contienen, no afecta la sobrevivencia de los microorganismos, lo que hace que las frutas y hortalizas se deterioren más rápido. Por lo que en la elección de los tratamientos de desinfección adecuados es necesario entender los cambios fisiológicos y microbiológicos que pueden ocurrir durante y después de su manipulación, transformación y almacenamiento, ya que estos pueden reducir la calidad del producto o incluso poner en riesgo la seguridad del mismo (Castro del Campo *et al.*, 2004; Pérez y López, 2011).

Los desinfectantes son productos químicos que son utilizados para reducir la población microbiana de las superficies del producto entero o cortado con el fin de preservar la vida útil de este y ofrecer un producto inocuo al consumidor (Pérez y López, 2011).

Por lo anteriormente descrito, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia de algunos desinfectantes como el cloro y el ozono en la reducción de la carga microbiana del pimiento morrón a través de un análisis microbiológico evaluando la cantidad de UFC de



coliformes totales, mesófilos totales y mohos y levaduras durante un tiempo de almacenamiento de 12 días.

### 5.2.3.1. Recuento total de coliformes

En la Figura 39 se representa la efectividad de los desinfectantes sobre las bacterias coliformes en función del tiempo de almacenamiento. Al inicio del almacenamiento los pimiento control contenía una carga microbiana de 3.48 log ufc/g, en el día 6 disminuyó 1.2 log ufc/g. Mientras que los pimientos después de ser desinfectados con cloro, ozono 3 y 6 minutos redujeron su carga microbiana, presentando valores de 2.7, 2.89 y 2.28 log ufc/g respectivamente, siendo los desinfectados con ozono con un tiempo de 6 minutos los que menor unidades formadoras de colonias viables registraron.

En el día 6 la cantidad de bacterias coliformes se redujo en los pimientos tratados con ozono con un tiempo de ozonificación de 3 y 6 minutos únicamente 0.56 y 0.33 log ufc/g respectivamente. En cuanto a los tratados con cloro estos incrementaron la cantidad de bacterias coliformes 0.67 log ufc/g. Para el día 12 de almacenamiento el conteo de bacterias coliformes viables se redujo a 0 en la muestra control y en los desinfectados.

Estadísticamente durante los 12 días de almacenamiento el porcentaje de bacterias coliformes presente en el control y los desinfectantes cloro y ozono con un tiempo de 3 minutos mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), mientras que el ozono con un tiempo de 6 minutos presentó únicamente diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) el día 12.

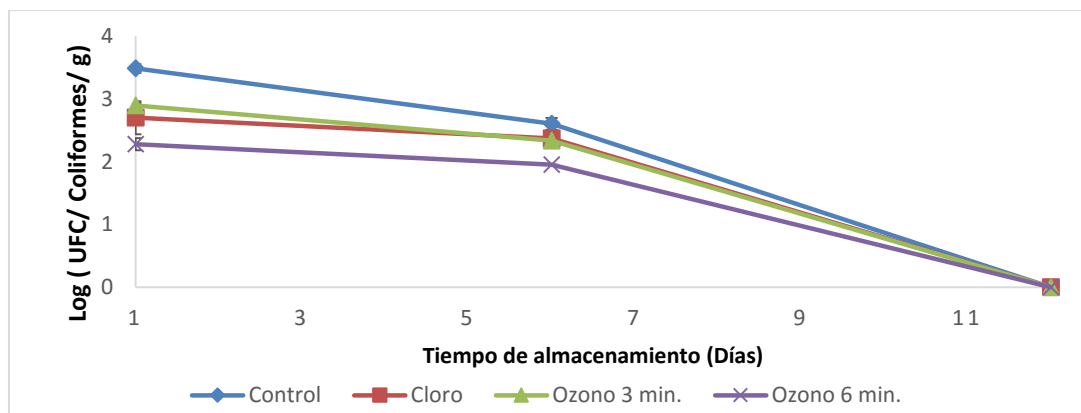


Figura 39. Efecto de diferentes desinfectantes en el conteo de células viables de coliformes presentes en el pimiento morrón mínimamente procesado almacenado a 5 °C durante 12 días. Barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

La cantidad de bacterias coliformes en los pimiento control y en los desinfectados durante los primeros 6 días de almacenamiento se encontraron por arriba del límite de tolerancia (2



---

log ufc/ g) permitido por la legislación europea para productos mínimamente procesados (BOE, 2001), a pesar de contar con las condiciones adecuadas de higiene en el procesamiento del pimiento morrón.

Sin embargo la alta carga microbiana presentada al inicio del almacenamiento es probablemente una de las causas por las cuales la efectividad de los desinfectantes se vio reducida. Investigaciones realizadas por Bataller *et al.* (2010) destacan que la efectividad del desinfectante depende de la concentración inicial de microorganismos y de la ubicación de estos en el producto. Ya que se puede observar que los tratamientos de desinfección lograron disminuir menos de 1 log ufc coliformes/g.

Estos resultados concuerdan con Yeoh *et al.* (2014) quienes experimentaron en papaya la cual contenían una carga microbiana de coliformes de 1.81 log<sub>10</sub> ufc/g después de ser desinfectados con ozono se logró una reducción de 0.39 a 1.12 log<sub>10</sub> ufc/g.

Aguayo *et al.* (2007) redujeron 1.47 Log ufc/g de *E. coli* al lavar lechuga con una carga inicial de 7.8 log ufc/g en agua ozonizada durante 5 minutos. Aunque estudios ejecutados por Aguayo *et al.* (2005) indican que el O<sub>3</sub> tiene un poder antioxidante 1.5 veces mayor que el cloro y su poder desinfectante actúa oxidando los componentes celulares hasta modificar la permeabilidad de las células, no afecta su viabilidad ya que esta disminuye progresivamente, además Aguayo *et al.* (2005) indica que la presencia de sustancias orgánicas compiten con los microorganismos, demandando mayor cantidad de ozono, reduciendo así la dosis del mismo y afectando su eficacia.

Como resultado en el día 12 de almacenamiento, los tratamientos disminuyeron la carga microbiana en un rango de 2.2 a 3.5 log ufc/g, concordando con Bataller *et al.* (2010) quien inoculó manzanas enteras con *E. coli* logrando una reducción de 2.6 y 3.7 log ufc/g empleando respectivamente el método de burbujeo y el de inmersión en ozono. Así mismo López *et al.* (2009) lograron una reducción de 1.2 log cfu/g en lechuga iceberg utilizando cloro como desinfectante.

Lo que demuestra que la eficacia de los desinfectantes puede ser mayor siempre y cuando la carga microbiana inicial sea menor. Por otra parte se observó que la efectividad de desinfección de los tratamientos depende también de la influencia del agente, concentración, tiempo de exposición, de la superficie y tipo de producto (Bermúdez y Barbosa, 2013). Ya que se puede observar que los pimientos desinfectados con ozono con un tiempo de 6 minutos tuvieron una mayor efectividad en la inhibición de bacterias coliformes que el ozono con un tiempo de 3 minutos.



---

Autores como Alexopoulos *et al.*, (2013) realizaron un análisis microbiológico para determinar la eficacia del cloro y el ozono como métodos de desinfección en lechuga y pimiento morrón verde. Observándose que la desinfección con ozono redujo la cantidad de bacterias coliformes 3.04 y 3.27 log en lechuga y pimiento morrón verde respectivamente en contraste con el cloro en donde se redujo 2.03 y 2.64 log, debido principalmente a que el ozono es el responsable de la oxidación de los lípidos de las células, actúa sobre los lípidos insaturados de la membrana celular, y en la capa de los polisacáridos de las bacterias gram negativas, enzimas y material genético, promoviendo la muerte de los microorganismos más rápidamente que el cloro (Bermúdez y Barbosa, 2013).

No obstante Sela y Fallik (2009) reportaron que la carga microbiana de coliformes en la superficie de manzana se redujo en un rango de 2.6 a 3.7 log ufc/g con un tiempo de 3 minutos de tratamiento con ozono. Esto se atribuye a la morfología del vegetal (superficie lisa y poco porosa de la manzana), por lo que el grado de desinfección fue mayor y en un menor tiempo. Por su parte Günther *et al.*, (2005) obtuvo una reducción promedio de 2 log ufc/g con una concentración de cloro de 200 ppm en zanahorias mínimamente procesadas. Sin embargo autores como Ramos *et al.* (2013) concluyen que la eficacia del cloro se encuentra en un rango de reducción de 1 a 3.15 log cfu/ g, dependiendo de la concentración del cloro, tiempo de contacto y del tipo de bacteria.

Se concluye que la reducción de las bacterias coliformes en este proyecto dependió del desinfectante y del tiempo de exposición así como de las condiciones del vegetal. Por lo que el ozono con un tiempo de 6 minutos y el cloro son una alternativa viable para la reducción de bacterias coliformes en la desinfección del pimiento morrón.

#### **5.2.3.2. Recuento total de mesófilos**

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas al no sufrir ningún tratamiento térmico de inactivación microbiana, presentan una microbiología modificada respecto a los productos enteros (Aguayo *et al.*, 2001).

En la Figura 40 se representan los resultados obtenidos al evaluar la calidad microbiológica del efecto de los desinfectantes en el pimiento morrón. El recuento inicial de bacterias mesófilas para los pimientos control fue de 4.87 log ufc/g, en los días posteriores se redujo 0.75 log ufc/g y finalizó con un valor de 5.69 log ufc/g. Los frutos tratados con cloro iniciaron con un valor de 3.05 log ufc/g, en los días siguientes mostraron variaciones mínimas y en el último día de almacenamiento incrementaron 1 log ufc/g. En el caso de los sometidos en ozono con un tiempo de inmersión de 3 minutos iniciaron con una carga microbiana baja de



2.95 log ufc/g y mantuvieron valores promedio de 4.8 log ufc/g hasta el final de los días de experimentación. Por último los frutos tratados con ozono 6 minutos durante los primeros 6 días mantuvo un valor de 3.07 log ufc/g y finalizó con un valor de 3.61 log ufc/g.

Estadísticamente las bacterias mesófilas de los frutos desinfectados con ozono 3 minutos y los frutos control presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) durante los 12 días de almacenamiento. Los frutos inmersos en cloro y ozono con un tiempo de 6 minutos no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) durante los 12 días de almacenamiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el recuento de bacterias mesófilas totales en el control y los pimientos tratados se encontraron dentro de los límites determinados por la legislación europea que establece un límite máximo de 6 log ufc/g el día de fabricación y 7 log ufc/g el día de caducidad (BOE, 2001). Lo que indicó que el procesamiento del pimiento morrón se realizó siguiendo las BPM establecidas.

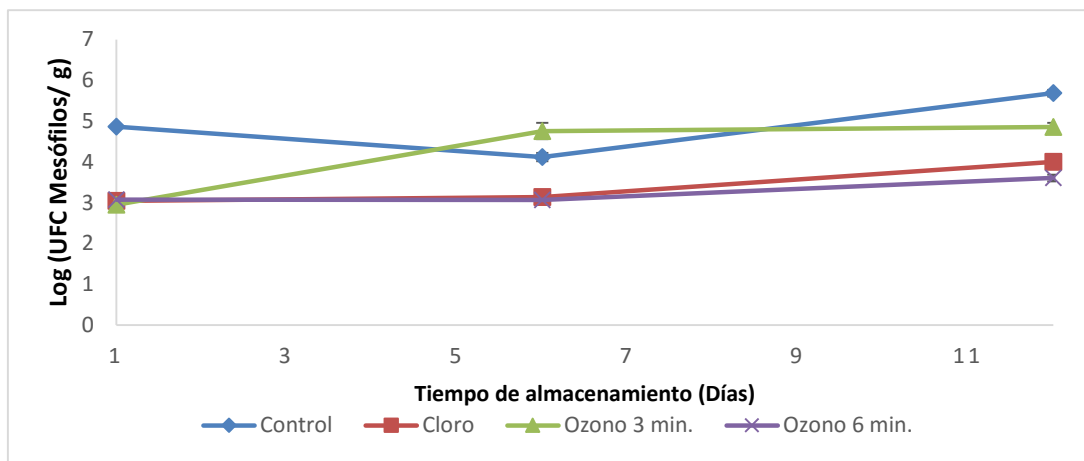


Figura 40. Efecto de diferentes desinfectantes en el conteo de células de bacterias mesófilas presentes en el pimiento morrón mínimamente procesado almacenado a 5 °C durante 12 días. Barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

En cuanto a la eficacia de los desinfectantes, cloro y ozono con un tiempo de 6 minutos a pesar de no presentar diferencia significativa, mantuvieron una reducción de bacterias mesófilas en un rango de 1 a 2 log ufc/g durante el almacenamiento. Lo que concuerda con López *et al.* (2009) quienes reportaron una reducción de mesófilos totales de 1.23 y 1.7 log ufc/g en lechuga iceberg desinfectada con cloro a una concentración de 100 ppm.

Klaiber *et al.* (2005) encontraron una reducción de mesófilos en zanahorias de alrededor de 1.7 log tratadas con una concentración de cloro de 200 ppm. Mientras que Aguayo *et al.* (2007) encontró reducciones microbianas de 1.2 log en la flora de mesófilos en melón



---

amarillo desinfectado con ozono. Así mismo en tomate “Thomas” y conservado 10 días a 5 °C, se logró una reducción de 1.9 log en el recuento de mesófilos y 1.69 log ufc/g en apio.

Por otra parte Alexopoulos *et al.* (2013) reportaron que los pimientos rojos recién cortados y tratados con ozono con un tiempo de 1, 2 y 3 minutos, se redujo el recuento de mesófilos aerobios mientras que el agua clorada (200 ppm) utilizada en paralelo no fue igualmente efectiva, debido a la acción desinfectante superior del ozono en comparación con otros métodos de desinfección.

Los datos con respecto a los efectos antimicrobianos de O<sub>3</sub> en los diferentes tipos de microorganismos mostró que las bacterias aeróbicas fueron más sensibles al tratamiento O<sub>3</sub> que los coliformes, levaduras y mohos (Renumarn *et al.*, 2014). Dado que el ozono actúa a través de la oxidación y destrucción de la pared celular y membranas citoplasmáticas y finalmente sobre el material genético, de esta manera las bacterias serán incapaces de desarrollar resistencia al ozono. Otra ventaja es que el ozono eleva la capacidad de difusión a través de la membrana celular. Por lo tanto la eficacia de los desinfectantes se rige por las inherente sensibilidad de las diferencias en la estructura de varios microorganismos (Alexopoulos *et al.*, 2013).

De acuerdo con lo anterior los dos métodos de desinfección que mejores resultados mostraron fueron el ozono con un tiempo de 6 minutos y el cloro. No obstante el cloro representa un riesgo a la salud debido a la generación de compuestos cancerígenos denominados cloroamidas (Aguayo *et al.*, 2001). Por lo que el O<sub>3</sub> es un tratamiento alternativo para ser utilizado como desinfectante en la reducción de la carga microbiana del pimiento morrón dado su eficacia y alto poder oxidante en los microorganismos así como su rápida descomposición en O<sub>2</sub> sin dejar residuos en los alimentos (Aguayo *et al.*, 2005).

#### **5.2.3.3. Recuento total de Mohos y Levaduras**

Los hongos y las levaduras se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente y pueden encontrarse como flora normal de un alimento, sin embargo también pueden ser causantes de la descomposición de los alimentos cuando se encuentran en cantidades mayores. Debido a su crecimiento lento y a su baja competitividad, los hongos y levaduras se manifiestan en los alimentos donde el crecimiento bacteriano es menos favorable (Camacho *et al.*, 2009).

En la Figura 41 se evaluó la eficacia de los desinfectantes cloro y ozono en mohos y levaduras. Cabe mencionar que durante el almacenamiento no se detectó presencia de



mohos únicamente de levaduras en el pimiento morrón. La muestra control inicio con 4.85 log ufc/g en los días posteriores se generaron mínimas variaciones hasta el día final del almacenamiento en donde aumentó el contenido de levaduras reportando un valor de 5.78 log ufc/g. Con respecto a los pimientos desinfectados con cloro durante los 6 días de almacenamiento mantuvieron un valor promedio de 3.19 log ufc/g y en el último día reportaron un incremento de 2 log finalizando con un valor de 5.2 log ufc/g. Los frutos tratados con un tiempo de 3 minutos tuvieron un comportamiento decreciente, ya que iniciaron con 3.19 log ufc/g, en el día 6 incrementaron 2 log ufc/g y en el día 12 finalizaron con un valor de 4.6 log ufc/g, por lo que en el día 6 se generó el mayor incremento de levaduras. Mientras que los pimientos inmersos en ozono con un tiempo de 6 minutos mantuvieron un valor promedio de 3 log ufc/g durante los 6 primeros días y en los días posteriores hasta el día final incrementaron su carga microbiana 1.18 log ufc/g.

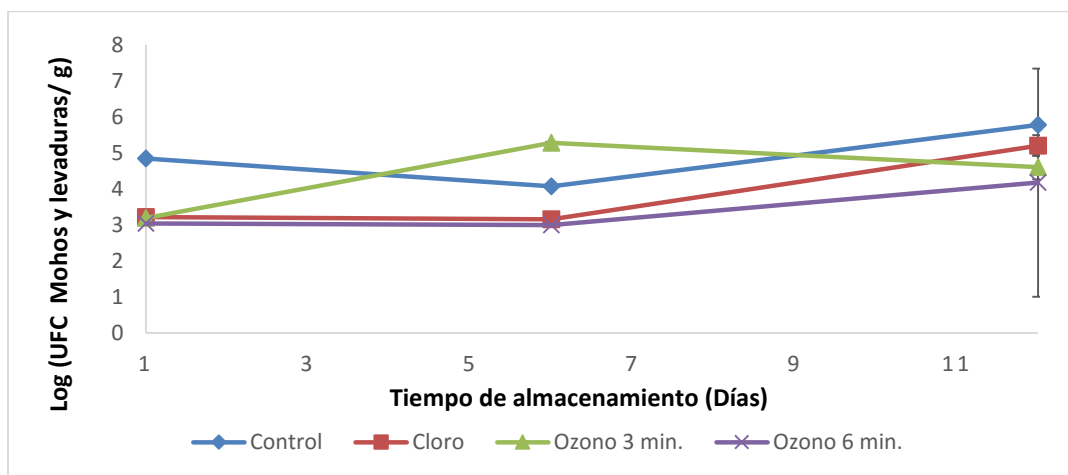


Figura 41. Efecto de diferentes desinfectantes en el conteo de células de mohos y levaduras presentes en el pimiento morrón mínimamente procesado almacenado a 5 °C durante 12 días. Barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar

De acuerdo al análisis estadístico hubo una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en las levaduras presentes en las muestras control con respecto a los pimientos desinfectados con cloro y ozono. A su vez este último presentó diferencia con respecto al tiempo de ozonificación.

Los frutos desinfectados con ozono con un tiempo de 6 minutos no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) durante el almacenamiento. El control y el desinfectante con cloro en el día 12 presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) al igual que el ozono con un tiempo de 3 minutos en el día 6.





---

De acuerdo a los resultados en esta investigación el ozono ha sido un desinfectante muy eficaz en la reducción de levaduras y mohos, sin embargo el tiempo de exposición es un factor importante a considerar debido a que los mejores resultados se obtuvieron con el ozono con un tiempo de 6 minutos. Renumarn *et al.*, (2014) redujeron en promedio 1.71 y 2.61 log ufc/g en brócoli desinfectado con ozono con un tiempo de 5 minutos a una concentración de 0.56 ppm y con un tiempo de 3 minutos con una concentración de 1.60 ppm respectivamente. Selma *et al.* (2008) realizaron estudios en escarola, zanahoria y espinacas, encontrando que después de 20 minutos de tratamiento con ozono, la reducción de los mohos y levaduras osciló entre 2 y 3 log respectivamente.

Por otra parte Aguayo *et al.* (2007) obtuvieron con lavados ozonizados en melón amarillo una reducción de 0.4 y 1.5 log ufc/g de levaduras y mohos respectivamente. Así mismo en tomate "Thomas" procesado se redujo la carga microbiana 0.7 log ufc/ g en levaduras.

A pesar de que el  $O_3$  puede reducir significativamente la flora microbiana en la superficie de los alimentos, debido a que su descomposición en la fase acuosa del alimento es rápida y su acción antimicrobiana tiene lugar principalmente en la superficie (Aguayo *et al.*, 2005). No obstante las bacterias en general son más propensas a la acción del ozono que los mohos y las levaduras. Esto se atribuye a que cada microorganismo tiene mayor o menor sensibilidad al ozono, lo que requiere un tiempo de exposición más largo y concentraciones mayores para su inactivación. Así mismo, la morfología de los vegetales (superficie porosa, cutícula cerosa) influye en la difusión y la eficiencia de saneamiento del ozono y de cualquier otro desinfectante (Alexopoulos *et al.*, 2013). También hay que recordar que las levaduras y los mohos son mucho más resistentes a condiciones ambientales estresantes; entre las que predominan baja actividad de agua, bajos valores de pH por el uso de ácidos orgánicos como preservantes químicos, bajos valores de temperatura y uso de antimicrobianos y otros inhibidores naturales y sintéticos (Orberá, 2004).

En cuanto a la actividad microbiana del cloro durante los 6 días de almacenamiento fue mayor, ya que posteriormente su carga microbiana aumento. Concordando así con López *et al.*, (2009) quien obtuvo una reducción de 1.2 log ufc/g de levaduras y mohos para el día 4 de almacenamiento, posteriormente la carga microbiana mostró un aumento gradual durante el almacenamiento, ya que después de 10 días se alcanzaron valores en un rango de 4.6 -5.5 log cfu/g, debido a la eficacia del cloro, al tipo de microorganismo y a la carga inicial de microorganismos que tenía la lechuga, además, la baja eficacia del cloro también se puede atribuir a la inactivación química del cloro por los residuos orgánicos que se encuentran en las frutas y verduras (Sela y Fallik, 2009).



---

Contrariamente a lo que se ha obtenido en ese trabajo, Alexopoulos *et al.* (2013) reportó que el contenido de levaduras y mohos después de 30 minutos de desinfección con ozono y cloro, no se observó una diferencia significativa obteniendo así un rango de 2.02 y 2.14 log para ambos sanitizantes.

Sin embargo la eficacia antimicrobiana del ozono también depende de factores asociados con su solubilidad, la estabilidad y la descomposición (Bezirtzoglou y Alexopoulos, 2008). En nuestro estudio el papel de tales parámetros no se examinó pero se sabe que el aumento de la temperatura podrían disminuir la solubilidad del ozono (Rice, 1999).

A pesar de que el crecimiento de levaduras se incrementó a partir del día 6 en el pimiento morrón desinfectado con cloro y ozono, el conteo microbiano en el ozono mantuvo valores por debajo del límite permisible de 5 log ufc/g de levaduras (Vázquez, 2013).

En consecuencia el mejor método de desinfección fue el ozono con un tiempo de 6 minutos ya que durante todo el almacenamiento mantuvo la menor cantidad de levaduras viables.

En la Tabla 16 se puede apreciar el comportamiento del pimiento morrón desinfectado con cloro y ozono con un tiempo de 3 y 6 minutos, almacenado durante 12 días a una temperatura de 5 ° C. Durante este periodo los pimientos mostraron cambios en sus parámetros de calidad, nutricionales y microbiológicos.

Sin embargo lo que se aprecia a simple vista en la Tabla 16 es la pérdida de firmeza, peso y liberaron de líquido producto de diversos factores tales como: el proceso, efecto del desinfectante y de la carga microbiana.

Dado los resultados en los parámetros de calidad, nutricionales y sobre todo microbiológicos en el pimiento morrón, se decidió utilizar como desinfectante el tratamiento con ozono con un tiempo de 6 minutos y un recubrimiento comestible a base de gretina al 3%, glicerol al 1%, Tween al 0.6% y adicionado como extracto natural de *Damiana* (*Turnera diffusa*) a una concentración de 4000 ppm previamente seleccionada.



Tabla 16. Seguimiento fotográfico del comportamiento de los pimientos desinfectados con cloro y ozono con un tiempo de 3 y 6 minutos

DÍA	CONTROL	CLORO	OZONO 3 MINUTOS	OZONO 6 MINUTOS
0				
3				
6				
9				
12				



---

### **5.3. Parámetros de calidad, microbiológicos y sensoriales en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto**

#### **5.3.1. Parámetros de calidad en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto**

##### **5.3.1.1. Color**

El color en los alimentos es el principal atributo visual que un consumidor considera al tomar una decisión de compra, ya que la apariencia de éste da una percepción de “frescura” y por ende de calidad. En el caso del pimiento morrón se puede encontrar una gran variedad de colores sin embargo los que más se comercializan son los de color verde, rojo, amarillo y naranja debido a su atractivo color. Los cuales están compuestos principalmente por pigmentos como la clorofila,  $\beta$  caroteno, luteína y capsanteno. Dichos carotenoides son compuestos muy susceptibles a la degradación por lo que cuando se exponen a diferentes procesos térmicos, a tratamientos de desinfección o debido al proceso mismo de transformación, puede producirse una degradación del color (Arce, 2013).

El efecto del ozono como método de desinfección y el recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana sobre los colores del pimiento con un tiempo de almacenamiento de 12 días, se encuentran representados en las Figuras 42, 43 y 44.

- **Luminosidad**

El atributo de color  $L^*$  representa la luminosidad del color y va entre el blanco y el negro con valores que oscilan en rangos de 0 a 100,  $L=0$  negro y  $L=100$  blanco (Vásquez, 2013). En la Figura 47, el valor de  $L^*$  en la muestra control mostró una tendencia decreciente durante los 12 días de almacenamiento, sin embargo los pimientos tratados mostraron tendencia diferentes.

El comportamiento de la luminosidad en los pimiento de color amarillo se expone en la Figura 42 (A). En el día 1, la muestra control expuso un valor de 35.86, sin embargo en el día 12 disminuyó su luminosidad en un 42 %. Mientras que los pimientos tratados en el día 1 incrementaron su valor, los pimientos desinfectados y recubiertos (DR) un 5.54 %, los inoculados, desinfectados y recubiertos (IDR) un 8.75 %, en tanto que los inoculados y recubiertos (IR) un 9.25 % comparados con la muestra control. Los frutos DR en el día 6 mostraron un incremento de 11.83 % pero no mostró diferencia significativa con los controles y en el día 12 incrementaron su valor un 10%. Los frutos IDR sostuvieron el mismo



---

comportamiento el día 1 y 6 con valores de 39 y 40.34, en cuanto al día 12 disminuyeron su valor un 27.1%. Por último los pimientos que inoculados y recubiertos (IR) decreció su valor un 64% en el día 6 y en el día 12 aumentó un 33.87 %.

El valor de  $L^*$  de los pimientos de color verde se encuentra en el la Figura 42 (B).

En el día 1, los control reportaron un valor de 39.97, en este mismo rango se encontraron los que fueron desinfectados y recubiertos (DR), así como los pimientos infectados y recubiertos (IR), mientras que los frutos inoculados, desinfectados y recubiertos (IDR) incremento su luminosidad un 7.13 %. En los días 6 y 12 la muestra control disminuyó un 20 y un 62.5 % respectivamente. Este mismo comportamiento también se vio reflejado en el día 6 y 12 en los pimientos sometidos a desinfección y recubiertos que perdieron un 16 y 23 % respectivamente. En cuanto a los frutos IDR, disminuyeron un 9.7 %, siendo este el único tratamiento que mostró menor pérdida de luminosidad y en el día 12 se perdió un 31.36%. Con respecto a los pimientos que se inocularon y recubrieron disminuyeron un 22.75% en el día 6, siendo el tratamiento que mayor pérdida de luminosidad tuvo en este día y en el día 12 únicamente aumentaron su valor 1.7 % más comparado con el primer día. En el último día de experimentación los pimientos que se recubrieron presentaron un incremento de esta y los pimientos control disminuyo drásticamente su luminosidad.

En la Figura 42 (C) se puede observar el comportamiento de la luminosidad en los pimientos de color rojo. Los pimientos a los que no se les aplicó ningún tratamiento reportaron un valor inicial de 35.44 y en los días posteriores disminuyeron un 18.2 % y en el último día un 56 %. En tanto que los frutos recubiertos se comportaron de la siguiente manera; los desinfectados y recubiertos incrementaron un 14.4 %, los inoculados, desinfectados, recubiertos decrecieron un 34 % y los que se inocularon y recubrieron incrementaron un 6.40 % comparados con los control. Lo frutos desinfectados y recubiertos incrementaron su luminosidad un 26 % siendo el tratamiento con el porcentaje más alto en el día 6 seguido de los inoculados, desinfectados y recubiertos que incrementó un 19 % y los infectados y recubiertos obtuvieron el valor más bajo, ya que disminuyeron un 44 %. En el último día de almacenamiento los pimientos recubiertos mostraron valores de luminosidad en un rango de 27.29 a 28.84 con lo cual sobrepasaron el valor de los control de 15.63.

Estadísticamente se generó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el porcentaje de luminosidad de los pimientos control y los que se recubrieron durante el almacenamiento. Sin embargo en el primer día los frutos inoculados, desinfectados y recubiertos únicamente mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en relación con los control y demás tratamientos



y en el día 12 todos los pimientos recubiertos mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control.

En cuanto al color de los pimientos hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la luminosidad de los de colores amarillo y verde recubiertos y los control durante el almacenamiento, mientras que los de color rojo no mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) durante los 12 días.

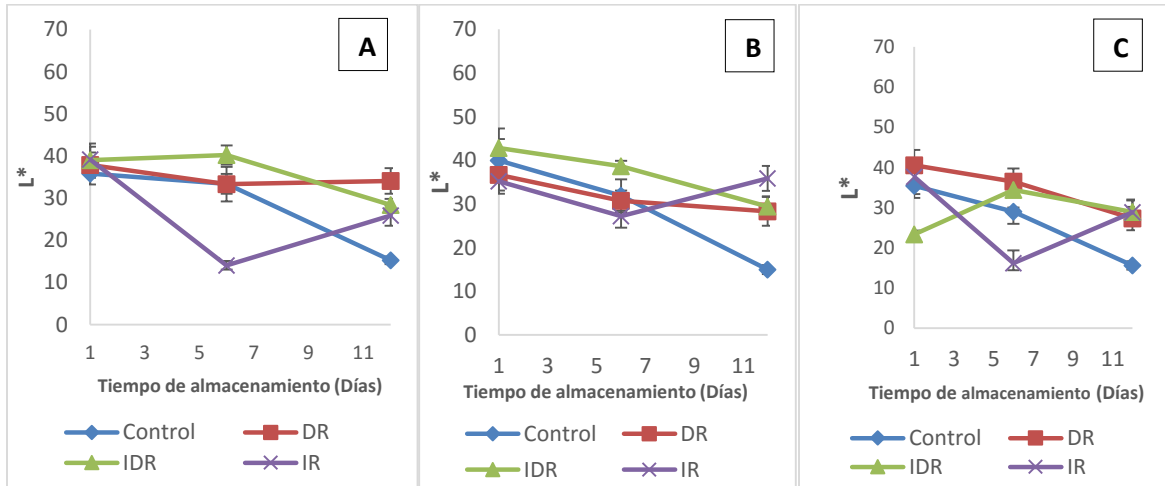


Figura 42. Determinación de Luminosidad en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Cabe destacar que los pimientos infectados, desinfectados y recubiertos (IDR) fueron los que mayor luminosidad presentaron en los tres colores de pimiento morrón situándose en un rango de 28 a 43, seguido de los desinfectados y recubiertos (DR) con valores de luminosidad de 27 a 41. Este aumento de  $L^*$  en los primeros 6 días de almacenamiento en dichos tratamientos se debe principalmente al efecto del desinfectante y a la presencia de los hongos *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp* sobre el pimiento morrón.

Sánchez, (2013) observó un incremento en la luminosidad en zarzamoras inoculadas y recubiertas con extractos vegetales de orégano y sangre de Drago, mientras que la luminosidad decreció en zarzamoras únicamente recubiertas. Dichos datos difieren a los resultados obtenidos en los frutos inoculados y recubiertos, durante los primeros 6 días, ya que posteriormente se incrementó dicho atributo, mostrando valores finales de 25 a 36 en los tres colores de pimiento morrón.

Así mismo Bermúdez y Barbosa, (2013) observaron un aumento de la luminosidad en lechuga desinfectada con ozono. Por otra parte Vázquez, (2013) también reportó un



---

incremento de la luminosidad en granada mínimamente procesada y desinfectada con ozono.

Por lo que el aumento de luminosidad del pimiento morrón se atribuye al efecto del desinfectante, debido al elevado poder oxidante que el ozono presenta, atacando así a la superficie de los vegetales, degradando el color de estos (Bermúdez y Barbosa, 2013). Sin embargo la presencia de microorganismos al realizar sus funciones metabólicas provocó cambios importantes en el pimiento tales como: ablandamiento del tejido, pérdida de solutos y cambios en el color, entre otros (Molina *et al*, 2004).

En tanto que la tonalidad oscura del extracto etanólico de Damiana que se agregó al recubrimiento comestible generó valores más bajos de  $L^*$  en los frutos que únicamente se inocularon y recubrieron, puesto que al final del almacenamiento se incrementó la luminosidad debido a la degradación del extracto con lo cual se incrementó la carga microbiana, ya que no se desinfectó (Sánchez, 2013). Hernández-Fuentes *et al.*, (2010) reportan un valor de 46.84  $L^*$  en pimiento morrón almacenado a 5°C, mayor al que se obtuvo en este proyecto.

Concluyéndose así que la combinación del desinfectante y del recubrimiento comestible permitió conservar la luminosidad en los tres colores de pimiento morrón, lo que se considera un buen indicio de frescura, dado que un valor alto de  $L^*$  se relaciona con una buena apariencia, mientras que valores bajos pueden indicar oscurecimiento asociados al incremento de la actividad enzimática de dicha hortaliza o a la tonalidad del recubrimiento comestible en este caso (Salinas *et al.*, 2010).

- **Croma**

Es el índice de saturación del color, que representa la intensidad de la fuerza del color, es decir colores vivos u opacos en una escala de 0 a 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Padrón-Pereira y Padrón, 2013).

En la Figura 43 se observan el efecto del desinfectante y del recubrimiento comestible en los valores de croma para los pimientos de color amarillo, verde y rojo obtenidos durante 12 días de almacenamiento, los cuales oscilaron en un rango de 43 a 14.

En la Figura 43 (A) se representa el comportamiento del croma en los pimientos de color amarillo. La muestra control mostró una tendencia decreciente durante los 12 días de almacenamiento, en el día 6 se redujo su valor un 13.7 % y en el día 12 se observó una caída drástica del 78.5% del valor del croma. Los pimientos desinfectados y recubiertos (DR) y los inoculados y recubiertos (IR) no mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con



---

respecto al control, ya que sus valores se encontraron en un rango de 38.66 a 39.11. En el día 6 los tratamientos mostraron comportamientos diferentes. Los frutos sometidos a desinfección y recubiertos incrementaron su valor un 23.12 % siendo este el más alto, seguido de los frutos inoculados, desinfectados, recubiertos que aumentó su valor un 3.78 % y los inoculados y recubiertos perdieron un 87.34 % del valor del croma.

En el día 12 de almacenamiento los pimientos desinfectados y recubiertos tuvieron un valor de 33.04 un valor muy similar al primer día, que corresponde a una pérdida del 14.53 %. Así mismo los inoculados, desinfectados, recubiertos tuvieron la mayor pérdida de croma de todos los tratamientos con un 29.74 %. Mientras que los inoculados y recubiertos perdieron el 23% del valor del croma comparado con el día 1, sin embargo incrementó su valor para este día.

En la Figura 43 (B) se aprecia el efecto del croma en los pimientos de color verde, en donde la muestra control en los días 1 y 6 no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) hasta el día 12 donde se generó una pérdida del 83.71 %. En cuanto a los frutos tratados su comportamiento fue variable durante los 12 días de almacenamiento. Los pimientos desinfectados y recubiertos (DR), así como los infectados y recubiertos, en el día 1 reportaron valores similares al control. Los frutos (DR) en el día 6 perdió un 20.6 % de croma y en el día 12 solo un 4.62 % siendo el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de este atributo. Los pimientos que se inocularon, desinfectados, recubrieron en el día 1 y 6 tuvieron el mismo comportamiento hasta el día 12, donde disminuyó un 23.5 %, representando el tratamiento con mayor porcentaje de pérdida en este día. En cuanto a los frutos inoculados y recubiertos en el día 6 presentó la mayor disminución de croma con un 72.6 % y en el último día perdió 18 %.

Los pimientos de color rojo Figura 43 (C), se comportaron de la siguiente manera; en el día 1 los pimientos tratados y los control se encontraron en un rango de 36 a 40 de croma.

En el día 6 el control disminuyó 21.3 %, así como en el día 12 un 89.8% siendo este día el de mayor pérdida de croma. Los frutos desinfectados y recubiertos en el día 6 de almacenamiento perdieron 1.8 % reportando la menor pérdida de croma para este día y en el día 12 decrecieron un 16.6 %. Mientras que los inoculados, desinfectados, recubiertos iniciaron con valores muy bajos de croma de 8.8 y posteriormente incrementaron su valor. Los que únicamente se inocularon y recubrieron en el día 6 fueron los que mayor pérdida reportaron en este día con un 78.6 % y en el último día disminuyeron un 20 % únicamente. Estadísticamente hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la cuantificación del croma entre la muestra control y los pimientos a los cuales se les aplicaron un recubrimiento comestible





durante el almacenamiento. Puesto que los pimientos tratados (DR e IR) presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) los 12 días de almacenamiento y los frutos (IDR) únicamente el primer día.

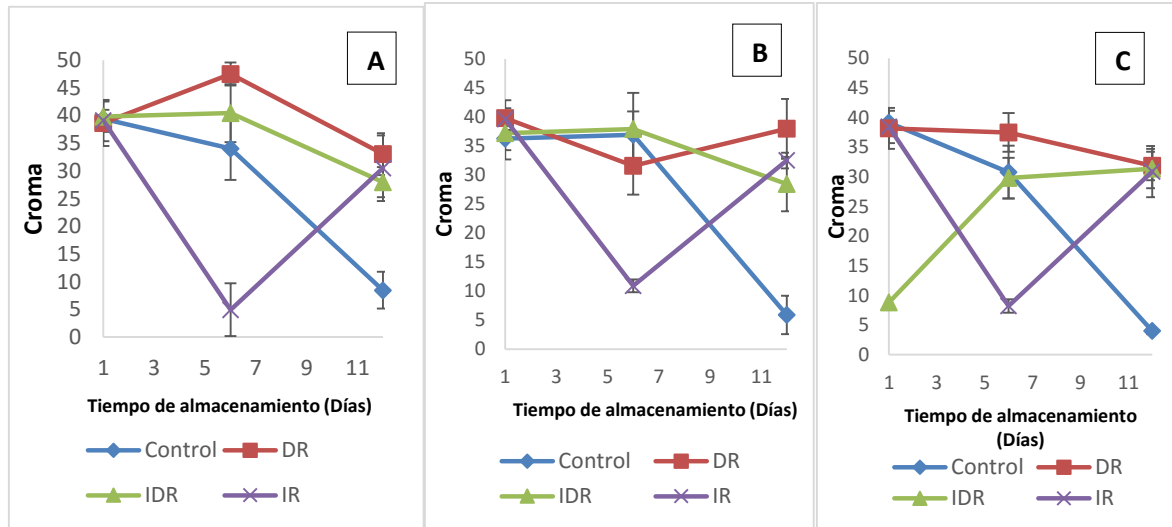


Figura 43. Cuantificación del valor de Croma en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

El valor del croma de los pimientos morrón de color verde fueron únicamente los que se vieron afectados por los tratamientos, durante el almacenamiento, presentando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), ya que los de pimientos de color amarillo y verde no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ).

El color del pimiento morrón sufre cambios durante el almacenamiento y sobre todo durante su procesamiento, debido a las operaciones de pelado y cortado que generan un rompimiento de los tejidos exponiendo una mayor área, lo que incrementa la actividad metabólica que resulta en cambios de textura, senescencia y cambios en el color de dicha hortaliza (Montero *et al.*, 2009). Por lo que el efecto de la combinación del desinfectante y del recubrimiento comestible en los pimientos tratados (DR e IDR), permitió aumentar la intensidad en los tres colores de pimiento morrón durante los 12 días de almacenamiento, concordando así con Ribeiro *et al.* (2007), quienes aplicaron recubrimientos comestibles a fresas, obtenido valores constantes de croma hasta el día 6 de almacenamiento, posteriormente se observó en el fruto una disminución de las coordenadas de cromaticidad entre 37.5 y 41. Dicho incremento de las coordenadas cromáticas en el pimiento morrón se



debe principalmente al desinfectante y al recubrimiento comestible, que al regular el oxígeno y dióxido de carbono retardaron la oxidación enzimática (Ruelas *et al.*, 2013).

Sin embargo la presencia de microorganismos disminuyó la intensidad de color en los frutos (IDR e IR), en este último el efecto de dichos microorganismos se observó con mayor intensidad durante los primeros 6 días de almacenamiento, posteriormente el valor del croma incrementó.

Dichos resultados coinciden con Sánchez, (2013) quien reportó una disminución del 21.63 % en zarcasas infectadas y recubiertas con extracto de orégano mientras que las zarcasas sin infectar y recubiertas con extracto etanólico de orégano disminuyeron un 27.26 % el croma. Este último resultado no concuerda con los pimientos desinfectados y recubiertos, ya que mostraron porcentaje mayores de croma. Dicho incremento de croma se atribuye a la presencia del desinfectante ozono, que intensificó el color en el pimiento morrón, ya que de acuerdo con investigaciones de Vásquez, (2013) no se encontró ningún efecto negativo en el croma, en granada mínimamente procesada y desinfectada con ozono.

De acuerdo a lo anterior, se concluye que el recubrimiento por sí solo no mejoró la calidad del croma del pimiento morrón, pero si la combinación del método de desinfección y del recubrimiento comestible adicionado con extracto vegetal de Damiana que favoreció la conservación del color.

- **Tono**

El valor del ángulo hue representa el verdadero color, matiz o tono, el cual es efectivo para visualizar la apariencia de los productos alimenticios y su valor es un ángulo en el círculo de color de 360°, en donde: 0°= rojo, 90°= amarillo, 180°= verde y 270°= azul (Padrón Pereira y Padrón, 2013).

En la Figura 44 se encuentra representando este atributo en donde se observa el efecto del desinfectante ozono 6 minutos y del recubrimiento comestible sobre los pimientos de color amarillo, verde y rojo, así los pimientos tratados y el control presentaron un rango de 75 a 35 °hue. En los pimientos de color verde y rojo la muestra control expuso un comportamiento decreciente durante los 12 días de experimentación.

En la Figura 44 (A) se expresa el comportamiento de los pimientos de color amarillo.

La muestra control inició con un valor de 69.32° hue, sin embargo en el día 6 disminuyó un 37.14 % y en el día 12 un 14.42 %. Con respecto a los pimientos tratados en el día 1, los desinfectados, recubiertos (DR) y los inoculados, desinfectado, recubiertos (IDR) mostraron



valores muy similares a los pimientos control. En los días posteriores de almacenamiento los frutos desinfectados y recubiertos incrementaron su valor un 4.30 % y en el último día de experimentación disminuyeron un 35.71%. Mientras que los inoculados, desinfectados, recubiertos (IDR) y los que únicamente se inocularon y recubrieron (IR) presentaron la misma tendencia decreciente que el control, ya que en el día 6 IDR decreció un 3.18% e IR un 37.67% y en el día 12 IDR disminuyó 50.75 % e IR 47.71%

Sin embargo en el día 6 DR e IDR expusieron los valores más altos en comparación con el control.

En la Figura 44 (B). El pimiento de color verde en la muestra control inicio con un valor de 72.27 °hue, en el día 6 y 12 disminuyó en un rango de 40 a 41 %. Esta misma tendencia se observó en los frutos desinfectados y recubiertos, al inicio expusieron un valor de 70.45°hue, en los posteriores días de experimentación hasta el último día de almacenamiento decreció su valor un 43.49% y 31.46% respectivamente. Los pimientos que se inocularon, desinfectaron, recubrieron (IDR), en el día 1 incrementaron su valor 3 % más que el control y los inoculados y desinfectados (IR) 3.5 %. En el día 6 los frutos (IDR) decrecieron 7.34 % siendo el tratamiento que género menor pérdida para este día y los pimientos tratados (IR) fueron los que mayor pérdidas tuvieron con un 84 %. En el día 12 los que se inocularon, desinfectaron recubrieron continuaron decayendo hasta obtener pérdidas de 43.77 % así como los frutos inoculados y recubiertos con un 35.66 %.

El comportamiento de los pimientos de color rojo se aprecia en la Figura 44 (C). Los frutos sin procesar iniciaron con un valor de 69.14° hue, en los días siguientes hasta finalizar el almacenamiento generaron pérdidas de este atributo del 37 %. Mientras los que se desinfectaron y recubrieron al inicio mostraron un incremento del 6 % y en los días posteriores perdió un 10 y 51.47 % siendo el último día el tratamiento que mayor pérdidas desarrollo. Los pimientos infectados, desinfectados, recubiertos, comenzaron con valores muy por debajo del promedio y en los días siguientes incrementó este atributo para finalizar con un valor de 42.49 °hue. Por último los inoculados y recubiertos al inicio del almacenamiento incrementó su valor 2.35 % más que el control, en los días subsecuentes decayó un 27 % y finalizó con una pérdida de 47.76%.

En relación al análisis estadístico del tono, se generó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los pimientos morrón que no se procesaron y los que se sometieron a un tratamiento durante el almacenamiento. Así mismo en el día 1 los frutos (IDR) presentaron diferencias así como los desinfectados y recubiertos en el día 12 con respecto a los demás frutos tratados.



En cuanto a los colores del pimiento morrón, el tono no se vio afectado en los de color amarillo, en cambio los pimientos de color verde y rojo presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) durante el almacenamiento.

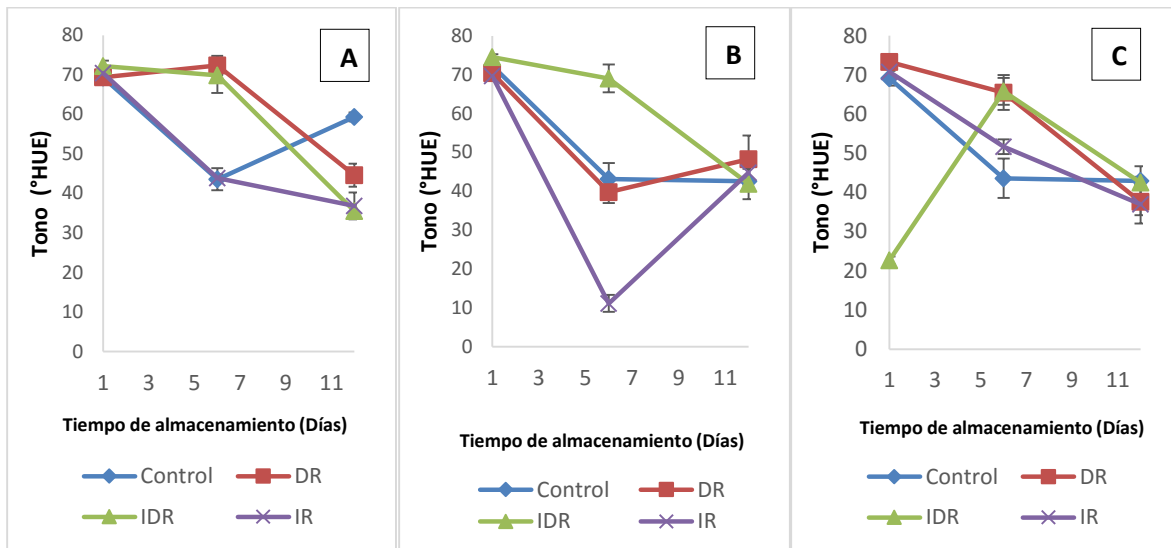


Figura 44. Determinación de °Hue en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Muchas frutas y hortalizas mínimamente procesadas sufren cambios de color como parte del proceso, siendo el color de suma importancia, dada la oxidación y encafecimiento enzimático que se presenta rápidamente al tener contacto con el oxígeno resultando en una decoloración, producto también del crecimiento de microorganismos (Ruelas *et al.*, 2013). Por lo tanto la aplicación de un método de desinfección combinado con un recubrimiento comestible enriquecido con extracto de Damiana ha permitido en los frutos tratados (DR e IDR) mejorar el color en el pimiento morrón amarillo en comparación con el color rojo y verde, que de acuerdo a sus valores de °hue indican una ligera tendencia del cambio de color a tonalidades amarillas. Este comportamiento corresponde con un cambio en el color, como consecuencia de la susceptibilidad a la degradación de la clorofila y en menor medida de los carotenoides durante el procesamiento del pimiento (Salinas *et al.*, 2010). Sin embargo el recubrimiento comestible creó una atmósfera modificada entre la película y la superficie del pimiento, que freno la degradación de la clorofila y los carotenos debido a la ausencia de CO<sub>2</sub> en la atmosfera de almacenamiento (Figueroa *et al.*, 2011).



---

Dichos resultados concuerdan con Pérez-Martínez, (2012) quien obtuvo un incremento del tono en fresas inoculadas con *Fusarium* y recubiertas con mucilago de nopal y extracto de orégano. Además de que el almacenamiento a baja temperatura ayudo a reducir la actividad de las polifenoloxidasas involucradas en este tipo de deterioro indeseable (Salinas *et al.*, 2010).

En relación a pimientos infectados y recubiertos, la disminución del tono en los colores del pimiento morrón se atribuye a que dicha muestra no se sometió a un proceso de desinfección por lo que la acción metabólica de los microorganismos desencadenó una oxidación de los pigmentos presentes en el pimiento.

Por otra parte, debido a que algunos microorganismos pueden no verse inhibidos o destruidos por el recubrimiento comestible utilizado individualmente, es preferible utilizar una combinación con algún otro método, ampliando así el espectro de cobertura en la preservación de frutas o alimentos en general (Rodríguez-Sauceda, 2011).

Concluyéndose así que el recubrimiento comestible por sí solo no puede preservar el color del pimiento siendo necesario la aplicación de un método de desinfección en este caso la combinación del ozono y el recubrimiento antimicrobiano permitió preservar la calidad del color en el pimiento morrón.

#### **5.3.1.2. Pérdida de peso**

La pérdida de peso es la principal causa del deterioro de vegetales mínimamente procesados dado que afecta la apariencia general del producto (Rojas-Graü, 2006).

Al igual que en el apartado del objetivo 2, la medición de este atributo no se hizo para cada color de pimiento morrón por separado debido a que la presentación comercial incluye los tres colores de pimiento morrón en una tarrina, además de que visualmente es más atractiva dicha presentación para los posibles consumidores.

En la Figura 45 se presenta la pérdida de peso que experimentaron los pimientos morrones mínimamente procesados, los cuales fueron desinfectados con ozono con un tiempo de inmersión de 6 minutos y recubiertos.

Al inicio del almacenamiento los frutos sin procesar y a los que se les aplicó un recubrimiento comestible no presentaron pérdidas de peso hasta el día 6 en donde la muestra control y los pimientos inoculados, desinfectados y recubiertos (IDR) tuvieron la menor pérdida de peso, el primero con 1.2 % y el segundo con 1.6 %. Los que únicamente se sometieron a una desinfección y se recubrieron (DR), así como los inoculados y recubiertos (IR) perdieron un 2.5 % y 2.8 % respectivamente. En el último día de



almacenamiento los pimientos sin procesamiento obtuvieron la menor pérdida de peso con un 2.3 %, seguido de los desinfectados y recubiertos con el 3.2 %, los inoculados y recubiertos con 5% y por último los que se inocularon, desinfectados y recubrieron (IDR) con 5.7 % los cuales obtuvieron la mayor pérdida de peso.

En relación al análisis estadístico, el porcentaje de pérdida de peso no generó una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los pimientos control y los que se recubrieron, durante los 12 días de almacenamiento.

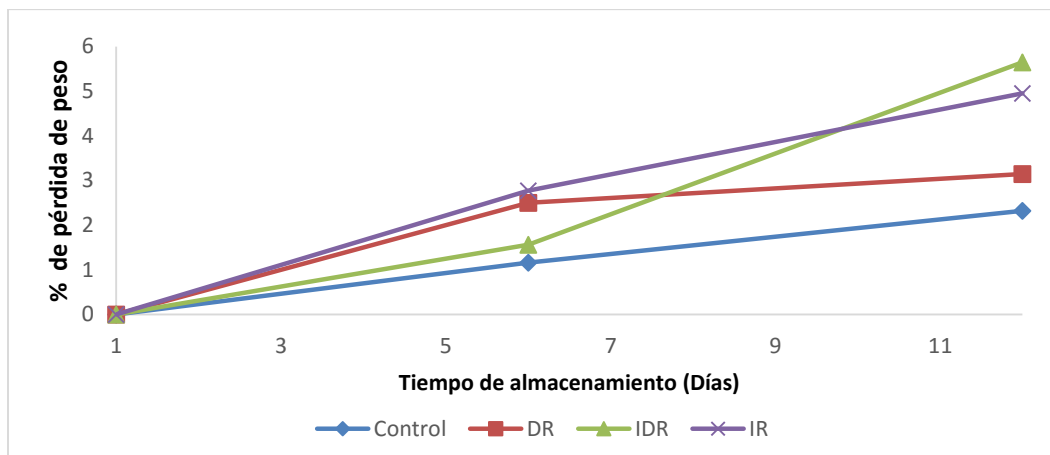


Figura 45. Evaluación de la pérdida de peso en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. A) Pimiento amarillo, B) pimiento verde, C) pimiento rojo. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

En todo los casos se observó un incremento de la pérdida de peso durante el almacenamiento, debido principalmente al daño mecánico, que afectó los procesos fisiológicos y bioquímicos del pimiento, generando una alteración en la velocidad de evaporación del agua y con ello una liberación de fluidos intercelulares a la superficie dando como resultado una deshidratación de los pimientos (Villegas, 2005).

Sin embargo la pérdida de peso fue menor en los frutos control, ya que el efecto del ozono y del recubrimiento adicionado con extracto de Damiana en los tratamientos (IDR e DR) no lograron disminuir la pérdida de peso. En tanto que los pimientos inoculados y recubiertos (IR) presentaron mayor incremento de dicho atributo durante el almacenamiento, producto del incremento de la velocidad de crecimiento de la población inicial de microorganismos presente en los pimientos, debido a que no se sometió a una desinfección y el recubriendo comestible por sí solo no logro minimizar la carga microbiana (Carrillo y Adusticio, 2007).



---

Dichos resultados no concuerda con lo reportado por Pérez-Martínez, (2012) quien obtuvo una menor pérdida de peso comparada con la muestra control en fresas recubiertas con mucilago de nopal y extracto de oregano infectadas con *Botrytis cinerea* durante 9 días de almacenamiento. Pastor (2010) obtuvo una mayor reducción en la permeabilidad del vapor de agua utilizando un recubrimiento comestible de HPMC adicionado con extracto etanólico de própolis en uva.

Por su parte Montero *et al.* (2009) puntualizó que los recubrimientos comestibles proveen de una barrera protectora entre el producto y el ambiente que lo rodea, moderando a su vez el intercambio de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ , etileno, compuestos aromáticos), además dan soporte a los alimentos, ayudando a conservar su textura, limitando la pérdida de humedad y salida de fluidos de los productos cortados.

Por lo que los frutos que se recubrieron e incluso se inocularon se debe a un déficit en las propiedades barrera del recubrimiento comestible, resultando en una pérdida del agua del pimiento morrón que se traduce en una pérdida de peso y de turgencia del producto con la consecuente disminución de la calidad durante los 12 días de almacenamiento (Rojas-Graü, 2006).

Se concluye que la combinación del desinfectante y del recubrimiento comestible no redujo la pérdida de peso a un porcentaje menor del 2% que corresponde al control, sin embargo durante los 10 días de almacenamiento la pérdida de peso se encontró dentro de los límites para que la calidad del pimiento no se depreciara, ya que pérdidas superiores al 5% como ocurrió en los pimientos infectados y recubiertos (IR), infectados, desinfectados y recubiertos (IDR) al final del almacenamiento, puede ser suficiente para disminuir la calidad en diferentes frutos aunque pérdidas a partir del 3% pueden comenzar a producir cambios en la apariencia de las hortalizas (Osuna *et al.*, 2011; Sosa, 2014).

#### **5.3.1.3. Liberación de líquido**

La liberación de líquido es un parámetro que se encuentra relacionado con la firmeza del fruto. Durante el procesamiento mínimo el tejido celular resulta dañado por lo que se produce una pérdida de líquido y/o solutos del fruto. La degradación de los hidratos de carbón, especialmente la pectina y hemicelulosa contenidas en el pimiento debilitan las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen las células unidas a las otras, lo que conducen a un rápido deterioro del producto con la consecuente pérdida de sus características sensoriales y nutricionales (Avalos *et al.*, 2012; Sánchez, 2013).



Al igual que en el atributo anterior la medición no se hizo para cada color de pimiento morrón por separado debido a que la presentación comercial propuesta incluye los tres colores de pimiento morrón en una sola tarrina.

En la Figura 46 se evaluó el porcentaje de liberación de líquido en los diferentes tratamientos de pimiento morrón. En el día 1 los frutos recubiertos y los control expusieron una liberación de líquido en un rango de 1.2 a 2.7 %. En el día 6 la mayor liberación se produjo en los pimientos inoculados y recubiertos (IR) con 4.8 % y la menor pérdida se proporcionó en los inoculados, desinfectados y recubiertos (IDR) con 2.8% comparado con el control que mostro un valor de 3.5 %. En el último día de almacenamiento los pimientos tratados y el control generaron una pérdida de este atributo en un rango de 3.3 a 4.9 %, sin embargo los inoculados y desinfectados (ID) fueron el tratamiento que mayor liberación de líquido generaron con 8.7 %.

Estadísticamente este atributo no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre el control y frutos tratados, en relación al tiempo de almacenamiento hasta el día 12 en donde los pimientos inoculados y recubiertos presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

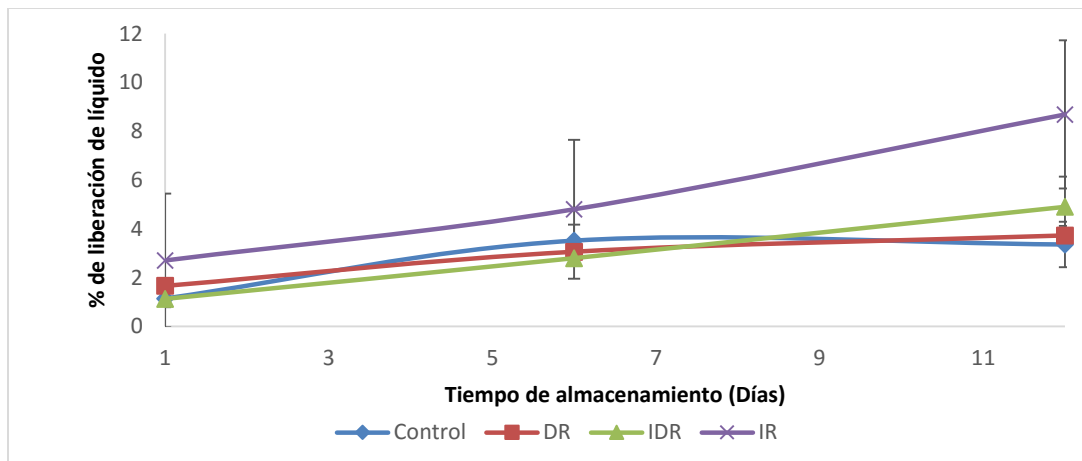


Figura 46. Cuantificación del % de liberación de líquido en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto a 5°C durante 12 días. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

El porcentaje de liberación de líquido fue mayor al 5% en los frutos desinfectados y recubiertos (IR) y los inoculados, desinfectados y recubiertos (IDR), lo que concuerda con el atributo de pérdida de peso. Sin embargo con la aplicación del recubriendo comestible adicionado con extracto de Damiana no se pudo minimizar la liberación de líquido en el pimiento morrón, ya que a los que se les aplico un recubrimiento mostraron un





---

comportamiento igual a la muestra control durante los 12 días de almacenamiento y en el caso de los inoculados y recubiertos (IR) la pérdida de líquido fue mayor al 5%.

Dichos resultados no concuerdan con Montero *et al.* (2009) y Rojas-Graü, (2006) quienes obtuvieron una disminución de la pérdida de peso y firmeza en frutos mínimamente procesados, con la aplicación de recubrimientos comestibles antimicrobianos.

Así mismo la muestra únicamente inoculada y recubierta, en el último día mostró un incremento en su porcentaje de liberación de líquido. Concordando así con Sánchez, (2013) que obtuvo mayor liberación de líquido en zarzamoras infectadas con *Botrytis cinerea* y recubiertas con carboximetilcelulosa y extracto de Hoja Sen, sin embargo con la aplicación del recubrimiento logro disminuir la pérdida de líquido en la zarzamora.

Los resultado obtenidos en este proyecto como ya se había mencionado se deben a un déficit en las propiedades barrera del recubrimiento comestible, por lo que no se pueden retardar la migración de humedad y quizá se deba también a una degradación del recubrimiento comestible durante el almacenamiento (Ávila y López, 2008). En cuanto al comportamiento de los pimientos inoculados y recubiertos, se atribuyen a la carga inicial de microorganismos que afectó el peso, la apariencia y la textura del pimiento, sumando a esto la actividad de distintas enzimas que indujeron cambios en los componentes de la pared celular, provocando de esta forma menor succulencia y firmeza del tejido vegetal en dicha hortaliza (Escobar-Hernández, 2013).

### **5.3.2. Parámetros microbiológicos en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto**

En algunos casos únicamente la desinfección no garantiza la eliminación total de microorganismo, por lo que en la actualidad se busca la combinación de dos o más métodos que aseguren la inocuidad de los productos mínimamente procesados. Siendo los recubrimientos comestibles una alternativa tecnológica que puede contribuir a la reducción de la carga microbiana presente en dichos productos mediante la incorporación de agentes antimicrobianos de origen natural (derivados de vegetales), que controlen la población microbiana, permitiendo con esto productos semejantes al producto fresco pero con menos aditivos, cabe señalar que la velocidad de deterioro microbiológico no solo depende de la carga inicial de microorganismos, sino también de interacción sinérgica del desinfectante químico y del recubrimiento comestible (Bitencourt *et al.*, 2014; Rodríguez-Sauceca *et al.*, 2011).



### 5.3.2.1. Recuento total de coliformes

En la Figura 47, se muestra la tendencia ascendente de los diferentes tratamientos aplicados al pimiento morrón mínimamente procesado. Así los pimientos a los que no se les aplicó ningún procedimiento iniciaron con 3 log ufc / g y finalizaron con 6.45 log ufc / g. Los frutos que se sometieron a una desinfección y se recubrieron (DR) su carga microbiológica al inicio fue de 2.89 log, en el día 6 disminuyó 0.89 log y en el último día de almacenamiento se duplicó la carga microbiana obteniéndose un valor de 4 log ufc /g. Los pimientos a los que se inoculó, desinfectó y recubrió (IDR) en el día 1 su carga microbiana fue de 3.26 log, en los días posteriores hasta el día 12 mantuvieron una carga microbiana de 4.26 log ufc /g de coliformes. Por último los que se inocularon y recubrieron (IR), desde el día 1 hasta día 12 mostraron un valor en un rango de 4.26 a 4.98 log ufc /g.

En base al análisis estadístico la cantidad de bacterias coliformes presentes en los pimientos sin procesar mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) respecto a los pimientos recubiertos y estos a su vez a los que fueron desinfectados, inoculados o que se les aplicaron ambos tratamientos.

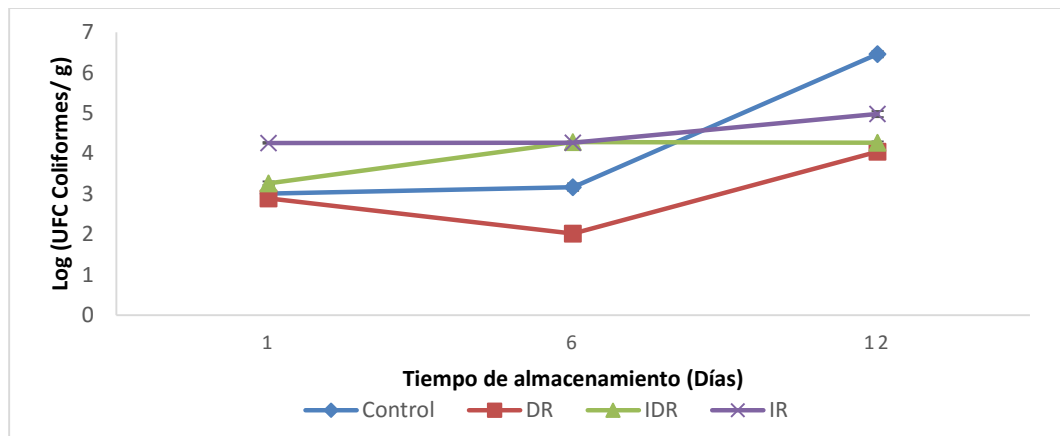


Figura 47. Conteo de células viables de coliformes en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto, en pimiento morrón mínimamente procesado, almacenado a 5°C durante 12 días. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Los resultados obtenidos en este proyecto no se encontraron dentro de los parámetros que establece la legislación europea de 2 log ufc /g máximo en productos mínimamente procesados (BOE, 2001), aun cuando las condiciones de procesamiento se realizaron con la higiene adecuada y el área de proceso se desinfectó, además de que el pimiento morrón se sometió a un proceso de desinfección con ozono, que en resultados previos en este



---

proyecto se logró disminuir el contenido de coliformes a 0 log ufc /g en el día 12 de almacenamiento.

Por lo que el comportamiento de los tratamientos se debe principalmente al recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana que no logró disminuir la carga de bacterias coliformes en el producto, tal es el caso de los frutos que únicamente se inocularon y recubrieron.

Dichos resultados no concuerdan con Trejo *et al.* (2007), ya que la aplicación del recubrimiento comestible logró eliminar la carga microbiana de coliformes a 0 log ufc / g durante el almacenamiento en fresas. Durango *et al.* (2006) lograron disminuir el contenido de células coliformes 2.5 log ufc /g aplicando un recubrimiento antimicrobiano en zanahorias mínimamente procesadas. Krašniowska *et al.* (2014) observaron una disminución en el contenido de bacterias Gram negativas y positivas con la aplicación de un recubrimiento comestible adicionado con extracto de *Satureja hortensis L.* en pimienta y manzana.

Por lo que una de las razones por la cual el recubrimiento antimicrobiano no tuvo un efecto significativo en la reducción de bacterias coliformes en el pimiento morrón es porque la capacidad de liberación del agente antimicrobiano a partir de la matriz, depende de la resistencia de la superficie del vegetal a la difusión del agente antimicrobiano (Fagudes *et al.*, 2013). Así mismo los recubrimientos comestible únicamente retrasan las reacciones deteriorativas, sin embargo bajo ciertas condiciones, el crecimiento de microorganismos se estimula, lo que sucedió en este caso (Pérez y López, 2011).

Ya que la mayor parte de los antimicrobianos alimentarios solamente son bacteriostáticos (sistemas de conservación que impiden el desarrollo de gérmenes) o fungistáticos, en lugar de bactericidas (sistemas de conservación que destruyen los gérmenes) o fungicidas, por lo que su efectividad sobre los alimentos es limitada (Rodríguez-Sauceda, 2011).

Se concluye así que el recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana no ejerció ningún poder bacteriostático.

### **5.3.2.2. Recuento total de mesófilos**

En la Figura 48 podemos observar que los pimientos recubiertos mostraron una tendencia decreciente en el conteo de bacterias mesófilas con respecto al tiempo de almacenamiento. Mientras que los frutos control presentaron una tendencia contraria, ya que el primer día inicio con 3.24 log, en el día 6 se incrementó 0.49 log y en el día 12 disminuyó 0.04 log ufc/g en relación con el día 6. Los pimientos sometidos a desinfección y recubiertos (DR) hasta el día 6 mostraron una carga microbiana en un rango de 3.21 y 3.34 log ufc /g,



posteriormente disminuyeron 0.74 log ufc /g. Los inoculados, desinfectados y recubiertos (IDR), así como los inoculados y recubiertos (IR) en el día 1 obtuvieron los valores más altos con 4.20 y 4.11 log ufc / g respectivamente, en el día 6 ambos tratamientos decrecieron 0.88 y 0.86 log. Por último en el día 12, los pimientos inoculados y recubiertos finalizaron con 3.51 log ufc/ g posicionándose después de los control, seguido de frutos inoculados, desinfectados y recubiertos con un valor de 3.12 log ufc/ g.

Estadísticamente las bacterias mesófilas en los pimientos sin procesar presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en relación con los que se recubrieron durante el almacenamiento. Con respecto al tiempo de almacenamientos los frutos desinfectados y recubiertos fueron los únicos que no presento diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ).

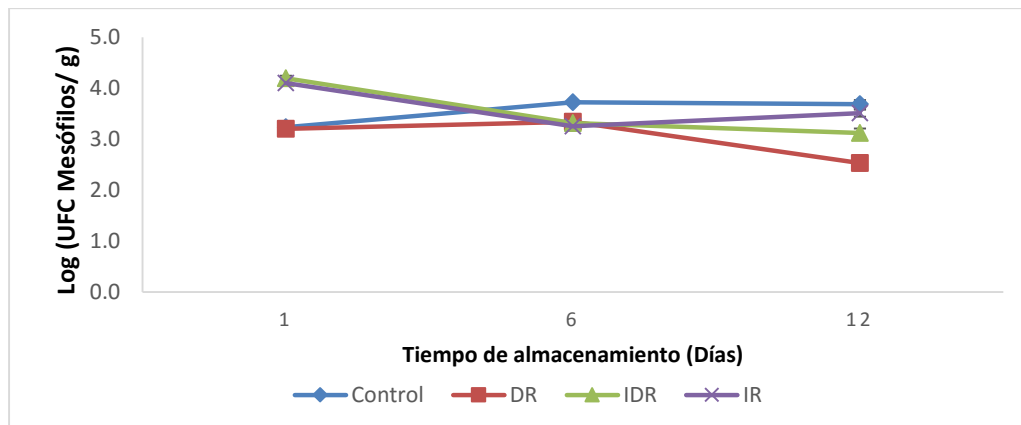


Figura 48. Conteo de bacterias mesófilas en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto, en pimiento morrón mínimamente procesado, almacenado a 5°C durante 12 días. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Se observó que el recubrimiento comestible tuvo un efecto favorable al reducir el contenido de bacterias mesófilas en el pimiento morrón durante el almacenamiento. Así mismo los pimientos inoculados, desinfectados y recubiertos, así como los inoculados y recubiertos al inicio mostraron niveles mayores de bacterias mesófilas y durante el almacenamiento se produjo una reducción de éstas. Por lo que dicho comportamiento se atribuye al grado de disociación del extracto en el recubrimiento. Ya que se ha observado que la mayoría de estos compuestos cuando son incorporados a la matriz se suelen dispersarse y por lo tanto, las células bacterianas están menos expuestas a la acción del extracto. Además de que los agentes antimicrobianos pueden actuar selectivamente y migrar gradualmente de la película a la superficie del alimento, incrementando el efecto antibacteriano de dicho recubrimientos durante el almacenamiento (Ávila y López, 2008; Ponce *et al.*, 2008).



---

Concordando así con Durango *et al.* (2006) quienes redujeron 1.34 log con la aplicación de un recubrimiento comestible antimicrobiano en zanahorias mínimamente procesadas. Synowiec *et al.* (2014) lograron disminuir 1 log el contenido de bacterias mesófilas con la aplicación de un recubrimiento comestible a base de pululano adicionado con extracto de albacá dulce en manzanas almacenadas durante 10 días, posteriormente no se produjo ningún cambio antibacteriano en el recubrimiento. Al igual Nogales *et al.* (2015) obtuvieron una reducción de la carga microbiana con la aplicación de un recubrimiento enriquecido con un extracto de semilla de uva.

Por otra parte Ponce *et al.* (2008) aplicó recubrimientos de quitosano enriquecido con extractos de romero y oliva aplicados en calabaza, observando que no se produjo un efecto significativo en la reducción de bacterias mesófilas, sin embargo se observaron efectos antioxidantes.

Por lo que la actividad antimicrobiana de los extractos se debe a que atacan la pared celular, membrana celular, enzimas metabólicas, la síntesis de proteína y el sistema génico. Cada uno de estos puntos, son esenciales para el desarrollo celular, por lo tanto si uno es atacado o inactivado la velocidad de crecimiento del microorganismo se ve minimizada. Cabe destacar que la mayoría de agentes antimicrobianos usados en alimentos solo inhiben el crecimiento de bacterias y hongos, más no eliminan su crecimiento, por lo que el producto tiene una vida de anaquel restringida, y es necesario el uso de otros factores como la conservación a temperaturas bajas que aumenten la vida media del producto (Rodríguez-Sauceda, 2011).

De acuerdo a lo reportado por los autores ya mencionados y por los resultados obtenidos en este proyecto, podemos concluir que el poder antibacteriano de los extractos se encuentra en un rango de 1 a 2 log ufc/g. Por lo que el uso del recubrimiento comestible combinado con el desinfectante a pesar de disminuir el contenido de bacterias mesófilas en el pimiento morrón, dicha combinación no aumentó la eficacia para la reducción de las bacterias mesófilas.

### **5.3.2.3. Recuento total de mohos y levaduras**

En la Figura 49 se expresa únicamente la cantidad de levaduras en los tratamientos a los que el pimiento morrón mínimamente procesado se sometió. En el primer caso los controles iniciaron con 4.25 log ufc/g y finalizaron con 5.88 log ufc/g. Los frutos desinfectados y recubiertos fueron los que menor cantidad de levaduras generaron, sin embargo al inicio la carga microbiana fue de 4.35 en el día 6 disminuyó 1.25 log y en el día 12 se incrementó



su carga microbiana obteniendo un conteo de 3.30 log ufc/g. Los pimientos que se inocularon, desinfectaron y recubrieron, así como los inoculados y recubiertos fueron los que mayor carga microbiana obtuvieron, ambos tratamientos iniciaron con 5.18 log ufc /g, en los días siguiente se incrementó la cantidad de levaduras 2.13 y 2.2 log respectivamente. En el último día la carga microbiana se redujo al doble en los frutos infectados, desinfectados y recubiertos (IDR) obteniendo un valor de 3.39 log ufc/g y los infectados y recubiertos (IR) finalizaron con 4.12 log ufc/g.

En cuanto al análisis estadístico se generó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la cantidad de levaduras viables en los pimientos recubiertos con respecto a los controles durante los 12 días de almacenamiento. En relación al tiempo de almacenamiento hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los frutos inoculados, desinfectados y recubiertos el día 12. Los inoculados y recubiertos durante los 12 días. Mientras que los desinfectados y recubiertos no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ).

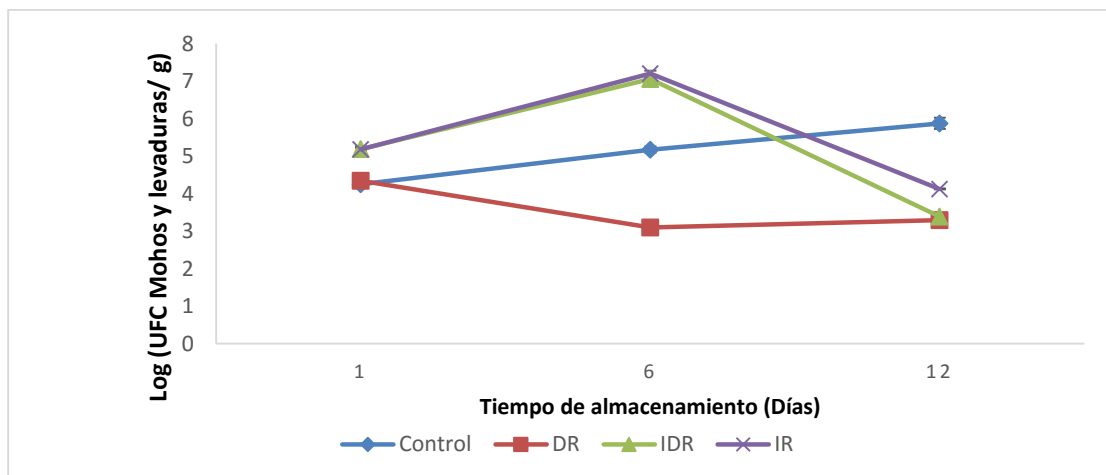


Figura 49. Conteo de mohos y levaduras viables en diferentes tratamientos DR= desinfectado y recubierto, IDR= Inoculado, desinfectado y recubierto e IR= inoculado y recubierto, en pimiento morrón mínimamente procesado, almacenado a 5°C durante 12 días. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.

Con respecto a los datos obtenidos, se observó que el efecto del recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana en la reducción de levaduras en el pimiento morrón logró disminuir de 1 a 2 log ufc / g en dicha hortaliza.

Dichos resultados son similares a los obtenidos por Durango *et al.* (2006) quienes reportaron una disminución de este grupo microbiológico de 2.5 log ufc /g en zanahoria con la aplicación de un recubrimiento comestible de quitosan al 1.5 % conservada durante 15 días a bajas temperaturas.



---

La disminución en el contenido de dichos microorganismos es producto del efecto del extracto de Damiana, ya que los compuesto fenólicos pueden inactivar enzimas esenciales, reaccionar con la membrana celular o alterar la función del material genético. Sin embargo los tratamientos que fueron inoculados en general mostraron mayor carga microbiana, por lo que atribuimos dicho comportamiento a que no se generó un efecto sinérgico entre el recubrimiento comestible y el extracto de Damiana, debido a que la efectividad del extracto disminuyó al ser aplicado en la matriz del recubrimiento provocando un efecto negativo aun cuando los frutos (IDR) se desinfectaron.

Desafortunadamente, los microorganismos han desarrollado distintos mecanismos para resistir los efectos de estos factores ambientales de estrés. Estos aun cuando el medio que rodea a la célula se haya modificado y sea diferente. (Escobar-Hernández, 2013; Ponce *et al.*, 2008). Así mismo Shao *et al.* (2012) evaluaron la eficacia de la inhibición de los hongos *P. expansum* y *Botrytis cinérea* en manzanas recubiertas con 1% de quitosano y llegaron a la conclusión que el recubrimiento con quitosano limitó el crecimiento de los hongos en las manzanas, pero no inhibió su desarrollo por completo. Synowiec *et al.* (2014) indicaron que el recubrimiento comestible de pululan adicionado con extracto de albahaca dulce en manzanas mostró mayor poder antifúngico que antibacterial, ya que logró inhibir el crecimiento de mohos en manzanas.

Concordando así con los resultados en esa investigación, el extracto de Damiana no manifestó poder antibacterial pero si antifúngico logrando limitar el crecimiento de los hongos a pesar de que no inhibió su desarrollo, ya que durante los primeros 6 días de almacenamiento en las muestra inoculadas se presentó mayor pérdida de los atributos de calidad y microbiológicos durante el almacenamiento.

### **5.3.3. Evaluación sensorial en pimiento morrón mínimamente procesado desinfectado con ozono y recubierto**

Las frutas y hortalizas enteras y cortadas listas para consumir, ofrecidas a la población, deben ser de buena calidad, esto significa que deben ser organolépticamente aceptables e inocuas. Esta calidad, tal como la percibe el consumidor, depende tanto de factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos están relacionados con las características fisicoquímicas y microbiológicas de los mismos. Estas variables, por sí mismas controlan las características sensoriales del producto, que a su vez son las que determinan la aceptabilidad y la percepción de calidad que tiene el consumidor. Los



principales atributos que definen la calidad organoléptica de los vegetales son que tengan una apariencia fresca, una textura aceptable, buen sabor y olor (Rodríguez y Questa, 2009). Debido a los resultados en el contenido de bacterias coliformes, únicamente se realizaron pruebas sensoriales el día 1 y 6 de almacenamiento.

En la Figura 50 se muestra el análisis sensorial de la muestra control y de los pimientos que se desinfectaron y recubrieron (DR).

En el día 1 de almacenamiento la apariencia visual de los pimientos desinfectados y recubiertos fué igual a los controles, por lo que el recubrimiento comestible no mejoro la apariencia del pimiento morrón. Por otra parte los panelista no percibieron olor y sabor extraño en la muestra recubierta, así como en la firmeza a pesar de que con la aplicación del recubrimiento comestible se generó un incremento en el parámetro de pérdida de peso del pimiento morrón.

Estadísticamente los únicos atributos en el día 1 que presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control fueron el olor y la calificación global. Lo que demuestra que el recubrimiento comestible no mejoro la calidad del pimiento y la aceptación por parte del consumidor se ve limitada.

En el día 6 de almacenamiento todos los atributos no mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control.

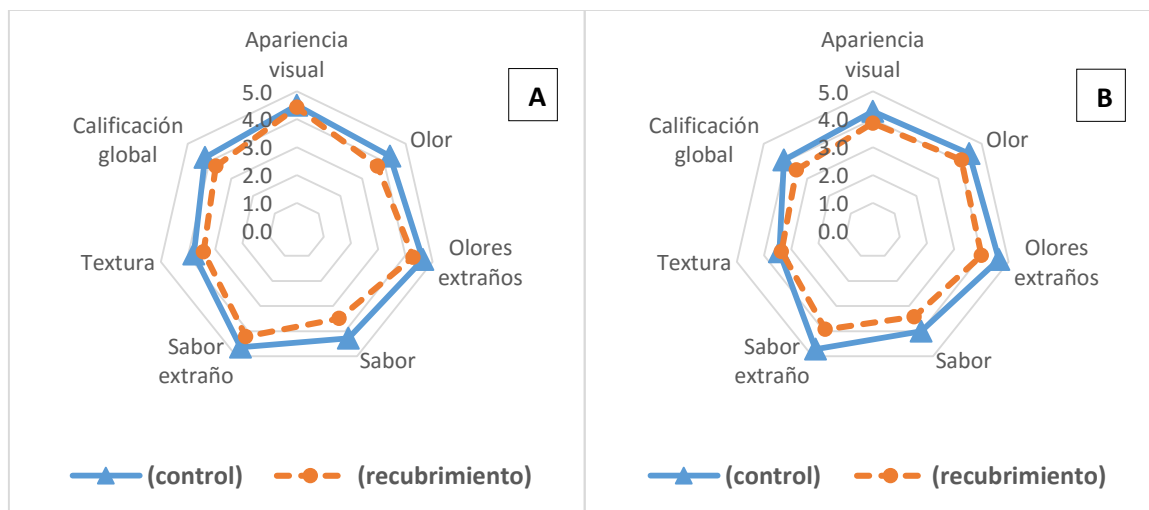


Figura 50. Perfil sensorial de pimiento morrón mínimamente procesado y recubierto con una matriz de grenetina al 3%, adicionado con extracto vegetal de Damiana a una concentración de 4000 ppm. A= día 1 y B= día 6, donde el color: Azul= control que únicamente se desinfecto y Anaranjado= muestra desinfectada y recubierta. Barras verticales indican  $\pm$  desviación estándar.





---

Al analizar en conjunto todos los descriptores a través del análisis sensorial de este estudio, se puede resumir que el recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana para el almacenamiento del pimiento morrón mínimamente procesado no imparte olores ni sabores extraños lo cual es favorable, ya que la incorporación de compuestos tales como antimicrobianos, antioxidantes y nutraceuticos no debería afectar la aceptación de los consumidores. No obstante, algunos autores han indicado que la incorporación de agentes antimicrobianos en recubrimientos comestibles podrían influenciar los atributos sensoriales en los alimentos, especialmente cuando se utilizan aceites esenciales y extractos de plantas (Raybadui *et al.*, 2011). Tal es el caso de Synowiec *et al.* (2014), en dónde el recubrimiento comestible de pululano adicionado con extracto de albacá dulce impartió cambios ligeros en las propiedades sensoriales de las manzanas, apreciándose un sabor a albacá.

Con respecto a la apariencia visual y a la textura, el recubrimiento comestible adicionado con extracto de Damiana no impartió un incremento de dichos atributos, por lo que el color del extracto está modificando la apariencia en el pimiento morrón haciéndolo más oscuro y opaco. Lo cual no concuerda Sánchez, (2013) quien obtuvo un incremento en dichos atributos con la aplicación de un recubrimiento comestible de carboximetilcelulosa y adicionado con extracto de Hoja Sen. Así mismo Synowiec *et al.* (2014) obtuvo un incremento en la apariencia visual en las manzanas recubiertas con el extracto de albacá dulce aumentando su atractivo general y haciendo más llamativas las manzanas para los panelistas.

Por el contrario Krašnievska *et al.* (2014) obtuvieron una disminución del color afectando la apariencia visual en manzanas recubiertas con pululano y extracto de *Satureja hortensis L.* en comparación con las manzanas que únicamente se recubrieron.

Dado lo anterior mencionado se concluye que el color del extracto de Damiana influye en el recubrimiento comestible y a su vez este influye en la apariencia del pimiento morrón haciendo que este se vea opaco y poco atractivo para los consumidores, así mismo el recubrimiento no mejora la firmeza. En cuanto a los atributos de olor y sabor el extracto no influyó en dichos atributos lo cual es favorable para la comercialización del pimiento morrón mínimamente procesado.



# Conclusiones

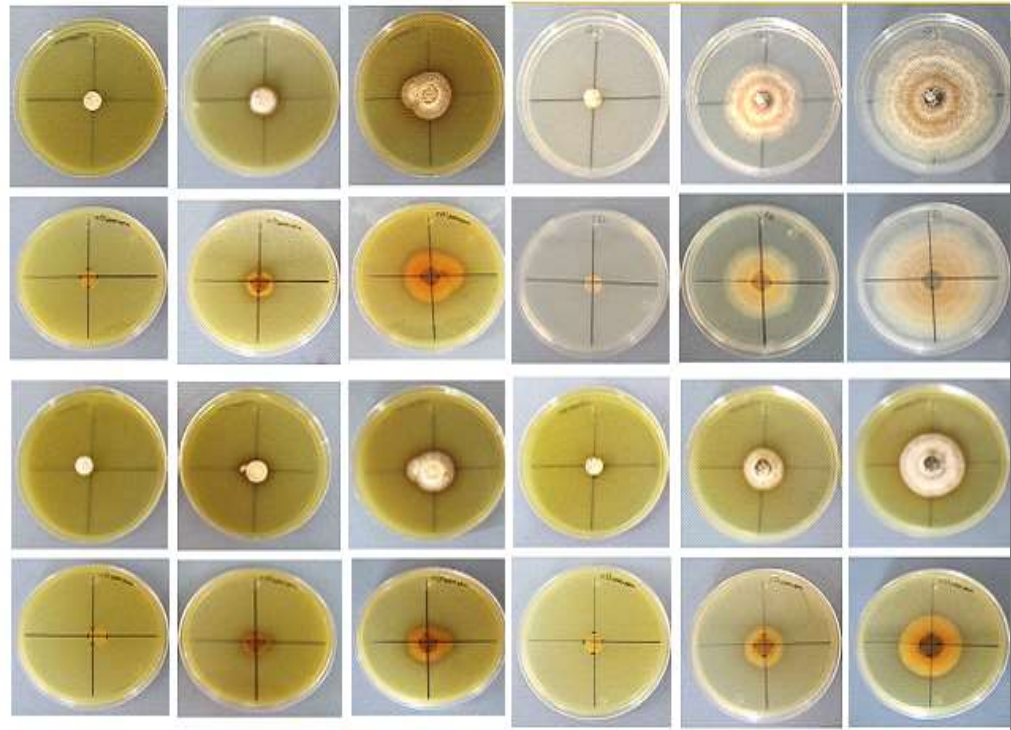


En referencia a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que:

- ❖ El extracto de Damiana tiene propiedades antifúngicas, que logro inhibir el crecimiento de los hongos a una concentración de 4000 ppm.
- ❖ En cuanto al efecto de los desinfectantes, el cloro mostró resultados favorables en la disminución de la carga microbiana, sin embargo el ozono representa una tecnología alterna que resultó ser muy favorable en la conservación de los parámetros de calidad, nutricionales y sobre todo microbiológicos en el pimiento morrón mínimamente procesado, sin presentar la formación de subproductos que pueden ser nocivos para el consumidor.
- ❖ La desinfección con ozono con un tiempo de 3 minutos conservó mejor los parámetros de calidad (acidez y pH) y nutricionales (Carotenoides y vitamina C), no obstante los mejores resultados en los parámetros microbiológicos (coliformes, mesófilos y levaduras) se obtuvieron aumentando el tiempo de ozonificación del pimiento morrón a 6 minutos, sin embargo el tratamiento por 3 minutos cumple con la norma para productos mínimamente procesados (BOE, 2001).
- ❖ El color del pimiento morrón se vio afectado por los diferentes desinfectantes, ya que el color rojo mostró más cambios que el color amarillo en los parámetros de calidad (acidez, pH, SST) y nutricionales (vitamina C). No obstante los pimientos de color verde no mostraron cambios en ninguno de los parámetros.
- ❖ La aplicación del recubriendo comestible adicionado con extracto de Damiana en el pimiento morrón mínimamente procesado no logró mejorar los parámetros de calidad, principalmente la pérdida de peso, ya que al desinfectar las muestras con ozono se obtuvo una pérdida de 2 % y con el recubrimiento comestibles se duplicó el porcentaje de pérdida, repercutiendo así en el atributo de liberación de líquido ya que las muestra únicamente inoculada y recubiertas generaron un porcentaje de pérdida de líquido de 8.7 %. Con respecto al color, el recubrimiento comestible afectó la tonalidad debido al extracto de Damiana, lo que produjo también una menor luminosidad, croma y tono. Así mismo el color amarillo y rojo del pimiento morrón fueron los que se vieron afectados por dichos parámetros.



- ❖ En la parte microbiológica el recubriendo comestible con extracto de Damiana no presentó propiedades antibacteriales, debido a que no logro disminuir la cantidad de bacterias coliformes totales en el pimiento morrón. En tanto que el contenido de bacterias mesófilos se redujo menos de 1 log ufc /g y la cantidad de levaduras más de 1 log ufc /g. Por otra parte la capacidad antifúngica del extracto logró limitar el crecimiento de los hongos *Alternaria spp* y *Colletotrichum spp*.
  
- ❖ El recubrimiento con extracto de Damiana no afectó sensorialmente los atributos de apariencia visual y textura pero tampoco incremento dichos atributos, que son sinónimo de una buena aceptación y percepción de la calidad que tiene el consumidor. El recubrimiento no aportó sabores ni olores extraños al pimiento morrón mínimamente procesado durante el almacenamiento.
  
- ❖ EL ozono resulto ser una tecnología limpia y alternativa como método de desinfección al igual que la aplicación de un recubrimiento comestible adicionado con extractos proveniente de plantas, que han resultado tener un alto poder fungistático debido a sus compuestos activos.



# Recomendaciones



---

Con el objetivo de mejorar y extender esta investigación a nuevos desarrollo de productos mínimamente procesados y aplicación de nuevas tecnologías de desinfección para la conservación de la calidad e inocuidad de dichos productos, así como incrementar el consumo de frutas y hortalizas en la población se recomienda que:

- ❖ Establecer las mejores condiciones de pH y temperatura del agua de proceso que mejoren la estabilidad y solubilidad del ozono e incrementar así su potencial de desinfección.
- ❖ Aumentar el tiempo de inmersión del pimiento morrón en el ozono y evaluar el efecto en los parámetros de calidad, nutricionales y microbiológicos.
- ❖ Analizar el efecto microbiológico de la combinación del ozono con otras nuevas tecnologías como los pulsos luminosos.
- ❖ Evaluar otros tipos de corte en el pimiento morrón que generen pérdidas de peso mínimas.
- ❖ Minimizar el tiempo de inmersión del pimiento morrón en el recubrimiento y aumentar el tiempo de secado para minimizar la humedad relativa en el envase.
- ❖ Evaluar otra matriz de recubrimientos comestible como proteínas (caseínas, proteínas de suero o de soja) o polisacáridos (quitosan, mucílago, almidón o pectinas).
- ❖ Incorporar al recubrimiento comestible sales de calcio para conservar la firmeza del producto.
- ❖ Estudiar otros tipos de agentes antimicrobianos de origen natural como aceites y extractos de otras plantas y frutos, quizá de orégano, canela, romero, limón, ajo, uva entre otros.



- ❖ Evaluar otros tipos de empaques con diferentes permeabilidades al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua (películas de polipropileno, cloruro de vinil y polietileno de alta densidad) sobre la calidad del pimiento morrón mínimamente procesado.
  
- ❖ Desarrollar nuevos productos mínimamente procesados y evaluar la calidad microbiológica con la aplicación de otras tecnologías de desinfección como la radiación y el agua electrolizada.



# Referencias





- 
- ❖ Aldana, I. E. (2011). *Noticiero Alta voz*. Recuperado el 23 de Febrero de 2013, de [http://www.noticieroaltavoz.com/?page\\_id=2](http://www.noticieroaltavoz.com/?page_id=2)
  
  - ❖ Aguayo-Giménez, E. (2003). Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, España.
  
  - ❖ Aguayo, E., Escalona, V. H., Artés, F. (2001). Industrialización del melón procesado fresco. *Revista horticultura*, 155: 1-13.
  
  - ❖ Aguayo, E., Escalona, V. H., Artés, F. (2005). Reisión: el ozono y su utilización en la industria agroalimentaria. *Alimentaria*, 34-47.
  
  - ❖ Aguayo, E., Escalona, V. H., Gómez, Perla., Artés, H. F., Artés, C. F. (2007). Técnicas emergentes y sostenibles para la desinfección de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. *Phytoma España*, 189: 138-142.
  
  - ❖ Alarcón, M. A. (2012). Caracterización morfológica y molecular de *Colletotrichum spp.* Asociadas a la antracnosis del *Lupinus mutabilis* (chocho) y *Solanum betacea* (Tomate de árbol) en tres provincias de Ecuador. Tesis de licenciatura. Ingeniería en biotecnología. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador.
  
  - ❖ Alexopoulos, A., Plessas, S., Ceciu, S., Lazar, V., Mantzourani, I., Voidarou, C., Satavropoulou, E., Bezirtzoglou, E. (2013). Evaluation of ozone efficacy on the reduction of microbial population of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa*) and green bell pepper (*Capsicum annuum*). *Food Control*, 30: 491-496.
  
  - ❖ Alvares, A. R. D., Biazotto, B. M. L., TrovóZerbinti, M., Benedetti, B. C. (2012). Effectiveness of different concentrations of ozonated water in the sanitization of fresh-cut green pepper. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3): 131-135.
  
  - ❖ AOAC.1990. *Methods of analysis*. 15 th. Association of Official Analytical Chemist, Washinton, D.C.



- 
- ❖ Arce, F.M. P. (2013). Análisis nutricional de pimiento (*Capsicum annum L. tipo California*) en sus cuatro colores de mayor consumo. Tesis de licenciatura. Química de alimentos. Facultad de Química. UNAM. México.
  - ❖ Artés-Hernández, F., Aguyo, E., Gomez, P., Artés, F. (2009). Innovaciones tecnológicas para preservar la calidad de productos vegetales mínimamente procesados o de la “cuarta gama”. *Horticultura internacional*, 69: 52-57.
  - ❖ Avalos, L. K., Scropo, S. C., Chaves, A. R. (2012). Efecto de un tratamiento térmico sobre la calidad de pimientos *cherry* cortados refrigerados. *Agrociencia Uruguay*, 15(1): 45-50.
  - ❖ Ávila, S. R. y López, M. A. (2008). Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. *Temas Selectos en Ingeniería en Alimentos*, 2(2):4-13.
  - ❖ Barrera, N. L. L. y Bautista, B. S. (2008). Actividad Antifúngica de Polvos, Extractos y Fracciones de *Cestrum nocturnum* L. Sobre el Crecimiento Micelial de *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.:Fr.) Vuill. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(1): 27-31.
  - ❖ Bataller, V. M., Santa Cruz, B. S., García, P. M. (2010). El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41(3): 155-164.
  - ❖ Beltrán, D., Selma, M. V., Martín, A., Gil, M I. (2005). Ozonated water extends the shelf life of fresh- cut lettuce. *J. Agric. Food Chem.*, 53(14): 5654-5663.
  - ❖ Bermúdez, A. D. y Barbosa, C. G. (2013). Desinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Choline, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food control*, 29: 82-90.
  - ❖ Bezirtzoglou, E. y Alexopoulos, A. (2008). Ozone history and ecosystems: a goliath from impacts to advance industrial benefits and interests, to environmental and therapeutical



---

strategies. In S. H. Bakker (Ed.), *Ozone depletion, chemistry and impacts*. NY: Nova Science Publishers Inc.

- ❖ Bitencourt, G. R., Melo, P. A. M., Peruch, C. G., Souza, C. R., Comide, O. C., Ferreira, S. N F. (2014). Antimicrobial and aromatic edible coating on fresh-cut pineapple preservation. *Ciencia Rural*, 44(6): 1119-1125.
- ❖ BOE. Boletín Oficial del Estado. (2001). Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas, Madrid, España, Real Decreto 3484/2000, pp. 1435-1441.
- ❖ Botanical. (1999). Propiedades de los pimientos. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/pimimientos.htm>
- ❖ Camacho, A., M.Giles, A.Ortegón, M.Palao, B.Serrano y O.Velázquez. (2009). Técnicas para el AnálisisMicrobiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- ❖ Cardona, M. E., Rios, L. A., Restrepo, V. G. M. (2006). Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (*Lycopersicum esculentum*). *Vitae*, 13(2): 44-53.
- ❖ Caro, C. M. y García, R. R. A. (2012). Efecto de tratamientos de irradiación gamma en el contenido de carotenos, vitamina C, pungencia y en la vida útil del chile manzano (*Capsicum pubescens*). Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
- ❖ Carrillo, L. (2003). Los hongos de los alimentos y forrajes. 4 ta. Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- ❖ Carrillo L. y Audisio M. C. (2007). Manual de microbiología de los alimentos. Consultado en Octubre 2015. Disponible en: <http://www.unsa.edu.ar/biblio/repositorio/malim2007/>
- ❖ Castro del Campo, N., Chaidez, Q. C., Rubio, C. W., Valdez, T. J. B. (2004). Sobrevivencia de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en frutos mínimamente



---

procesados. Consultado en septiembre 2015. Disponible en:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662004000100009&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662004000100009&script=sci_arttext)

- ❖ Da Cruz, C. L., Río, C. G., Reggi, F., Patriarca, A. R. (2011). Inhibición del crecimiento de *Alternaria alternata* y *Alternaria arborescens* por extracto de plantas. XII Congreso Argentino de Micología. Argentina.
- ❖ Durango, A. M., Soares, N. F. F., Andrade, N. J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food control*, 17: 336-341.
- ❖ Escobar-Hernández, A. (2013). Aplicación de la tecnología de barreras para la conservación individual y de mezclas de hortalizas mínimamente procesadas. Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- ❖ Escobar-Hernández, A., Márquez, C. C. J., Restrepo, F. C. E., Cano, S. J. A., Patiño, G. J. H. (2014). Aplicación de tratamiento térmico, recubrimiento comestible y baño químico como tratamiento poscosecha para la conservación de hortalizas mínimamente procesadas. *Agroindustria*, 63(1): 1-10.
- ❖ Espinosa-Manfugás, M. J. (2007). Evaluación sensorial. Editorial Universitaria. Cuba.
- ❖ Espinosa-Torres, L. E., Martínez, D. M. T., Castro, B. R., Barrios, P. G. (2010). Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(2): 115-121.
- ❖ Fagundes, C., Pérez, G. M. B., Monteiro, A. R., Palou, L. (2013). Antifungal activity of food additives in vitro and as ingredients of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible coatings against *Botrytis cinerea* and *Alternaria alternata* on cherry tomato fruit. *International Journal of food Microbiology*, 166: 391-398.
- ❖ Fennema, R. O. (2010). Química de los alimentos. 3ª edición. Acribia. España.



- 
- ❖ Figueroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R., Narváez, G. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y la perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. *Revista Colombiana cienc. Anim.*, 3(2): 386-400.
  
  - ❖ FAO/STAT. (2013). Producción mundial de pimiento morrón. Consultado en Septiembre de 2015. Disponible en: [http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities\\_by\\_regions/S](http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities_by_regions/S)
  
  - ❖ FAO/STAT. (2011). Exportación mundial de pimiento morrón. Consultado en Septiembre de 2014. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>
  
  - ❖ Gaceta Innovación. (2009). Reduce pérdidas la detección oportuna de enfermedades en hortalizas y ornamentales. Consultado en Mayo 2015. Disponible en: <http://www.foroconsultivo.org.mx/innovacion/gaceta/component/content/article/12/innovadores/11-reduce-perdidas-la-deteccion-oportuna-de-enfermedades-en-hortalizas-y-ornamentales>
  
  - ❖ García-Lujan, C., Martínez, R. A., Ortega, J. L., Castro, B. F. (2010). Componentes químicos y su relación con las actividades metabólicas de algunos extractos vegetales. *Química Viva*, 9(2): 86-96.
  
  - ❖ García-Martínez, I., Miranda, G. N. G., González, G. L. R., Nieto, P. F., (2006). Estudios preliminares de la fermentación de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*). *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 5(5): 36-42.
  
  - ❖ García-Mogollón, C., Cury, R. K. I., Dussán, S. S. (2011). Comportamiento poscosecha y evaluación de calidad de frutas frescas de guayaba en diferentes condiciones de almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(2): 6207-6212.
  
  - ❖ Garza, V. D., Belmares, C. R., Rodríguez, H. R., Aguilar, C. N. (2009). Estudios biotecnológicos para el aprovechamiento de la damiana. Consultado en Marzo 2015. Disponible en: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC17/cc17damiana.html>



- 
- ❖ Gómez, L. V. M., Martín, a., Medina, M. M. S., Gil, M. I., Allende, A. (2013). Generation of trihalomethanes with chlorine- base sanitizers and impact on microbial, nutritional and sensory quality of baby spinach. *Postharvest Biology and Tecnology*, 85: 210-217.
  
  - ❖ González, M. M M. (2013). Aplicación de un recubrimiento comestible a base de alginato y un extracto natural para el control de antracnosis en mangos “Tommy atkins” y “keit”. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  
  - ❖ Günther, K, R., Baur, S., Wolf, G., Hammes, W. P., Carle, R. (2005). Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6: 351-362.
  
  - ❖ Gutiérrez, A. D. M., Ortiz, G. C. A., Mendoza, C. A. (2008). Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal. Simposio de Metrología. Querétaro, México.
  
  - ❖ Gutiérrez, S. L y Juárez, P. L. (2011). Efecto del tratamiento de irradiación gamma y hidrotérmico en el control de antracnosis en papaya (*Carica papaya L.*) variedad “maradol” para exportación. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  
  - ❖ Grajales, S. F. (2012). Biofertilización de plantas de pimiento morrón (*Capsicum annuum L.*) con rizobacterias del género *Pseudomonas* en invernadero. Trabajo de experiencia recepcional. Ingeniería en agronomía. Facultad de ciencias agrícolas. Universidad veracruzana. México.
  
  - ❖ Hernández-Fuentes, A., Campos, M., Pinedo, E. J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annuum L.*) var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1): 82-91.



- 
- ❖ Hernández-Lauzardo, A., Bautista, B. S., Velázquez del Valle, M. G. (2007). Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotec.*, 30(2): 119-123.
  
  - ❖ Herrero, A.M. y Romero de Avila, M. D. (2006). Innovaciones en el procesamiento de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de Medicina de la universidad de Navarra*, 50(4): 71-74.
  
  - ❖ Hortalizas. (2008). Reduce pérdidas poscosecha. Consultado en Julio 2015. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/uncategorized/reduce-perdidas-poscosecha/>
  
  - ❖ INFOAGRO. (2012). El cultivo del pimiento. Consultado en Junio 2015. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>
  
  - ❖ Infojardin. (2015). Plagas, enfermedades y fisiopatías en cultivo de pimientos. Consultado en Enero 2015- disponible en: <http://articulos.infojardin.com/huerto/cultivo-pimiento-pimientos.htm>
  
  - ❖ Klaiber, R. G., Baur, S., Wolf, G., Hammes, W. P., Carle, R. (2005). Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6: 351-362.
  
  - ❖ Kraśniewska, K., Gniewosz, M., Synowiec, A., Przybył, J. L., Bączek, B., Węglarz., Z. (2014). The use of pullulan coating enriched with plant extracts from *Satureja hortensis* L. to maintain pepper and apple quality and safety. *Postharvest Biology and Technology*, 90: 63-72.
  
  - ❖ Landero, V. N., Nieto, A. D., Tellez, O. D., Alatorre, R. R., Orozco, S. M., Ortiz, G. C. F. (2013). Potencial antifúngico de extractos de cuatro especies vegetales sobre el crecimiento de *Collectotrichum gloesporoides* en papaya (*Carica papaya*) en poscosecha.



- 
- ❖ León, A. A. (2009). Propuesta tecnológica para la conservación de champiñón (*Agaricus bisporus*) refrigerado mínimamente procesado. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  - ❖ Lima, G. P. P., Machado, M. T., Furtado, R. N., Fleuri, F. L., Vieira, M., Oliveira, M. L., Vianello, F. (2013). Influence of sanitation on the physico- chemical and microbiological quality of organic and conventional brócoli. *African Journal of Biotechnology*, 12(18): 2456-2463.
  - ❖ López, G. F., Allende, A., Selma, M. V., Gil, M. I. (2009). Prevention of *Escherichia coli* cross-contamination by different commercial sanitizers during washing of fresh-cut lettuce. *International Journal of Food Microbiology*, 133: 167-171.
  - ❖ Maroto, B. J. (2002). *Horticultura herbácea especial*. 5<sup>a</sup> Ed. Mundi prensa. España.
  - ❖ Martínez, S. A., Allende, A., Bennett, R N., Ferres, F., Gil, M. I. (2006). Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology*, 42: 86-97.
  - ❖ Meléndez, M. A. J., Vicario, M. I., Heredia, F. J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2).
  - ❖ Meléndez, M. A. J., Vicario, M. I., Heredia, F. J. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2): 109-117.
  - ❖ Mendoza, A. V. (2011). Nanoemulsión de mucílago de nopal *opuntia ficus* con dl- $\alpha$ -tocoferol, una alternativa para preservar la manzana fresca cortada y conservada a bajas temperaturas. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  - ❖ Molina, G. S., Rotta, F. M. C., Torres, E. (2004). Incidencia de infecciones quiescentes de *Botrytis cinérea* e flores y frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*). *Agronomía Colombiana*, 22(2): 101-109.





- 
- ❖ Montes, B. R., Cruz, C. V., Martínez, M. G., Sandoval, G. G., García, L. R., Zilch, D.S. *et al.* (2000). Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 18(2): 125-131.
  - ❖ Montero, C. M., Rojas, G. M A., Soliva, F. R., Martín, B. O. (2009). Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional*, 69: 48-51.
  - ❖ Montes de Oca, R. E. (2009). Contenido y actividad antioxidante de pimientos (*C. Annum*) de diferente color. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  - ❖ Moreno, L. S., González, S. L., Salcedo, M. S., Cárdenas, A. M., Perales, R. A. (2011). Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Polibotánica*, 32:193-205.
  - ❖ Muy, R. D., Siller, C. J., Díaz, P. J., Valdéz, T. B. (2004). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2): 157-165.
  - ❖ Navarrete, G. K. (2009). Aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina para preservar la calidad de la zarzamora (*Rubus fruticosus*) almacenada en refrigeración lista para consumir. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  - ❖ Nogales, D. S., Bohoyo, G. D., Fernández, L. A. M. Moreno, D. C. D., Delgado, A. J. (2015). Consultado en Octubre 2015. Disponible en: [http://www.sech.info/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=28&Itemid=36](http://www.sech.info/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=28&Itemid=36)
  - ❖ NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias. Norma oficial mexicana. Consultado en Junio 2014. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>



- 
- ❖ NOM-111 SSA1-1994 Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. . Norma oficial mexicana. Consultado en Junio 2014. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>
  - ❖ NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes totales en placa. . Norma oficial mexicana. Consultado en Junio 2014. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>
  - ❖ Nuez, V. F., Gil, O. R., Costa, G. J. (2003). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi Prensa. España.
  - ❖ Orberá, R. T M. (2004). Acción perjudicial de las levaduras sobre los alimentos. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: [http://www.bvs.sld.cu/revistas/spu/vol30\\_3\\_04/spu16304.htm](http://www.bvs.sld.cu/revistas/spu/vol30_3_04/spu16304.htm)
  - ❖ Osuna, E. T., Ibarra, Z. M. E., Muy, R. M. D., Valdez, J. B., Villareal, R. M., Hernández, V, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus Haw.*) cosechados en tres estados de madurez, Revista Fitotecnica Mexicana, 34(1): 63-72.
  - ❖ Padrón-Pereira, C. A. y Padrón León, G. M. (2012). Determinación del color en epicarpios de mango (*Mangifera* sp.) y plátano (*Musa* AAB) en maduración mediante sistema de visión computarizada. Revista Venez. Cienc. Tecnol. Aliment., 3(2): 302-318.
  - ❖ Parzanese, M. (2012). Vegetales mínimamente procesados. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: [http://issuu.com/alimentosargentinos.gob.ar/docs/revista\\_aa55](http://issuu.com/alimentosargentinos.gob.ar/docs/revista_aa55)
  - ❖ Pascual, A. M. R. (2000). Microbiología alimetario: metodología analítica para alimentos y bebidas. 2<sup>da</sup> Ed. Díaz Santos. Madrid, España.
  - ❖ Pastor, N. C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.



- 
- ❖ Pérez-Cordero, A., Rojas, S. J., Chamorro, A. L., Pérez, P. K. (2011). Evaluación in vitro de la actividad inhibitoria de extractos vegetales sobre aislados de *Colletotrichum spp.* Acta Agronómica, 60(2): 158-164.
  
  - ❖ Pérez-Martínez, G. (2012). Extracción de compuestos activos de plantas para su aplicación en recubrimientos comestibles para controlar podredumbre gris en la fresa. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  
  - ❖ Pérez, P. E. P. y López, M. A. (2011). Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 5(2): 13-27.
  
  - ❖ Piagentini, A. M. (1999). Conservación de vegetales listos para usar por la tecnología de factores combinados. Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Argentina.
  
  - ❖ Pighín, G. A. F., Rossi de R. A. L. (2010). Espinaca fresca, supercongelada y en conserva: contenido de vitamina c pre y postcocción, Revista Chilena de Nutrición, 37(2): 201-207.
  
  - ❖ Pilon, L., Oetterer, M., Gallo, C. R., Spoto, M. H. F. (2006). Shelf life of minimally processed carrot and green pepper. Cienc. Tecnol. Aliment., Campinas, 26(1): 150-158.
  
  - ❖ Pineda, D. (2015). Envases activos: Una alternativa innovadora para alargar la vida útil de los alimentos. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2773/Art%20Envases%20Activos%20oct%2012.pdf>
  
  - ❖ Pretel, P. M T. (2015). Tendencias actuales en el envasado de fruta mínimamente procesada. Consultado en Octubre de 2015. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Poscosecha/Articulos/136367-Tendencias-actuales-en-el-ensado-de-fruta-minimamente-procesada.html>



- 
- ❖ Ponce, A. G., Roura, S I., Del valle, C. E., Moreira, M R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *In vitro* and *in vivo* studies. *Postharvest Biology and Technology*, 49: 294–300
  
  - ❖ Quiroz, R. C., Aguilar, M. M., Ramirez, O. M., Ronquillo, E. (2013). Comparative study of ultrasound and maceration techniques for the extracción of polyphenols from cocoa beans (*Theobroma cacao L.*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1): 11-18.
  
  - ❖ Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., Silva, C. L .M. (2013). Fresh fruits and vegetables an oveeeerview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Sciencie and Emerging Technologies*, 20: 1-15.
  
  - ❖ Ramos-García, M.L., Bautista, B, S., Barrera, N, L. L., Bosquez M, E., Alia, T, I., *et al.* (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28: 46-57.
  
  - ❖ Raybaudi, M. R M., Tapia. M. S., Mosqueda, M. J. (2012). Películas y recubrimientos comestibles con efecto antimicrobiano. Consultado en Octubre 2015. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/5766/1/RaybaudiMassilia%20et%20al%202012%20%20Películas%20y%20Recubrimientos%20comestibles%20con%20efecto%20antimicrobiano%20\(M%C3%A9xico\).pdf](http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/5766/1/RaybaudiMassilia%20et%20al%202012%20%20Películas%20y%20Recubrimientos%20comestibles%20con%20efecto%20antimicrobiano%20(M%C3%A9xico).pdf).
  
  - ❖ Renumarn, P., Srilaong, V., Uthairatanakij, A., Kanlayanarat, S., Jitareerat, P. (2014). The effects of immersion methods and concentration of ozonated water on the microbial counts and the quality and sensory attributes of fresh-cut broccoli. *International Food Research Journal* 21(2): 533-539.
  
  - ❖ Ribeiro, C., Vicente A. A., Teixeira J. A., Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* 44: 63–70.
  
  - ❖ Rivera, L. J., Vázquez, O. F. A., Ayala, Z. J. F., Gonzáles, A. G. A. (2005). Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada



---

(*Carica papaya* L. cv "maradol"). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. S.C., 6(2): 83-94.

- ❖ Rice, R. G. (1999). Ozone in the U.S.A. e state-of-the-art. *Ozone: Science and Engineering*, 21: 99-118.
- ❖ Rinaldi, M. M., Sandri, D., Ribeiro, M de O., Amaral, A. G. (2008). Physico-chemical and nutritional characteristics of bell pepper produced in the field and through a hydroponic production system. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(3): 558-563.
- ❖ Robles, S. M., Gorinstein, S., Martín, B. O., Astiazarán, G. H., González, A. G., Cruz, V. R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32(4): 227-232.
- ❖ Rodríguez-Amaya. D. B. (1997). Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos Preparados, Procesados y Almacenados. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.inta.cl/latinfoods/Carotenoides%20y%20preparaci%C3%B3n%20de%20alimentos.htm>
- ❖ Rodríguez-Sauceda. E. N. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*, 7(1): 153-170.
- ❖ Rodríguez, S del C y Qüesta, A. G. (2009). Evaluación sensorial de vegetales frescos y mínimamente procesados Trabajos Completos del CLICAP. Pág. 1 - 7.
- ❖ Rojas Ávila, M., Vargas, V. L., Tamayo, C. J. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología y Postcosecha*, 8(2): 153-161.
- ❖ Rojas Camacho, A. Y. (2008). Estudios sobre tecnologías emergentes para la conservación de frutos y hortalizas: ventajas y beneficios tecnológicos. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.



- 
- ❖ Rojas Graü, M. A. (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Lleida, España.
  - ❖ Rotondo, R., Ferratto, J. A., Firpo, I. T. (2008). Hortalizas mínimamente procesadas o de IV Gama. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/3AM26.htm>
  - ❖ Ruelas, C. X., Reyes, V. M L., Valdivia, U. B., Contreras, E. J. C., Montañez, S. J.C., Aguilera, C. A. F., et al. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila. 5(2): 31-37.
  - ❖ Ruiz, T. J C. (2011). Estudio de carotenoides en el chile mulato, sus posibles aplicaciones, así como el papel de los carotenoides en la fotosíntesis. Tesis de licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química. UNAM. México.
  - ❖ Salazar, A. L. (2013). Aplicación de atmósferas modificadas en manzana “red delicious” y “Golden delicious” mínimamente procesada para el control de pardeamiento enzimático. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  - ❖ Salinas, H. R M., Pirovani, M E., Gardea, B. A. A., González, A. G. A. (2010). Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango fresco cortado. Revista Fitotec. Mex., 33(3): 215-223.
  - ❖ Salunkhe, D. K. y Kadam, S. S. (2003). Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. Acibia.
  - ❖ Sánchez, S. A. (2013). Caracterización de películas biodegradables y su aplicación como envase activo en zarzamoras (*Rubus fruticosus*) para el control de podredumbre gris. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.



- 
- ❖ Sanz, E. (2013). Cinco beneficios de comer pimientos rojos. Consultado en Agosto 2015. Disponible en: <http://www.muyinteresante.es/salud/articulo/cinco-beneficios-de-comer-pimientos-rojos-461365684807>
  - ❖ Sela, S. y Fallik, E. (2009). Microbial Quality and Safety of Fresh Produce. , Postharvest Handling, 351-398.
  - ❖ Selma, M. V., Allende, A., López-Gálvez, F., Conesa, M. A., & Gil, M. I. (2008). Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry. Food Microbiology, 25: 809-814.
  - ❖ Sepúlveda, E., Galleti, L., Sáenz, C. Tapia, M. (2000). Minimal processing of pomegranate cv Wonderful. Options Mediterraneennes. Serie A. Seminaires Méditerranéens, 42: 234-242.
  - ❖ SIAP. (2014). Producción de pimiento morrón. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
  - ❖ Sosa, C. D. D. (2014). Aplicación de recubrimientos comestibles en pepino (*Cucumis sativus* L.) para el control de antracnosis. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  - ❖ Sorian, C., Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food a review. Trends in Food Science & Technology, 21(1). 323-331.
  - ❖ Shao, X. F., Tu, K., Tu, S., & Tu, J. (2012). A combination of heat treatment and chitosan coating delays ripening and reduces delay in “Gala” apples fruit. Journal of Food Quality, 35(2): 83–92.
  - ❖ Stauffer, B. A., Orrego, A., Aquino, A. (2000). Selección de extractos vegetales con efecto fungicida y/ o bactericida. Revista de Ciencia Y tecnología, 1(2): 29-33.



- 
- ❖ SAGARPA-SIAP. (2014). Producción de Pimiento en México. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
  
  - ❖ Synowiec, A., Gniewosz, M., Kraśniewska, K., Leon Przybył, J., Bączek, K., Węglarz, Z. (2014). Antimicrobial and antioxidant properties of pullulan film containing sweet basil extract and an evaluation of coating effectiveness in the prolongation of the shelf life of apples stored in refrigeration conditions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 23: 171–181
  
  - ❖ Tecnología de los plásticos. (2011). Consultado en Noviembre 2015. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/05/pet.html>
  
  - ❖ Tun, S. J. M., Catillo, P. M., Cristóbal, A. J. Latournerei, M. (2011). Etiología de la mancha foliar del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y su control *in vitro* en Yucatán, México. *Fitosanidad*, 15(1):5-9.
  
  - ❖ Trejo, M. M A., Ramos, L. K., Pérez, G. C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*fragaria vesca* l.) almacenada en refrigeración. V congreso iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones. 230-239.
  
  - ❖ Trigos, A., Ramírez, K., Salinas, A. (2008). Presencia de hogos fitopatógenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. *Revista Mexicana de Micología*, 28: 125-129.
  
  - ❖ Vázquez, M. M. V. (2013). Conservación de granada mínimamente procesada en atmósferas modificada pasiva y desinfectada con ozono, radiación UV-C, soluciones de plata coloidal y cloro. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
  
  - ❖ Venema, C. (2013). Uso, almacenamiento y conservación de pimientos. Consultado en Septiembre 2015. Disponible en: [http://msue.anr.msu.edu/program/mi\\_fresh/michigan\\_fresh\\_vegetables](http://msue.anr.msu.edu/program/mi_fresh/michigan_fresh_vegetables)





- 
- ❖ Villegas, C. A. (2005). Cambios en la calidad de frutos de litchi mínimamente procesados. Tesis de licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Hidalgo, México.
  - ❖ Viveros, F. J. y Castaño, Z. J. (2006). Evaluación in vitro de extractos vegetales sobre *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Agron*, 14(1): 37-50.
  - ❖ Waizel, B. J. y Camacho, M. R. (2011). El género *Capsicum spp.* *ALEPHE ZERO*, 16(60): 60-79.
  - ❖ Yeoh, W. K., Ali. A., Forney C. F. (2014). Effects of ozone on major antioxidants and microbial populations of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*, 89: 56-58.
  - ❖ Zúñiga, E. L., Martínez, H. J., Baca, C. G., Martínez, G. A., Tirado, T. J., Kohashi, S. J. (2004). Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia*, 38(2): 207-218.

