



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DESARROLLO DE UN ENVASE ACTIVO CON EFECTO ANTIFÚNGICO Y ANTIBACTERIAL PARA LA CONSERVACIÓN DE PAPAYA MARADOL

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

AIDE GABRIELA PONTIGO SUÁREZ

ASESORAS:

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

CUAUTITLÁN IZCALLI 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

Desarrollo de un envase activo con efecto antifúngico y antibacterial para la conservación de papaya maradol

Que presenta la pasante: Aide Gabriela Pontigo Suárez
Con número de cuenta: 409016516 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 31 de julio de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
VOCAL	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	M. en c: María Guadalupe Amaya León	
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).

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, UNAM.

*"¿Y si en vez de planear tanto voláramos
un poco más alto?"*

-Mafalda

A Jesús y María

A Juanito, José y Marian

A mis abuelos

Agradecimientos



Señor Jesús: Te agradezco por el don de la vida y por las oportunidades que me has dado hasta este momento de mi existencia. Gracias por todas tus bondades: sin la fuerza y el inmenso amor que me brindas cada día ninguno de mis logros se llevaría a cabo... *Gracias, Señor.*

Mamá Jose: Por no rendirte jamás ante la adversidad, por tu valentía, por tu apoyo incondicional, por el ejemplo de tenacidad, por tu compañía en esos desvelos previos a entrega de reportes, exámenes finales o seminarios, por todos los sacrificios que has hecho por mi hermana y por mí. Mi modelo de mujer, te amo. *Gracias, mamita.*

Papá Juan: Por el trabajo duro y constante para cuidar de nosotras, por las lecciones de vida, por el ejemplo de ética profesional y por los valores con los que me has formado, por tus ánimos y tu apoyo a lo largo de este proyecto (y de todos mis proyectos). Por ser mi mejor amigo en los momentos más complicados. Orgullosa de por fin llamarte "colega". *Gracias, pa'.*

Merry: Por todos los momentos que hemos compartido, por ser mi compañera de vida en las buenas y en las malas, por enseñarme a ser fuerte en los momentos de dificultad, por tu apoyo intelectual y espiritual, por darme el regalo más hermoso que puedo recibir, por tus consejos y tu amor. Mi gemelita. *Gracias, hermanita.*

Alfredo: Por formar parte importante en esta recta final, por todos los momentos que hemos compartido, por tu compañía en mis desvelos, por los ánimos, por tu cariño y comprensión, por estar incondicionalmente a mi lado. *Gracias, mur.*

Corpus Christi: Por ser parte importante de esta aventura, por todas las experiencias vividas junto con nuestro mejor amigo, los momentos de aprendizaje y de gozo, por todo su apoyo, comprensión y por las virtudes que no dudaron en compartir conmigo. Mis hermanos de espíritu. *Elizabeth, Luis Jesús, Sandy, Andrés, Anita, Fanny, Estrella, Jackeline, Karla, Jorge, Fernando, David, Abi, Sandra, Esme, Migue, Anita (House), Abraham... (los que estuvieron y los que están), a todos: gracias.*

Ramón Uriel: Por ser el ejemplo vivo de que en un segundo, con una acción por más pequeña que sea, la vida le cambia absolutamente. Por ser una persona siempre dispuesta a ayudar, por

enseñarme que las mejores lecciones se aprenden de las situaciones difíciles, por las experiencias que me has permitido vivir contigo, por las conversaciones en portugués y esperanto, por aceptarme tal y como soy, por tu apoyo, tu amistad y tu cariño, por ser parte importante de este proceso de transformación... *Gracias, Ramoncito.*

Amados amigos: Por los momentos de risas interminables, por las ideas locas compartidas, por las discusiones que terminaban en abrazos, por estar al pendiente de mí aun cuando hemos tomado diferentes senderos, por su apoyo en las situaciones difíciles, por las canciones dedicadas, por regalarme su amistad y permitirme formar parte de su vida. Siempre los llevo en mi corazón. *Fanny Molina, Chris, Gelos, Josafath, Esme, Tania (Boddy), Diego, Gio... Gracias, mis hermanos.*

Colegas y amigos: Por el entusiasmo, la ansiedad compartida por los resultados en los finales, por los ánimos mutuos, los desvelos en equipo, el apoyo, el compañerismo y la motivación con su ejemplo para ser mejor cada día. Subir esta cuesta sin ustedes a mi lado habría sido más difícil. *Dacis, Ara, Citla, Alka, Lesli, Haydeé, Aldo, Johny, Arely, Sebas, Itzelita, Yadir. Gracias, amigos míos.*

Tíos: Por su apoyo, por su ejemplo de generosidad, empeño y trabajo duro, por estar al pendiente de mis papás y por ser una motivación para mi hermana y para mí para emprender en la vida. *Los quiero mucho, gracias, tíos.*

Tec. César Orona: Por el apoyo y los ánimos que nos dio a la familia en este proceso. *Gracias, señor César.*

Doctora Andrea: Por darme la oportunidad para participar en sus proyectos, por su apoyo en todos los aspectos, por los ánimos y el compromiso para llevar a cabo este trabajo, por su paciencia y por sus enseñanzas, por compartir su experiencia con sus tesis y por todo lo que ha hecho por nosotros. Una mujer admirable. *Gracias, Doctora.*

Maestra Alma: Por tu disposición, ganas, motivación y amor para sacar adelante este proyecto, por enseñarme a trabajar con esmero y que las cosas hechas a medias no son una opción, por tu apoyo e interés en mi formación profesional. *Gracias, Ade.*

Maestra Selene: Por compartir tus conocimientos sin escatimar, por la entrega profesional con tus alumnos, por tu comprensión y apoyo. *Gracias, Selene.*

Dra. Carolina Moreno, M. en C. Tais Nopal y M. en C. Guadalupe Amaya: Por el tiempo que dedicaron a la revisión de este proyecto y por enriquecerlo con su experiencia. *Gracias.*

U.N.A.M.: Por su generosidad y su apoyo durante mi educación profesional, por los catedráticos y las oportunidades que ofrece para formar profesionistas cabales y dignos de servir al país. *Gracias.*



Índice general

	<i>Pág.</i>
Índice de Tablas	iii
Índice de Figuras	iii
Resumen	1
1. Introducción	3
2. Antecedentes	6
2.1. Generalidades de la papaya	7
2.2. Producción mundial y nacional de la papaya	8
2.3. Composición química	10
2.4. Cosecha, manejo poscosecha y condiciones de almacenamiento de la papaya	11
2.5. Pérdidas poscosecha	13
2.5.1. Plagas y enfermedades	14
2.5.1.1. Antracnosis	17
2.5.2. Contaminación por patógenos	19
2.5.2.1. <i>Salmonella typhi</i>	20
2.6. Tratamientos para el control y erradicación de hongos y patógenos	22
2.6.1. Tratamientos químicos y físicos	22
2.6.3. Envases activos	24
2.6.4. Recubrimientos biodegradables activos	26
2.6.4.1. Definición y propiedades	26
2.6.4.2. Materiales de elaboración	27
2.6.4.3. Aceite esencial de Orégano	29
3. Objetivos	34
4. Materiales y métodos	36
4.1. Cuadro metodológico	37
4.2. Material biológico	38
4.3. Obtención del aceite esencial de Orégano	38



	<i>Pág.</i>
4.4. Pruebas <i>in vitro</i> en <i>Salmonella typhi</i>	39
4.5. Pruebas <i>in vitro</i> en <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	40
4.6 Elaboración del envase activo	41
4.7 Pruebas de reto microbiano para determinar la efectividad en <i>Salmonella typhi</i>	42
4.8 Pruebas de reto microbiano para determinar la efectividad en <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	44
4.9. Parámetros fisiológicos	46
4.10. Parámetros de calidad	47
4.11. Parámetros microbiológicos	48
4.12. Tratamiento de datos	49
5. Resultados y discusión	50
5.1. Efecto del aceite esencial de orégano (<i>Lippia graveolens</i>) en el crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Salmonella typhi</i> y <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	51
5.2. Evaluación del efecto inhibitorio de los recubrimientos en <i>Salmonella typhi</i> .	55
5.3 Efecto de los envases activos en el control de antracnosis	56
5.3.1. Índice de decaimiento	60
5.3.2. Severidad de la enfermedad	62
5.4. Efecto de los recubrimientos sobre los parámetros de calidad en papaya fresca.	66
5.4.1. Respiración	66
5.4.2. Pérdida de peso	68
5.4.3. Color	70
5.4.4. Firmeza	79
5.4.5. Sólidos solubles totales	76
Conclusiones	82
Recomendaciones	85
Bibliografía	87



Índice de Tablas

<i>Tabla</i>	<i>Pág.</i>
1. Variedades de papaya cultivadas en México	10
2. Composición química de la papaya	11
3. Plagas de mayor importancia que afectan el cultivo de papaya en México	14
4. Principales enfermedades que afectan al fruto de la papaya en México	16
5. Aceites esenciales con efecto fungicida contra algunas especies de hongos poscosecha importantes en la producción hortofrutícola.	30
6. Efecto bactericida de los aceites esenciales en bacterias patógenas en humanos.	31
7. Escala de daño producido por <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> en papaya fresca	49

Índice de Figuras

<i>Figuras</i>	<i>Pág.</i>
1. Árbol <i>Carica papaya</i>	7
2. Fruto <i>Carica papaya</i>	7
3. Grados de madurez en la papaya después de la cosecha	8
4. Orden de participación en la producción a nivel mundial, 2012	9
5. Producción agrícola (Riego+Temporal) de papaya en 2013	9
6. Envase y embalaje adecuado para comercializar el fruto de papaya	12
7. Malas condiciones de recolección y almacenamiento	13
8. Morfología de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	18
9. Hundimientos y "pelado" provocado por <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	19
10. Morfología microscópica de <i>Salmonella typhi</i>	20
11. Lavado de papaya por inmersión	22
12. Espectro electromagnético	24



<i>Figura</i>	<i>Pág.</i>
13. Envases activos	25
14. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles	27
15. Algunos materiales para elaboración de recubrimientos comestibles	28
16. Dispositivo para extraer aceite esencial por arrastre de vapor	30
17. <i>Lippia graveolens</i>	33
18. Estructura química de Carvacrol y Timol	33
19. Recepción del fruto	38
20. Dispositivo para obtener aceite esencial de orégano	39
21. Diagrama para la inoculación <i>in vitro</i> con <i>Salmonella typhi</i>	40
22. Diagrama para la inoculación <i>in vitro</i> de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	41
23. Homogeneizador Wiggen Hauser D-500	42
24. Diagrama para la inoculación con <i>Salmonella typhi</i> y aplicación de los recubrimientos en papayas frescas.	42
25. Diagrama del método para determinar la efectividad bactericida de los envases.	44
26. Metodología para obtener inóculo de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	44
27. Metodología para la aplicación del envase activo en papayas inoculadas con <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	45
28. Medición de tasa de respiración	46
29. Medición de pérdida de peso	47
30. Medición de color	47
31. Medición de firmeza	48
32. Refractómetro digital Atago	48
33. Evaluación del índice de decaimiento	49
34. Pruebas <i>in vitro</i> (antibiograma) con <i>Salmonella typhi</i> .	51
35. Longitudes de los halos de inhibición obtenidos en las dos concentraciones de aceite esencial de orégano y efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano en el crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Salmonella typhi</i> en 24 horas.	53



<i>Figura</i>	<i>Pág.</i>
36. Evaluación <i>in vitro</i> del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano	54
37. Crecimiento de <i>Salmonella typhi</i> sobre papaya ‘Maradol’ donde I es lote Infectado; I+F1 e I+F2 son lotes Infectados con los prototipos de envases activos semicomerciales F1 y F2; I+RO es el lote Infectado con envase con Orégano; y NI es el lote No Infectado.	56
38. Efecto de los envases activos en el índice de decaimiento de papaya fresca almacenada a 14°C durante 16 días. A) RO: el envases con aceite esencial de Orégano; B) F1 y F2: prototipo de envases semi-comerciales.	60
39. Efecto de los envases activos a base de aceite esencial de orégano RO (A) y los prototipos semi-comerciales (B) en la respiración en papaya Maradol durante 16 días de almacenamiento en cámara frigorífica (14°C).	62
40. Efecto de los envases activos en papayas inoculadas con <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> almacenadas a 14°C durante 16 días.	65
41. Efecto de los envases activos a base de aceite esencial de orégano RO (A) y los prototipos semi-comerciales (B) en la respiración en papaya Maradol durante 16 días de almacenamiento en cámara frigorífica (14°C).	66
42. Efecto de los envases activos sobre la pérdida porcentual de peso en papayas recubiertas con A) RO: aceite esencial de Orégano; y con B) F1 y F2: prototipos semi-comerciales.	69
43. Efecto de la aplicación de envases activos (A) con Aceite de Orégano (RO); (B) F1 y F2 prototipos semi-comerciales en la luminosidad de papaya Maradol Fresca almacenada en cámara frigorífica (14°C) durante 16 días.	71
44. Efecto de la aplicación de envases activos (A) adicionado con Aceite de Orégano (RO); (B) F1 y F2 prototipos semi-comerciales en la cromaticidad de papaya Maradol Fresca almacenada en cámara frigorífica (14°C) durante 16 días. Las barras verticales indican \pm desviación estándar.	73
45. Efecto de la aplicación de los envases activos (A) adicionado con Aceite de Orégano (RO); (B) F1 y F2 prototipos semi-comerciales en el Tono de color de papaya Maradol Fresca almacenada en cámara frigorífica (14°C) durante 16 días.	75
46. Efecto de los envases activos sobre la firmeza en papaya fresca. A) Con recubrimiento de aceite de Orégano (RO); B) Prototipos semi-	77



- comerciales (F1 y F2).
47. Efecto de los envases activos de aceite esencial de orégano RO (A) y prototipos semi-comerciales (B) F1 y F2 en el contenido de sólidos solubles totales en papaya Maradol durante 16 días de almacenamiento en cámara frigorífica (14°C). Las barras verticales indican \pm desviación estándar. 79





Resumen

México es el segundo productor de papaya más importante de América Latina y el primer exportador para Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, la papaya es muy susceptible a padecer enfermedades fúngicas como la antracnosis, una de las principales causas de pérdidas post.-cosecha y económicas, y a la contaminación con patógenos como *Salmonella* si no se le da un tratamiento pos-cosecha adecuado, lo que implica riesgos a la salud de los consumidores. El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un envase activo adicionado con aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* y *Salmonella typhi* en papaya mexicana ‘Maradol’, así como comparar su efectividad con el de dos prototipos semi-comerciales para prolongar su vida útil y contribuir a resolver problemas de inocuidad. Papayas de la variedad maradol fueron seleccionadas, lavadas y clasificadas según su estado de madurez. La extracción del aceite esencial de Orégano se realizó por arrastre de vapor con una relación de 1:1 de agua:orégano y por un tiempo de 2 horas. El efecto antibacterial y antifúngico del aceite extraído se determinó mediante pruebas *in vitro* utilizando las concentraciones de 3000, 4000 y 5000ppm para *Colletotrichum gloeosporioides* y a 1680 y 2250ppm para *Salmonella typhi*. Posteriormente la concentración de aceite esencial de Orégano de mayor poder antifúngico y antibacterial fue adicionada a la matriz de carboxmetilcelulosa para elaborar el envase activo y así compararlo con dos semi-comerciales mediante pruebas de reto microbiano y evaluando su efecto en los parámetros de calidad (respiración, pérdida de peso, color, firmeza y sólidos solubles totales) de las papayas. En las pruebas *in vitro* se obtuvieron resultados favorables en cuanto a la efectividad antibacteriana y antifúngica del aceite esencial de Orégano ya que se obtuvo una inhibición total en el crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides*. Por otra parte, tanto el envase activo con aceite de orégano como los prototipos comerciales controlaron el crecimiento de microorganismos sobre la fruta, siendo el primero el que presentó mejores resultados en las pruebas de calidad, en donde el envase activo con aceite de orégano afectó en menor medida la firmeza, el contenido de sólidos solubles totales y el color en comparación de los recubrimientos semi-comerciales, los cuales provocaron un daño en la dermis de los frutos.

A photograph of five yellow-orange fruits, possibly grapefruit or orange, resting on a red mesh tray. The tray is placed on a wooden surface. The background is slightly blurred, showing some boxes and a blue object. The word "Introducción" is overlaid in a large, white, bold font with an orange outline.

Introducción



Introducción

La papaya (*Carica papaya*) es una baya ovoide, cuya forma varía de casi esférica a oblonga o periforme, la pulpa es de color amarillo anaranjado o rojizo; succulenta y aromática, de sabor agradable y dulce (FAO, 2008). México es el segundo productor más importante de América Latina, en donde sus principales variedades cultivadas son la Maradol y Red Lady (Evans y Ballen, 2012).

Diversos factores contribuyen a las pérdidas poscosecha de la papaya, pudiendo ser factores biológicos, mecánicos, microbiológicos y fisiológicos (Satin, 2000). Sin embargo, la antracnosis en el cultivo de papaya es la enfermedad más importante en poscosecha y es causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* que produce tres tipos de síntomas en los frutos de la papaya: a) lesión típica de antracnosis, b) mancha chocolate y c) pudrición del pedúnculo (Trujillo y Obrero, 1969; Dickman y Álvarez, 1993).

Por otro lado, las distintas etapas que un producto debe pasar desde la cosecha hasta el consumo tanto en fresco como procesado, proveen innumerables oportunidades para incrementar el nivel de contaminación que naturalmente trae del campo. Esencialmente existen tres tipos de organismos que pueden ser transportados por las frutas y hortalizas y que representan un peligro para la salud humana: virus (*hepatitis A*, por ejemplo), bacterias (*Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Shigella* spp. y otras) y parásitos (*Giardia* spp., por ejemplo) (FAO, 2008). Las frutas y verduras han ganado notoriedad en años recientes como fuentes de salmonelosis humana (Scallan *et al.*, 2011).

Uno de los métodos con potencial para conservar la vida poscosecha de frutas y hortalizas destinadas al consumo en fresco lo constituye el uso de envases activos, los cuales interactúan de una forma activa pudiendo incorporar sustancias al contenido del envase o absorbiendo componentes desde el contenido con el objeto de mejorar su calidad y aceptabilidad (López *et al.*, 2010). Dentro de los envases activos se encuentran las películas o recubrimientos comestibles que pueden servir como vehículos para un amplio rango de aditivos con la finalidad de proporcionar mayores atributos como es el control de



microorganismos. Entre los aditivos naturales están los aceites esenciales de plantas aromáticas y medicinales presentan bioactividades notables como son propiedades antifúngicas, antibacteriales y antioxidantes (Bosquez, 2003; Henao, 2010), tal es el caso de aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) y sus derivados que han sido estudiados por sus efectos antimicrobianos; en particular, esta efectividad se atribuye a dos compuestos presentes en su aceite esencial, carvacol y timol, los cuales inhiben a los microorganismos patógenos (Paredes-Aguilar *et al.* 2007).

Por lo que el objetivo de este trabajo fue desarrollar un envase activo adicionado con aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* y *Salmonella typhi* para papaya mexicana ‘Maradol’, así como comparar su efectividad con el de dos prototipos semi-comerciales para prolongar su vida útil y contribuir a resolver problemas de inocuidad.





2. Antecedentes

2.1. Generalidades de la papaya

La papaya es un fruto que pertenece al reino *Plantae*, en la división *Magnoliophyta*, clase *Magnoliopsida*, orden *Violales*, familia *Caricaceae*, género *Carica L*, especie *papaya L*. Es una herbácea arborescente de crecimiento rápido, de corta vida, de tallo sencillo o algunas veces ramificado, de 2-10 m de altura, con el tronco recto, cilíndrico, suave, esponjoso-fibroso suelto, jugoso, hueco, de color gris o café grisáceo, de 10-30 cm de diámetro y endurecido por la presencia de cicatrices grandes y prominentes causadas por la caída de hojas e inflorescencias (Figura 1) (Casaca, 2005).



Figura 1. Árbol *Carica papaya*.
Fuente: Trade Winds Fruit (2010).

El fruto de la papaya es una baya ovoide, cuya forma varía de casi esférica a oblonga o periforme; posee una cavidad cuyo tamaño puede ser pequeña o mayor que la mitad del diámetro del fruto, esta cavidad contiene las semillas que pueden ser muy numerosas o prácticamente no existir (Figura 2). La pulpa es de color amarillo anaranjado o rojizo; succulenta y aromática, de sabor agradable y dulce (FAO, 2008).



Figura 2. Fruto *Carica papaya*.
Fuente: FAO (2008).



Es una fruta climatérica lo que quiere decir que la maduración continúa después de cosechado, produciendo cantidades significativas de etileno, conjuntamente con la presencia de un alto ritmo respiratorio (Figura 3). Después de la cosecha es muy susceptible a los daños físicos y al deterioro en general por lo que su manejo tiene que ser muy cuidadoso (FAO, 2008).

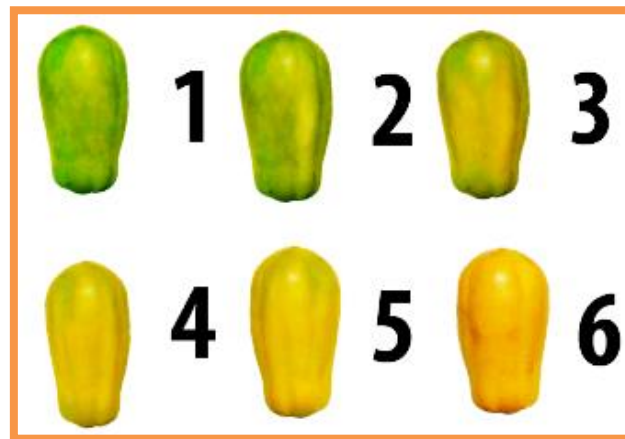


Figura 3. Grados de madurez en la papaya después de la cosecha: 1. Verde; 2. 3/4 verde; 3. 2/4 verde; 4. 2/4 amarillo; 5. 3/4 amarillo; 6. Amarilla o madura maciza.

Fuente: NMX-FF-041-SCFI-2003.

En cuanto a su origen geográfico, en general se considera que esta planta es originaria del sur de México y Centroamérica, aunque existe cierta controversia ya que algunos investigadores sugieren que podría ser nativa del Caribe, en tanto otros la ubican entre Nicaragua y Honduras, o al Noroeste de América del Sur, en la vertiente oriental de los Andes (SAGARPA, 2013).

2.2. Producción mundial y nacional de la papaya

La papaya se produce en más de 60 países y su producción se concentra en naciones en vías de desarrollo. En 2012 la producción mundial de papaya se estimó en 12.67 millones de toneladas habiendo entre 2011 y 2012 un crecimiento de 8.7 % (FAOSTAT, 2013). En la Figura 4 se aprecia la participación en la producción de papaya a nivel mundial durante el año 2012, siendo India y Brasil los principales países productores durante ese año.

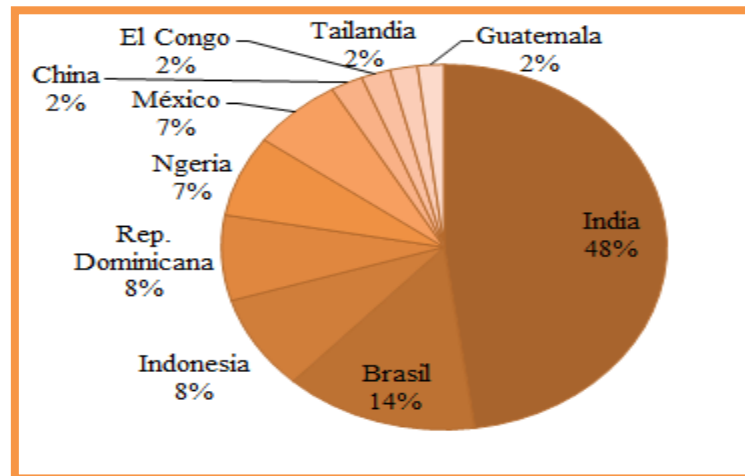


Figura 4. Orden de participación en la producción a nivel mundial, 2012.

Fuente: FAOSTAT (2014).

México es el segundo productor más importante de América Latina. Las principales plantaciones de papaya están ubicadas al suroriente del país en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Tabasco y Yucatán, allí se concentra más del 80% del total de producción de papaya en México (Evans y Ballen, 2012).

La producción de papaya por estados según el SIAP durante el año 2013 se muestra en la Figura 5, en donde Veracruz, Colima y Michoacán fueron las entidades con mayor producción (66% de la producción nacional), obteniendo un valor de producción de 1 millón 385 mil 150 pesos (SIAP, 2014).

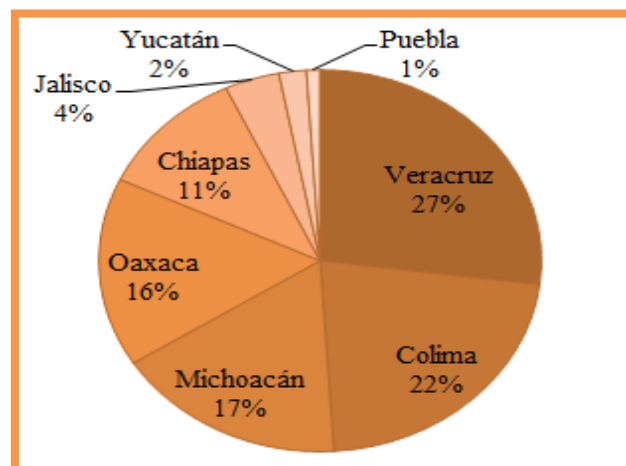





Figura 5. Producción agrícola (Riego+ Temporal) de papaya en 2013.

Fuente:-SIAP (2014).



Las principales variedades que se cultivan en México son Maradol y Red Lady; otras variedades de menor importancia son la Yellow Hawaiian y la Criolla (Tabla 1).

Tabla 1. Variedades de papaya cultivadas en México.

Variedad	Características
<p>Maradol</p> 	<p>Es más alargada en relación con la papaya hawaiana. Su peso varía entre 1,5 y 2 kilos; se desarrolla mejor en clima cálido; la temperatura adecuada para su cultivo oscila entre los 25 y 38 grados. Se puede sembrar en cualquier época del año.</p>
<p>Red Lady</p> 	<p>Esta especie se destaca porque tiene la pulpa de color rojo y un buen aroma fuerte. Su peso promedio es de 1,1 kilos. La madurez se identifica cuando el fruto empieza a tornarse amarillo pintón por lo menos en un 40% de la superficie y se hace suave al tacto.</p>
<p>Yellow Hawaiian</p> 	<p>Esta variedad tiene una forma de pera; su peso puede variar entre 400 y 800 gramos. Es muy dulce; en el centro de la fruta se acumulan semillas redondas negras, de aproximadamente 5 mm de largo.</p>

Fuentes: Diario El Comercio (2011); Wydyastuti *et al.* (2010).

2.3. Composición química

Dependiendo la variedad, el cultivar y el estado de madurez, el contenido en humedad varía de un 87 a 94% y el de carbohidratos de 2 a 12%. El cambio más significativo que ocurre en la maduración del fruto es la aparición de azúcares solubles, siendo el predominante la sacarosa (48,3%), seguido de glucosa (29,0%), fructosa (21 %) y trazas de pseudo-heptulosa (Lobo, 1995).

El color de la pulpa se debe a la presencia de carotenoides, entre los cuales se encuentran la violaxantina y la caricaxantina. Es rica también en vitamina A (retinol), vitamina C (ácido ascórbico), algunas del complejo B (B1, B2 y B3) y diversos minerales, principalmente Calcio (Nar, 2003).



Por otro lado, el látex que se desprende del fruto, sobre todo cuando está inmaduro contiene compuestos como la papaína y la quimiopapaína, que son enzimas similares a la pepsina humana y que hidrolizan las proteínas acelerando el proceso digestivo, además disminuyen el dolor e inflamación del estómago debido a sus propiedades analgésicas (Alonso *et al.*, 2006; Valera y Cruz-Trujillo, 2013).

En la Tabla 2 se muestra el contenido de los principales compuestos químicos que se encuentran en la pulpa de la papaya.

Tabla 2. Composición química de la fruta de papaya (Contenido en 100 gramos de porción comestible).

Componente	Unidad	Cantidad
Agua	%	88.83
Proteína	g	0.61
Grasa total	g	0.14
CHOS	g	9.81
Fibra dietética total	g	1.8
Ceniza	g	0.61
Calcio	mg	24
Fósforo	mg	5
Hierro	mg	0.10
Tiamina	mg	0.03
Riboflavina	mg	0.03
Niacina	mg	0.34
Vit. C	mg	62

Fuente: FAO (2008).

Actualmente existe una gran demanda a nivel mundial debido a su bajo valor calórico (cerca de 53 calorías por cada 100 gramos de fruta), además de ser un laxante natural y poseer propiedades para agilizar cicatrizaciones externas e internas (por ejemplo las úlceras gástricas) y eliminar parásitos intestinales (Valera y Cruz-Trujillo, 2013).

2.4. Cosecha, manejo poscosecha y condiciones de almacenamiento de la papaya

La papaya se cosecha manualmente cortando el pedúnculo preferentemente con una cuchilla curva que se mantenga en desinfección constante para evitar contaminaciones. La



fruta cosechada debe ser colocada de manera cuidadosa en una caja de cartón o plástico para su traslado al centro de empaque (FAO, 2008).

El cuidado que reciba la fruta desde que es cortada de la planta hasta que se le entrega al consumidor, influirá en su vida de anaquel y en su calidad física y visual. Por eso se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar los golpes durante el transporte interno en el campo, el lavado y tratamiento, transporte a centros de distribución, entre otros. Cuando el fruto es cortado, se debe envolver en papel periódico o espuma de poliuretano para evitar daños mecánicos en la piel, ya que estos aceleran la maduración y son un punto de entrada de hongos que dañarán al fruto (Figura 6) (García, 2010).



Figura 6. Envase y embalaje adecuado para comercializar el fruto de papaya.

Fuente: Empacadora Monterrico (2013)

La papaya debe almacenarse refrigerada para alargar su vida de comercialización, transporte y consumo, ya que las frutas almacenadas al medio ambiente maduran y se deterioran rápidamente. Antes de ingresar al almacén refrigerado la fruta debe enfriarse para eliminar el calor que trae del campo; además es susceptible al daño por enfriamiento por lo cual no debe almacenarse a menos de 7°C por periodos breves. La fruta puede conservarse de 1-3 semanas a 7°-13°C y 85-90% de humedad relativa dependiendo del grado de maduración. La temperatura para maduración organoléptica es de 21-27°C (SEDER, 2010).

A pesar de que la variedad Maradol poseer cualidades de embarque y almacenamiento dadas por su gran consistencia, no está exenta de las afectaciones por enfermedades post cosecha, que pueden ser controladas con programas integrales en campo y una adecuada organización de las labores poscosecha. La calidad de la fruta se decide en el campo por lo que



ningún sistema de calidad puede eliminar los problemas originados por un mal manejo en el control de enfermedades en poscosecha, que se traduce en pérdidas elevadas de la producción obtenida (Anaya, 2012).

2.5. Pérdidas poscosecha

Diversos factores contribuyen a las pérdidas poscosecha de los alimentos. Entre ellos se incluyen los métodos poco eficaces de recolección y de secado, deficientes técnicas de procesado, métodos inadecuados de almacenamiento y distribución (Figura 7) (Satin, 2000).



Figura 7. Malas condiciones de recolección y almacenamiento.
Fuente: Caracol Radio (2013)

Las causas biológicas se relacionan con el consumo directo de los alimentos por insectos, roedores o pájaros, ocasionalmente la inmediata desaparición de los mismos. Los insectos causan pérdidas de peso directas en la cantidad del producto y pérdidas de calidad debido a las telarañas, restos y olores que dejan en los alimentos (Satin, 2000).

Las causas secundarias son aquellas que favorecen el desarrollo de las causas primarias. Son el resultado de incorrectas estructuras de almacenamiento, tecnologías o control de calidad. Algunos ejemplos son (Gutiérrez, 2004):

- Inadecuadas técnicas de cosechado, envasado y manejo.
- Carencias de los contenedores apropiados para el transporte y manipulación.
- Condiciones de transporte y almacenamiento inadecuado.
- Carencia de tecnología y falta de conocimientos (esenciales para mantener los alimentos en las mejores condiciones posibles de almacenamiento y comercialización).



La importancia de las plagas y enfermedades en cultivos hortofrutícolas radica principalmente en la disminución del rendimiento, la calidad de los frutos y por ende en las pérdidas económicas que se tienen si no se les controla a tiempo.

2.5.1. Plagas y enfermedades

En el cultivo de papaya muchos insectos pueden infestar los tallos, las hojas, frutos y raíces, pero pocos causan un verdadero daño económico como los que transmiten enfermedades virales y bacterias que causan el deterioro rápido de las plantaciones (Fariñas y Mejía, 1990). En la Tabla 3 se describen las principales plagas que afectan tanto el fruto como el árbol de papaya.

Tabla 3. Plagas de mayor importancia que afectan el cultivo de papaya en México.




Plaga	Características/daño provocado	Método de control
<p>Pulgones (<i>Myzus Spp.</i>)</p> 	<p>Los adultos alados son los principales vectores del virus de la mancha anular.</p>	<p>Se pueden utilizar los siguientes agroquímicos: Imidacloprid, Dimetoato, Metamidofos, y otros en la dosis indicadas por los fabricantes.</p>
<p>Chicharritas o Saltahojas (<i>Empoasca papayae</i>; <i>Empoasca sp</i>)</p> 	<p>Estos homópteros son causantes de la diseminación de enfermedades como el "Bunchy top".</p>	<p>Su control es más efectivo con insecticidas sistémicos como el Dimetoato, Metamidofos, etc. Una medida eficaz para disminuir la incidencia de esta plaga es la limpieza de plantas hospederas dentro y en los alrededores de la plantación.</p>



Tabla 3. Plagas de mayor importancia que afectan el cultivo de papaya en México (continuación).

Plaga	Características/daño Provocado	Método de control
<p>Mosca mexicana de la fruta (<i>Anastrepha ludens</i> Loew)</p> 	<p>Deposita los huevos en la cavidad de la fruta. Después de la eclosión, las larvas o gusanos empiezan a alimentarse de las semillas. Las larvas perforan la masa madura y producen indirectamente la descomposición interna del fruto a causa de hongos que penetran por las perforaciones producidas por este insecto.</p>	<p>Técnica del insecto estéril (cría masiva y liberación de moscas de la fruta de la misma especie, previamente esterilizadas mediante irradiación). Control biológico a través de la cría y liberación de avispas (enemigos naturales de la plaga).</p>
<p>Hormigas cortadoras de hojas (<i>Acromyrmex octospinosus</i>)</p> 	<p>Estos insectos son muy voraces. El daño consiste en la defoliación de las plantas que en muchas ocasiones se recuperan, siempre ocasiona un atraso innecesario.</p>	<p>Fumigación de suelos con bromuro de metilo. El área afectada se cubre con una lona y el fumigante se libera bajo ella en varios puntos.</p>
<p>Chinches harinosas (<i>Ripersia radicicola</i>)</p> 	<p>Succionan la savia en el follaje y en el fruto, lo que provoca clorosis y enrollamiento de los bordes foliares. En los frutos es capaz de ocasionar el escurrimiento de látex, que le provoca un aspecto desagradable.</p>	<p>Se aplica Clordana mezclado con el fertilizante en la proporción de 1.25% de producto activo, también el Metasystox en solución al 0.1% añadiendo al agua de riego.</p>

Fuentes: Oirsa (2002); Duarte (2011); Hernández-Livera (2013).

Las enfermedades de poscosecha de los productos vegetales u órganos de las plantas son aquellas que se desarrollan durante la cosecha y posteriormente durante la selección, empaque y transporte de los productos al mercado; durante la selección, empaque y transporte de los productos al mercado; durante su almacenamientos en lugares de embarque y durante



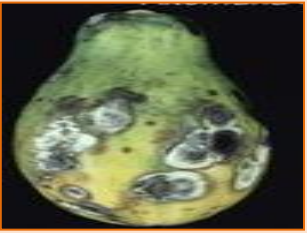

las distintas operaciones de manipulación que se requieren para llevar la cosecha del agricultor al comercio mayorista, de ahí a la tienda minorista y por último hasta el consumidor (Agrios, 1991). En la Tabla 4 se observan las principales enfermedades que afectan a la fruta de la papaya en México y que provocan grandes pérdidas poscosecha.

Tabla4. Principales enfermedades que afectan al fruto de la papaya en México.

Nombre	Características	Método de control
<p>Virus Anulado de la papaya (<i>Papaya Ringspot Virus</i>)</p> 	<p>La enfermedad toma su nombre de los síntomas observados en los anillos de color verde oscuro, levemente hundidos.</p>	<p>Alejar los focos de infección a un mínimo de 600m; eliminar malezas y plantas enfermas; uso de barreras de cultivo; aplicación de aceites minerales; y control de vectores con insecticidas sistemáticos.</p>
<p>Pudrición de la raíz y del fruto por <i>Phytophthora</i> (<i>Phytophthora p.</i>)</p> 	<p>Los frutos jóvenes infectados muestran lesiones acuosas con una sustancia lechosa en su superficie. Se puede observar el micelio blanco y las masas de esporas del hongo creciendo encima de los frutos infectados.</p>	<p>Utilizar en el cultivo de las plantaciones áreas con buen drenaje superficial e interno. Sembrar en canchales elevados solo en el caso de que se trate de suelos pesados. Destruir y eliminar frutos enfermos.</p>
<p>Pudrición interna del fruto (<i>Cladosporium sp.</i> y <i>Fusarium sp.</i>)</p> 	<p>Una vez dentro del fruto el hongo penetra la semilla, la cual se seca y oscurece. El tejido infectado es acuoso al principio, pero en las etapas finales de la infección toma un color negro y apariencia firme.</p>	<p>Una adecuada ventilación del cultivo mediante un amplio espaciamiento entre surcos y plantas, y la poda de hojas bajas, que favorezca la aireación, reducen la severidad de la enfermedad.</p>
<p>Mancha negra (<i>Cercospora papayae</i>)</p> 	<p>En los frutos las manchas se inician como puntos negros diminutos, que pueden distinguirse cuando este empieza a amarillear y no conducen a la pudrición de los frutos.</p>	<p>Aplicar funguicidas como Carbomatos y Cúpricos</p>



Tabla 4. Principales enfermedades que afectan al fruto de la papaya en México (continuación).

Nombre	Características	Método de control
<p>Mancha por <i>Alternaria Alternata</i>.</p> 	<p>Estas son de forma circular a oval deprimidas, que se tornan negras y no causan una pudrición extensa de la carne del fruto. Sin embargo, pueden cubrir la superficie completa del fruto. <i>A. alternata</i>, infecta los pecíolos senescentes de las hojas y produce grandes cantidades de conidias en la superficie de los frutos.</p>	<p>Poda de hojas bajas para favorecer la aireación; adecuado control de malezas; recolección y destrucción de los frutos o partes de la planta afectados; utilizar semillas tratadas o libres de la enfermedad, y control químico (Clorotalonil)</p>
<p>Antracnosis (<i>C. gleosporioides</i>)</p> 	<p>Se presentan manchas negras hundidas, redondas y acuosas en los frutos maduros, sobre las cuales pueden observarse masas de esporas de color rosado naranja en un patrón de anillos.</p>	<p>Limpieza de campos; aplicación de fungicidas (Hidróxido de cobre); químicos sistémicos (belante o topsin).</p>

Fuentes: Almodóvar (2000); OIRSA (2002); EcoPort (2010); Hunziker (2012); Mund *et al.* (2012).

2.5.1.1. Antracnosis

La antracnosis en el cultivo de papaya es la enfermedad más importante en poscosecha y es causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz y Sacc. Pertenece a la clase de Deuteromicetes, subclase *Coelomycetidae* y al orden *Melaconiales*, el género *C.* se caracteriza por tener un micelo definido y producir sus conidios en acérvulos (Dickman y Álvarez, 1993).

Este hongo puede afectar a un rango amplio de hospederos entre los que se encuentran el mango (*Mangifera indica* L.), aguacate (*Persea americana* L.) plátano (*Musa typhi* L.), cítricos (*Citrus typhi*), guayaba (*Psidium guajava* L.) y otros cultivos tropicales y subtropicales (Dodd *et al.*, 1991). La antracnosis está calificada como una de las enfermedades más importantes en poscosecha (Duran *et al.*, 1993) y es considerada como un factor limitante en



la exportación de los frutos ya que demerita su calidad. En poscosecha puede reducir el rendimiento hasta en un 30% si no se le controla oportunamente (De los Santos *et al.*, 2000).

Colletotrichum gloeosporioides produce conidios hialinos, unicelulares, oblongos y ovoides, ligeramente curvados o en forma de campana, de 10-15 μm de longitud y de 5-7 μm de ancho. Las masas de conidios aparecen de color rosa o salmón. Los acérvulos cerosos que son producidos en tejido infectado son conidióforos erectos, cortos, simples, típicamente con setas y subepidérmicos (Figura 8) (Dickman y Álvarez, 1993).

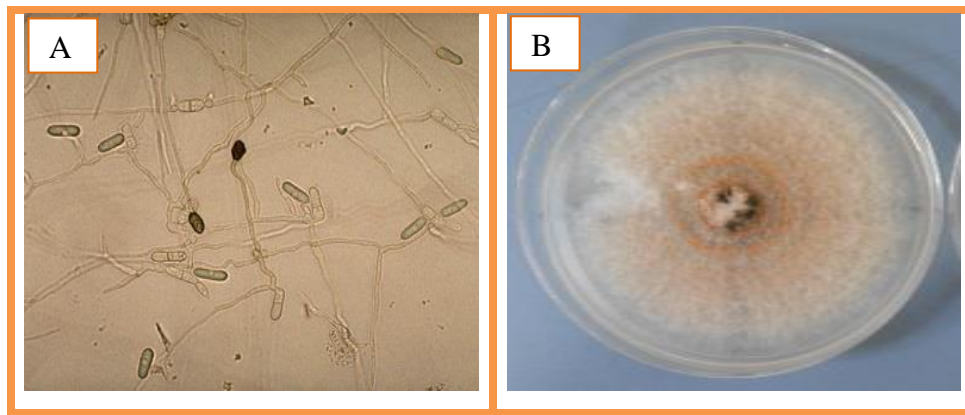


Figura 8. Morfología de *Colletotrichum gloeosporioides* A) Microscópica; B) Macroscópica.
Fuente: Molina (2012).

La especie *Colletotrichum gloeosporioides* produce tres tipos de síntomas en los frutos de la papaya: a) lesión típica de antracnosis, b) mancha chocolate y c) pudrición del pedúnculo (Dickman y Álvarez, 1993). Cuando los frutos infectados comienzan a madurar producen gotas de látex que son exudadas de la superficie y aparecen pequeñas manchas acuosas (Trujillo y Obrero, 1981).

Conforme avanza la infección, se forman lesiones circulares hundidas con márgenes de color café brillante translúcido (Figura 9). El hongo produce manchas un poco más rosadas o anaranjada en la porción central de la lesión. El tejido interno en el área infectada es firme con decoloración grisácea que posteriormente se torna café; en las células del parénquima se forma una capa callosa que permite que el área infectada sea levantada libremente de la superficie de la fruta (Álvarez y Nashjima, 1987).



Figura 9. Hundimientos y "pelado" provocado por *Colletotrichum gloeosporioides*.

La pulpa debajo de la lesión es la primera en ponerse blanda, pero la pudrición es limitada en extensión, el perímetro de la lesión se vuelve duro y negro ya que el fruto opone resistencia al ataque. Algunas veces se presentan múltiples lesiones pequeñas de manchas cafés, las cuales se desarrollan dentro de la lesión típica de antracnosis (Snowdon, 1990). Así mismo, este hongo ocasiona el “pelado de la fruta” que consiste en el desprendimiento de la cáscara de la fruta madura, siendo el daño más frecuente durante la época de lluvias (De los Santos *et al.*, 2000).

Además de la susceptibilidad a las plagas y a contraer enfermedades fúngicas, los cultivos también se exponen a la posibilidad de contaminarse durante su manejo poscosecha con microorganismos que no son detectables a través de cambios en la apariencia, sabor, color u otra característica externa y que constituyen un riesgo para la salud del consumidor (FAO, 2008).

2.5.2. Contaminación por patógenos

La producción y comercialización frutícola puede considerarse como un proceso de innovación constante y dinámica, especialmente en las áreas de cosecha mecánica, empaquetado y transporte. No obstante se han incrementado los problemas a la salud de los consumidores por la proliferación de microorganismos debido al aumento en las posibilidades de contaminación a los que los frutos están expuestos por el contacto con el agua y con el medio ambiente en general (Díaz-Sobac y Vernor-Carter, 1999).



Se ha demostrado que determinados patógenos tienen la capacidad de persistir sobre el producto lo suficiente como para constituir un peligro para el ser humano y de hecho se han reportado numerosos casos de enfermedades asociadas al consumo de frutas y hortalizas. Esencialmente existen tres tipos de organismos que pueden ser transportados por las frutas y hortalizas y que representan un peligro para la salud humana: virus (*hepatitis A*, por ejemplo), bacterias (*Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Shigella* spp y otras) y parásitos (*Giardia* spp.) (FAO, 2008).

Las frutas y verduras han ganado notoriedad en años recientes como fuentes de salmonelosis humana. Esto se presenta como una consecuencia de diversos factores como: la fertilización de sembradíos con lodos sin tratamiento o efluentes de drenajes potencialmente contaminados con *Salmonella typhi* resistente a antibióticos, la irrigación de los campos y el lavado de frutas y verduras con aguas contaminadas, la manipulación excesiva por los trabajadores, la exposición a la contaminación ambiental (Andrews *et al.*, 2001).

1.5.2.1. *Salmonella typhi*

Salmonella typhi son bacilos Gram-negativos anaerobios facultativos que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. La apariencia de las bacterias en el microscopio es de bacilos, o cilindros con puntas redondeadas (Figura 10). Actualmente, el género *Salmonella* consiste de una sola especie, que ha sido denominada *Salmonella enterica*. Ésta, a su vez, está formada por siete subespecies, dependiendo de su capacidad para realizar diferentes reacciones bioquímicas (Calva, 2000).

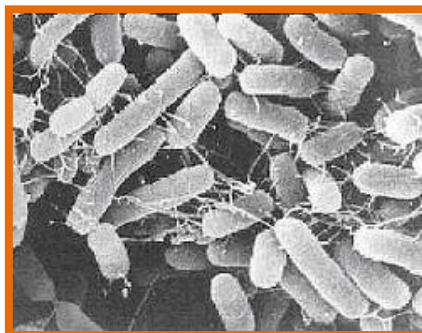


Figura 10. Morfología microscópica de *Salmonella typhi*.

Fuente: FoodInfo (2013)



Salmonella typhi es una bacteria anaeróbica facultativa, que puede en ocasiones sobrevivir en bajas condiciones de oxígeno además de no producir esporas. La mayoría de las cepas son móviles debido a que poseen flagelos peritricos, que rodean a la célula; produce ácido a partir de glucosa, maltosa y sorbitol, sin la producción de gas; pero no fermenta la lactosa, sacarosa, la ramnosa y otros azúcares; produce también nitrito a partir de nitrato y ácido sulfhídrico; su temperatura óptima de crecimiento es de 37°C (Zaidi *et al.*, 2006).

Salmonella typhi es causante de fiebre tifoidea, enfermedad que cada año afecta a 150 mil personas en todo el mundo y mata a unas seis mil; en México se reportan anualmente cerca de 15 mil mexicanos infectados y el fallecimiento de al menos uno por ciento de ellos; en 2013 se reportaron 12,704 casos de fiebre tifoidea (Jurado-Jiménez *et al.*, 2010; Olivares-Alonso, 2012). El período de incubación para *Salmonella typhi* abarca de una semana a un mes, siendo principalmente de dos semanas a partir de la ingesta de la bacteria proveniente de alimentos o agua contaminada (Calva, 2000). Las manifestaciones clínicas más destacadas de la fiebre tifoidea son: fiebre, vómito, dolor abdominal u diarrea moderada o intensa. A pesar de que su mayor incidencia se presenta en personas de 20 a 40 años, los niños y los ancianos son los que suelen sufrir sus efectos fulminantes debido a la excesiva pérdida de electrolitos que aflige al cuerpo durante la enfermedad y que puede causar una deshidratación grave (Vila *et al.*, 2009).

La principal alternativa para evitar riesgos a la salud causados por la presencia de patógenos en frutos y hortalizas frescos, así como el control de enfermedades en los cultivos es la implementación de los sistemas de control y aseguramiento de la calidad que incluyen todos los aspectos sanitarios y de seguridad en los alimentos. Sin embargo, los nuevos requerimientos y exigencias sanitarias en el mercado internacional para el comercio de frutas y hortalizas frescas imponen grandes desafíos para los países productores y exportadores, los cuales deben intensificar esfuerzos para mantener la presencia en los mercados consumidores (Martínez-Téllez, 2007).



2.6. Tratamientos para el control y erradicación de hongos y patógenos

Como se mencionó anteriormente, la primera estrategia de defensa contra la contaminación de patógenos como *Salmonella* spp y las enfermedades en los frutos es la implementación de sistemas que permitan un manejo sanitario de los productos frescos desde la producción agrícola (Kader, 2012). Para ello se deben efectuar los lineamientos denominados como Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en las áreas donde se pueda ejercer un control. El principio de estas prácticas lo constituye el conocimiento de que todo lo que se pone en contacto con las frutas pueden ocasionar su contaminación y que la mayoría de los microorganismos patógenos y residuos de pesticidas, provienen del hombre, de los animales y del uso indiscriminado de productos químicos (Siller-Cepeda *et al.*, 2002).

2.6.1. Tratamientos químicos y físicos

En la actualidad se han ensayado un gran número de sustancias químicas para destruir los patógenos de frutas y hortalizas. Una de las propiedades más deseables de un determinado agente químico higienizante es la capacidad de lograr reducir 5 unidades logarítmicas de la carga del patógeno en cuestión (Jay *et al.*, 2005).

El lavado de los productos con agua clorada previene su descomposición causada por bacterias, hongos y levaduras. El hipoclorito de calcio (en polvo) y el hipoclorito de sodio (líquido) son baratos y fáciles de conseguir. La eficacia del tratamiento disminuye si se permite que la materia orgánica se incremente en el agua de lavado (Figura 11). La eficacia del cloro aumenta si el pH se reduce de 11 a 8, pero a un pH más bajo el cloro se vuelve inestable (Kader, 2006).



Figura 11. Lavado de papaya por inmersión.
Fuente: Empacadora Monterrico (2013).



Las frutas y hortalizas pueden lavarse con una solución de hipoclorito (25 ppm de cloro activo por dos minutos) para controlarles pudriciones bacterianas y después enjuagarse. Alternativamente pueden ser sumergidas en una solución de hipoclorito (50 a 70 ppm de cloro activo) para el control de bacterias, hongos y mohos y después enjuagarse con agua corriente (Ogawa y Manji, 1984).

El Ozono (O_3) es un agente oxidante 1.5 veces más potente que el cloro; eficaz en solución y en forma de gas. Una concentración típica es la de 0.1-0.5ppm que es eficaz contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Se ha demostrado que es un agente eficaz para la reducción de carga de patógenos en diversos tipos de alimentos (Jay *et al.*, 2005).

El uso de altas temperaturas para la prevención de contaminación en frutos y hortalizas se basa en el efecto letal de este agente sobre los patógenos (Jay *et al.*, 2005). A continuación se mencionan las modalidades más utilizadas en productos poscosecha frescos (Kader, 2006):

- Tratamiento de agua caliente: 30 minutos a 42°C (107.6°F) seguido dentro de los 3 minutos siguientes por una inmersión de 20 minutos a 49°C (120.2°F).
- Tratamiento de vapor: La temperatura de la fruta es incrementada por vapor de agua saturado a 44.4°C (112°F) hasta que el centro de la fruta llegue a esa temperatura, y luego es mantenida por 8.5 horas.
- Tratamiento de aire caliente forzado: 2 horas a 43°C (109.4°F) + 2 horas a 45°C (113°F) + 2 horas a 46.5°C (115.7°F) + 2 horas a 49°C (120.2°F).

Otro método relativamente joven para la conservación de alimentos frescos es la irradiación, que puede definirse como la emisión y propagación de energía en el espacio o a través de un medio material, siendo la radiación electromagnética la que presenta mayor interés en la conservación de los alimentos. Las irradiaciones de onda corta son las letales para los microorganismos; así podemos dividir el espectro electromagnético (Figura 12), en relación a las radiaciones que interesan en la conservación de los alimentos, en: microondas, rayos ultra violeta, rayos X y rayos gamma (Jay *et al.*, 2005).

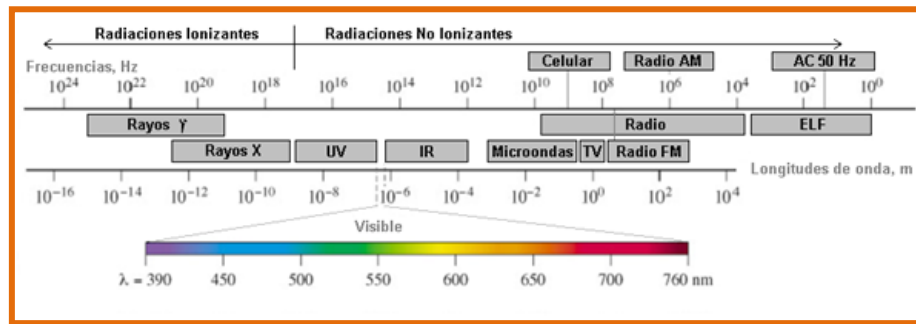


Figura 12. Espectro electromagnético.

Fuente: Jay *et al.* (2005).

La Luz Ultravioleta (UV) tiene su mayor poder bactericida a una longitud de onda de 2600Å. No es ionizante y es absorbida por las proteínas y ácidos nucleicos, en los que se produce cambios fitoquímicos que pueden conducir a la muerte de la célula debido a la producción de mutaciones letales resultante de la acción sobre los ácidos nucleicos (Jay *et al.*, 2005).

La radiación ionizante se basa en el hecho de que inhibe la síntesis de DNA con lo que impide la división celular. Su uso está limitada a la irradiación electromagnética altamente energética (rayos gamma de ^{60}Co o rayos X) con energías de hasta 5 MeV o electrones aceleradores de partículas con energías hasta de 10 MeV. Se han elegido estos tipos de radiación porque producen los efectos deseados en lo que respecta al alimento, no inducen radioactividad en los alimentos o materiales de envasado y están disponibles a costes que permiten el uso comercial del proceso (Doyle *et al.*, 1997).

Los sistemas tradicionales de envasado están alcanzando su límite, y cada vez se demandan más y mejores envases de uso alimenticio. Los envases activos pretenden la interacción del envase con el alimento para mejorar su calidad y proporcionar diversas funciones al envase (López *et al.*, 2010).

2.6.2. Envases activos

El envasado ha sido definido como un sistema coordinado de preparación de productos para el transporte, la distribución, el almacenaje, la venta al detalle y el uso oficial y como un



medio de asegurar el suministro seguro hasta el último consumidor en condiciones adecuadas a un costo global mínimo (Paine y Paine, 1994).

El envase activo está diseñado para interactuar de una forma activa con su contenido, y esta interacción implica una transferencia de masa pudiendo incorporar sustancias al contenido del envase o absorbiendo componentes desde el contenido con el objeto de mejorar su calidad y aceptabilidad. Los materiales activos modifican determinadas condiciones o procesos del alimento que juegan un papel determinante en la vida comercial del producto (López *et al.*, 2010).

Dentro de los envases activos se encuentran aquellos que incluyen sistemas que absorben/eliminan o regulan compuestos como oxígeno, etileno, humedad o compuestos que pueden causar malos olores o sabores en los alimentos (Figura 13). Otros sistemas liberan agentes antimicrobianos, antioxidantes, saborizantes, aromatizantes o colorantes (López *et al.*, 2010).



Figura 13. Envases activos. 1) Saquitos absorbedores de oxígeno; 2) Almohadillas absorbedoras de humedad; 3) Polímero. El material intermedio tiene un componente activo.

Fuente: VISAVET (2007)

Los envases con sistemas con efecto térmico (transferencia de calor) se clasifican en : auto-enfriables, auto-calentables y los susceptores de microondas. Por último están los sistemas que controlan la entrada y/o salida de sustancias deseables y/o indeseables del entorno del producto tales como dióxido de carbono, oxígeno, humedad, aroma, etileno y presión. Estos envases pueden ser Films permeables, microperforados (para productos que respiran: queso, frutas y hortalizas...) o atmósferas modificadas (Galet-Domingo, 2009).

El componente activo del envase puede ser parte del material de envasado o algún material ajeno incluido en él; el método más desarrollado hasta el momento es la utilización de



sobres o bolsitas que contienen el producto activo y que se introducen en los envases. En otros casos, los compuestos activos se incorporan a las películas del envase, tanto sintéticas como comestibles (López *et al.*, 2010).

2.6.3. Recubrimientos biodegradables activos

Uno de los métodos con potencial para conservar la vida poscosecha de frutas y hortalizas destinadas al consumo en fresco lo constituye el uso de películas o recubrimientos comestibles que se formulan con materiales naturales comestibles que funcionan como una barrera para el intercambio de gases y vapor de agua y que además resultan activos por la adición de compuestos antimicrobianos (Bosquez-Molina, 2003).

2.6.3.1. Definición y propiedades

Los recubrimientos son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas o carbohidratos, o mezclas de estos componentes, que les confieren diferentes propiedades fisicoquímicas que forman una fina capa que se dispone sobre la superficie del alimento mediante la inmersión o aspersión. Aplicados a frutas permiten controlar la respiración y senescencia de forma similar a las atmósferas modificadas, ejerciendo una barrera a los gases que reduce el deterioro del fruto (Figura 14). Ejercen así mismo una barrera al vapor de agua que reduce la transpiración del fruto y el deterioro asociado a este proceso fisiológico (Llanos, 2007).

La característica más importante e innovadora de los recubrimientos comestibles es su capacidad de servir al mismo tiempo de empaque y de tratamiento para la conservación del alimento (Parzanese, 2009).

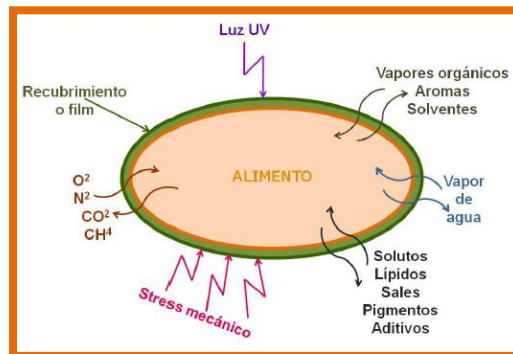


Figura 14. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.

Fuente: Parzanese (2009).

Debido a que son considerados aditivos alimenticios y que es necesario que posean determinadas propiedades de barrera para la preservación de los productos, los recubrimientos comestibles deben presentar las siguientes características (Parzanese, 2009):

- Poseer propiedades nutricionales y organolépticas que sean compatibles con el alimento a recubrir.
- Presentar propiedades mecánicas adecuadas para evitar pérdidas por roturas o quiebre del material.
- Ser estables frente a las distintas condiciones de almacenamiento.
- Poder adherirse fácilmente a la superficie de los alimentos a tratar.
- Responder a la reglamentación vigente (aditivos alimentarios).
- Requerir de tecnologías sencillas y de bajo costo para su fabricación y posterior aplicación.

Es importante destacar que las características funcionales de los recubrimientos comestibles son consecuencia directa de la materia prima utilizada para su fabricación, la cual debe ser obtenida de fuentes naturales para asegurar su biodegradabilidad (Parzanese, 2009).

2.6.3.2. Materiales de elaboración

Los retos técnicos involucrados en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles con propiedades funcionales incluyen la selección del tipo y concentración de los materiales usados en la formulación (Figura 15), las técnicas de preparación, durabilidad,



adherencia, entre otras. Por lo tanto se requiere de estudios básicos para diseñar las propiedades funcionales de películas comestibles para aplicaciones específicas (Bosquez-Molina, 2003).

Los polisacáridos son materiales altamente usados para la elaboración de recubrimientos comestibles debido a su abundancia y funcionalidad como barrera al O₂. (Parzanese, 2009).

La carboximetilcelulosa (CMC) es un polímero que forma película al solidificar, actúa como ligante, espesante y estabilizante; además, produce materiales transparentes, lo que es una cualidad importante en los recubrimientos, pues permite mantener la apariencia de los productos (Díaz-Sobac *et al.*, 1996).

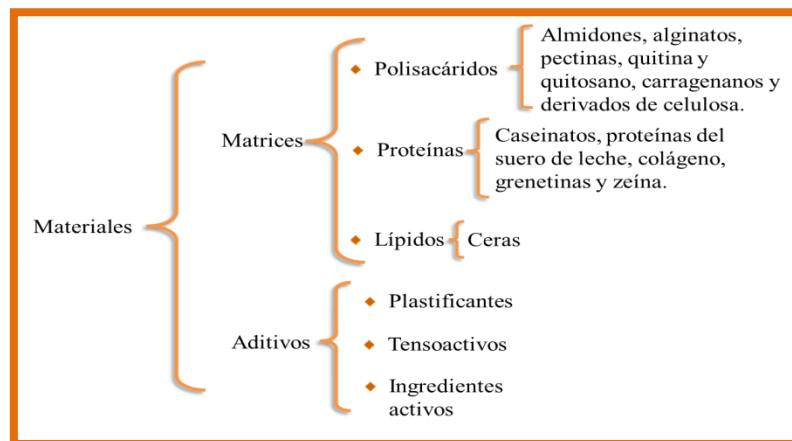


Figura 15. Algunos materiales para elaboración de recubrimientos comestibles.
Fuente: Bosquez-Molina (2010).

Las proteínas son buenos formadores de películas emulsionadas por su naturaleza anfifílica y su capacidad para formar puentes de hidrógeno (Parzanese, 2009). Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua (Kester y Fennema, 1986); sin embargo, presentan algunas limitaciones tales como propiedades mecánicas pobres y en ocasiones mala apariencia (García *et al.*, 2000); es por eso que los lípidos son mezclados con otras sustancias como polisacáridos, ya que estas combinaciones proporcionan al recubrimiento mayor estabilidad (Koelsch, 1994).



Los aditivos como los plastificantes que se utilizan para mejorar la calidad de la película, especialmente durante el secado cuando las capas se vuelvan frágiles y se agrietan; los tensoactivos que pueden utilizarse como plastificante, porque ayudan a esparcir el polímero, además aumentan la solubilidad, reducen la tensión superficial y aumentan la disolución de la capa (Parzanese, 2009).

Asimismo, los recubrimientos pueden servir como vehículos para un amplio rango de aditivos con la finalidad de proporcionar mayores atributos como es el control de microorganismos. Entre los aditivos naturales están los aceites esenciales (Bosquez-Molina, 2003). Los aceites esenciales de plantas aromáticas y medicinales presentan bioactividades notables como son propiedades antifúngicas, antibacteriales y antioxidantes (Henaó 2010)

2.6.2.3. Aceite esencial de Orégano

Los aceites esenciales son mezclas homogéneas de compuestos químicos orgánicos, provenientes de una misma familia química, terpenoides (Cerpa, 2006). Están contenidos en glándulas o vesículas secretoras inmersas en los tejidos de las hojas, flores, corteza y semillas de los frutos de muchas especies (Martínez *et al.*, 2003). Se pueden extraer mediante diferentes métodos como: prensado, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles y con fluidos supercríticos (Rodríguez-Álvarez *et al.*, 2012).

La destilación por arrastre con vapor de agua o extracción por arrastre, hidrodestilación, hidrodifusión o hidroextracción es el proceso para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica. La materia prima forma un lecho compacto y se desprecia el reflujo interno de agua debido a la condensación del vapor circundante. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluye hacia un condensador, mediante un “cuello de cisne” o prolongación curvada del conducto de salida del hidrodestilador. En el condensador, la mezcla es condensada y enfriada, hasta la temperatura ambiental. A la salida del condensador, se obtiene una emulsión líquida inestable, la cual, es separada en un decantador dinámico o florentino (Figura 16) (Rodríguez-Álvarez *et al.*, 2012).

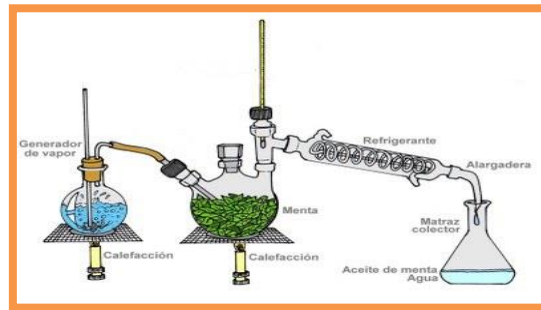


Figura 16. Dispositivo para extraer aceite esencial por arrastre de vapor.

Fuente: WordPress (2012)

Los aceites esenciales se encuentran en abundancia en el reino vegetal y se pueden localizar en diferentes partes de la planta por ejemplo: en hojas como albahaca, mejorana, menta, romero, en raíces de cálamo, valeriana, en la corteza de canela, cedro, sándalo, en flores como el jazmín y en la rosa. En cáscara de algunas frutas como el limón, mandarina, naranja y en frutos de anís, cardamomo, eneldo e hinojo (Ronquillo, 2007).

En la Tabla 5 se resumen algunos de los aceites que han probado tener un efecto fungicida contra algunas especies de hongos en productos poscosecha.

Tabla 5. Aceites esenciales con efecto fungicida contra algunas especies de hongos poscosecha importantes en la producción hortofrutícola.

Patógeno	Aceite esencial	Concentración	Resultados	Referencia
<i>Alternaria citri</i>	<i>Thymus vulgaris</i> L.	250 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial.	Arras y Usai (2001)
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Cymbopogon martini</i> Rox. <i>Zyzygium aromaticum</i> L.	7800 mg L ⁻¹	Inhibición de la Germinación	Wilson (1997)
<i>Penicillium digitatum</i> <i>Penicillium italicum</i> <i>Penicillium Citrinum</i>	<i>T. vulgaris</i> L., <i>C. sinensis</i> L. <i>Poncirus trifoliata</i> L.	250, 275, 246 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	Arras y Usai (2001) Caccioni <i>et al.</i> (1998)



Tabla 5. Aceites esenciales con efecto fungicida contra algunas especies de hongos poscosecha importantes en la producción hortofrutícola (continuación).

Patógeno	Aceite esencial	Concentración	Resultados	Referencia
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Anethum graveolens</i> L.	6 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	Tanada-Palmuy Grosso (2005) Mishra y Dubey (1994)
	<i>Citrus aurantifolia</i> Christm.	300 mg L ⁻¹		
<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Mentha viridis</i> L.	300 mg L ⁻¹	Retarda el crecimiento	Yang y Clausen (2007)
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Ageratum conyzoides</i> L.			
<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Rosmarinus officinales</i> L.			

El uso de aceites esenciales como inhibidores de crecimiento bacteriano en productos cárnicos y poscosecha ha incrementado en los últimos años, en la Tabla 6 se muestra el efecto de aceites esenciales sobre algunos patógenos de importancia en la manufactura de alimentos.

Tabla 6. Efecto bactericida de los aceites esenciales en bacterias patógenas en humanos.

Patógeno	Aceite esencial	Concentración	Resultados	Referencia	
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Zyzygiun aromaticum</i> L.	10000 mg L ⁻¹	Inhibición de su crecimiento.	Mytle <i>et al.</i> (2006)	
	<i>Thymus vulgaris</i> L.				
<i>Escherichia coli</i>	<i>Cinnamomun zeylanicum</i> Blume.	1000 mg L ⁻¹	Redujo el desarrollo.	Smith-Palmer <i>et al.</i> (2001)	
	<i>Camelia sinensis</i> L.	8 mg L ⁻¹	Inactivó a la bacteria.	Yuste y Fung (2002)	
	<i>Origanum vulgare</i> L.				
	<i>Aniba Rosaeodora</i> Ducke.				
		<i>Coriandrum sativum</i> L.	2000 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento.	Lo Cantore <i>et al.</i> (2004)
		<i>Mentha viridis</i> L.			
<i>Mentha spicata</i> L.					
<i>Salvia officinalis</i> L.					
	<i>Origanum majorana</i> L.	300 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento.	Hammer <i>et al.</i> (1999)	



Tabla 6. Efecto bactericida de los aceites esenciales en bacterias patógenas en humanos (continuación).

Patógeno	Aceite esencial	Concentración	Resultados	Referencia
<i>Salmonella</i> sp.	<i>Citrus cinensis</i> L. <i>Zyzygium aromaticum</i> L. <i>Cinnamomun zeylanicum</i> Blume.	1250 mg L ⁻¹	Inhibición de su crecimiento.	O'Bryan <i>et al.</i> (2008)
<i>Salmonella enteritidis</i>	<i>Thymus vulgaris</i> L.	750 mg L ⁻¹	Detuvo el desarrollo	Smith-Palmer <i>et al.</i> (2008)
<i>Salmonellapollorum</i>	<i>Piper nigrum</i> L.	18 mg L ⁻¹	Inhibición de su Crecimiento	Dorman y Deans (2000)

El orégano (*Lippia graveolens*) (Figura 17) y sus derivados han sido estudiados por sus efectos antimicrobianos; en particular, esta efectividad se atribuye a dos compuestos presentes en su aceite esencial, Carvacrol y Timol (Figura 18), los cuales inhiben a los microorganismos patógenos (Paredes-Aguilar *et al.*, 2007). Sin embargo, la composición de los extractos de esta planta está sujeta a variables como: técnica de extracción, tratamiento o almacenamiento del material vegetal y condiciones geobotánicas de crecimiento (Ruiz *et al.*, 2007).

La actividad antifúngica de los aceites esenciales se asocia al contenido de fenoles monoterpenos. Su mecanismo de acción se asocia con la capacidad de interactuar con el citoplasma del patógeno y parece estar estrechamente relacionado con la solubilidad de cada compuesto (Ronquillo, 2007).

En algunos estudios (Trombetta, 2005) se encontró que la acción inhibitoria sobre las bacterias Gram-positivas es mayor que la de las Gram-negativas, lo que se explica por la diferencia en la composición de la membrana de estos microorganismos. Esta fuerte acción antimicrobiana puede deberse a la acción de los terpenoides, ya que se ha reportado que estos compuestos son activos contra bacterias, hongos y protozoos; sin embargo su mecanismo de acción aún no está completamente comprendido, aunque se cree que involucra el rompimiento de la membrana por los compuestos lipofílicos.



Figura 17. *Lippia graveolens*
Fuente: Watson y Dallwitz (1992)

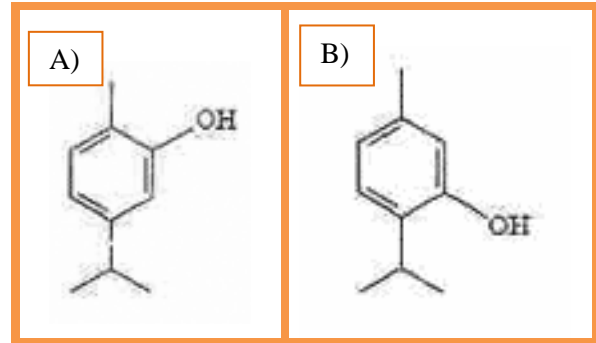


Figura 18. Estructura química A) Carvacrol; B) Timol.

Fuente: Urano Carvalho *et al.* (2003)

Además, en otros estudios referentes al Timol se ha demostrado que este terpenoide tiene la capacidad de interactuar con las membranas fosfolipídicas, alterando la permeabilidad de la membrana del microorganismo (Trombetta, 2005).





3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar un envase activo adicionado con aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) para el control de *Colletotrichum gloeosporioides* y *Salmonella typhi* para papaya mexicana ‘Maradol’, así como comparar su efectividad con el de dos prototipos semi-comerciales para prolongar su vida útil y contribuir a resolver problemas de inocuidad.

3.2. Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Establecer el efecto antibacterial y antifúngico del aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) en *Salmonella typhi* y *Colletotrichum gloeosporioides* por medio de pruebas *in vitro* para determinar la viabilidad de su incorporación a un envase activo.

Objetivo particular 2

Evaluar el efecto antibacterial del envase con aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) y el de dos prototipos semi-comerciales mediante pruebas de reto microbiano en papaya fresca ‘Maradol’ para determinar su eficacia inhibitoria sobre el crecimiento de *Salmonella typhi*.

Objetivo particular 3

Evaluar el efecto antifúngico del envase con aceite esencial de Orégano (*Lippia graveolens*) y el de dos prototipos semi-comerciales mediante pruebas de reto microbiano en papaya ‘Maradol’ para determinar su eficacia inhibitoria sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides*.

Objetivo particular 4

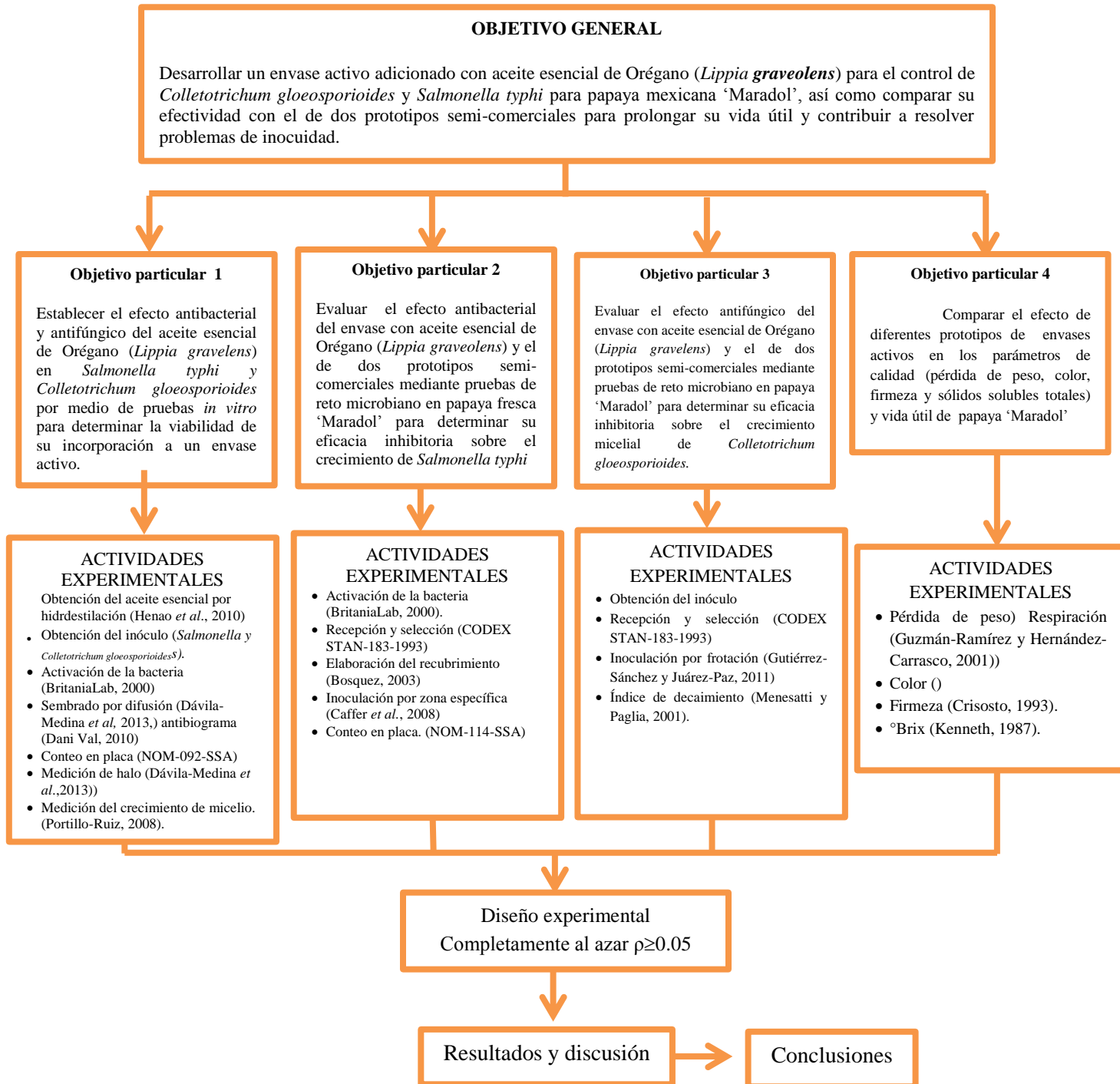
Comparar el efecto de diferentes prototipos de envases activos en los parámetros de calidad (pérdida de peso, color, firmeza y sólidos solubles totales) y vida útil de papaya ‘Maradol’.





4. Materiales y métodos

4.1. Cuadro metodológico





4.2. Material biológico

La hoja seca de Orégano (*Lippia graveolens*) se obtuvo en estado deshidratado del Mercado del Carmen en Cuautitlán Izcalli, México. Las papayas Maradol en estado de maduración $\frac{1}{4}$ verde se obtuvieron en la Central de Abastos de la Ciudad de México y fueron llevadas al centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (Figura 19).



Figura 199. Recepción del fruto

4.3. Obtención del aceite esencial de Orégano

El aceite esencial de las hojas de Orégano en estado seco se obtuvo por medio de una destilación por arrastre con vapor (DAV). Esta técnica consistió en la separación física mediante una destilación en la cual el vapor de agua arrastra los principios volátiles de la planta. Al dejar reposar el líquido destilado quedan separadas por decantación dos fracciones del mismo: el aceite esencial por ser de menor densidad e insoluble se sitúa encima de la fase acuosa (hidrosol) formada por el vapor de agua condensado junto con sustancias hidrosolubles de la planta que han sido arrastradas por él (Linares, 2002).

La reducción de tamaño de la hoja de Orégano seca se realizó hasta obtener 100 g de producto y se procedió a destilar con 1L de agua en un matraz bola durante 4 horas (Figura 20).



Figura 200. Dispositivo para obtener aceite esencial de orégano.

4.4. Pruebas *in vitro* en *Salmonella typhi*

La cepa de *Salmonella typhi* se obtuvo de la Facultad de Química, UNAM; para preservar la bacteria, se resembró por estrías en cajas de Petri con agar nutritivo y se inoculó por 24 h a 37°C. Para reactivar la bacteria se preparó caldo de lactosa Bioxon® y se inoculó en las mismas condiciones, posteriormente se tomaron 100 µL del caldo y se diluyeron hasta 10⁻⁷ en agua peptonada, se hicieron siembras por estrías de las diferentes diluciones en Agar Nutritivo Bioxon® (para poder saber la concentración), pero en otras cajas los 100 µL de caldo se transfirieron a otra caja Petri con Agar Nutritivo Bioxon®, se hizo una siembra por extensión superficial, ya sembrado el inoculó se colocaron al centro de la caja Petri discos previamente esterilizados e impregnados con aceite esencial de Orégano (1680 y 2250 ppm), finalmente las cajas se dejaron incubar (24 h, 37°C) y se hizo medición del halo de inhibición.

La técnica que se utilizó para conocer la capacidad bactericida del aceite de Orégano fue el antibiograma cuyo objetivo es el de medir la sensibilidad de una cepa bacteriana. (Figura 21) (Dani Val, 2010).

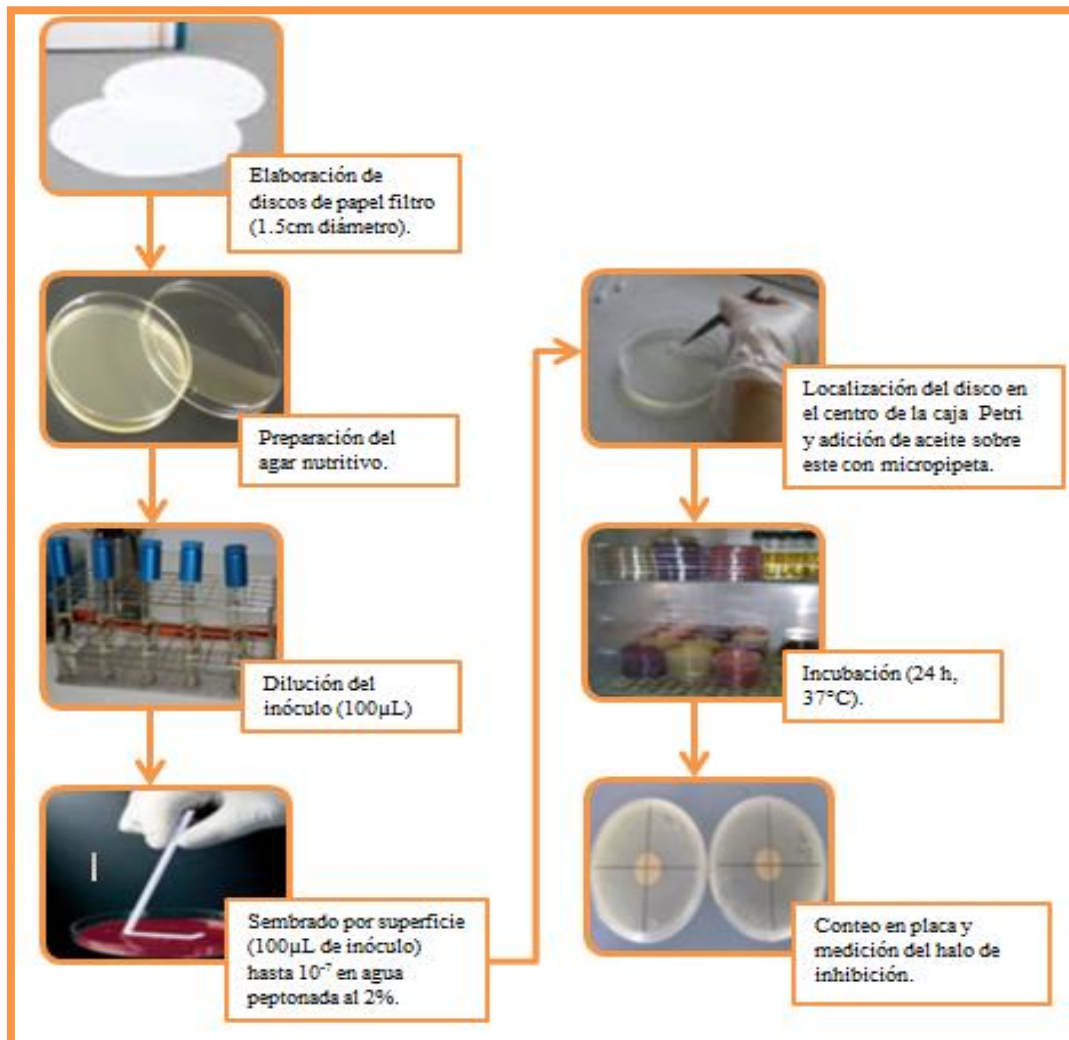


Figura 21. Diagrama para la inoculación *in vitro* con *Salmonella typhi*.

4.5 Prueba *in vitro* en *Colletotrichum gloeosporioides*.

El hongo utilizado fue previamente aislado e identificado en el Laboratorio de Poscosecha del centro de Asimilación Tecnológica de la FES-C, UNAM. El hongo se resembró en Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incubó durante 10 días a temperatura ambiente.

Para determinar la actividad antifúngica del aceite esencial de Orégano se realizó la técnica de sembrado por difusión cuyo objetivo fue crear un ambiente hostil para el microorganismo de manera que se pueda comprobar la efectividad de ciertas sustancias para controlar su crecimiento (Dávila-Medina *et al.*, 2013).



Las concentraciones de aceite se fijaron con base a los resultados obtenidos por Paredes (2007), siendo estas de: 3000, 4000 y 5000 ppm. Se calculó el volumen de aceite correspondiente a cada concentración, posteriormente se vertió en las cajas Petri marcadas con una “X” en la parte inferior y se dejó solidificar. De las cajas sembradas previamente se tomó con ayuda de un sacabocados una parte del micelio del hongo de 10 días y se colocó en el medio de la “x” marcada en las cajas (Figura 22). Los cultivos se incubaron durante 10 días y fueron muestreados con un seguimiento fotográfico y se midió el crecimiento micelial para el cálculo de porcentaje de inhibición.



Figura 22. Diagrama para la inoculación *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides*.

4.6. Elaboración del envase activo

La película se realizó mediante una dispersión de la matriz polisacárida (carboximetilcelulosa: CMC 0.5%), plastificante (glicerol 1%), emulsificante (Tween 80 0.5%) y aceite esencial de orégano 5000 ppm.

La formulación se determinó con base en estudios previos realizados por Sánchez-Soto (2013). La dispersión se realizó con un homogeneizador Wiggen Hauser D-500 (Figura 23), velocidad 3 durante 5 min.



Figura 23. Homogeneizador Wiggen Hauser D-500

4.7. Pruebas de reto microbiano para determinar la efectividad en *Salmonella typhi*

El efecto de los recubrimientos se evaluó en papayas frescas inoculadas con *Salmonella typhi*. El inóculo se incubó durante 24 h a 37°C. Posteriormente se realizaron diluciones en agua estéril y se sembró por extensión superficial colocando 100 µL de la disolución correspondiente y esparciendo con una varilla de vidrio sobre el agar nutritivo para conocer la concentración de inóculo por conteo (BritaniaLab, 2000). En la Figura 24 se esquematiza el proceso para probar la efectividad bactericida de los recubrimientos.

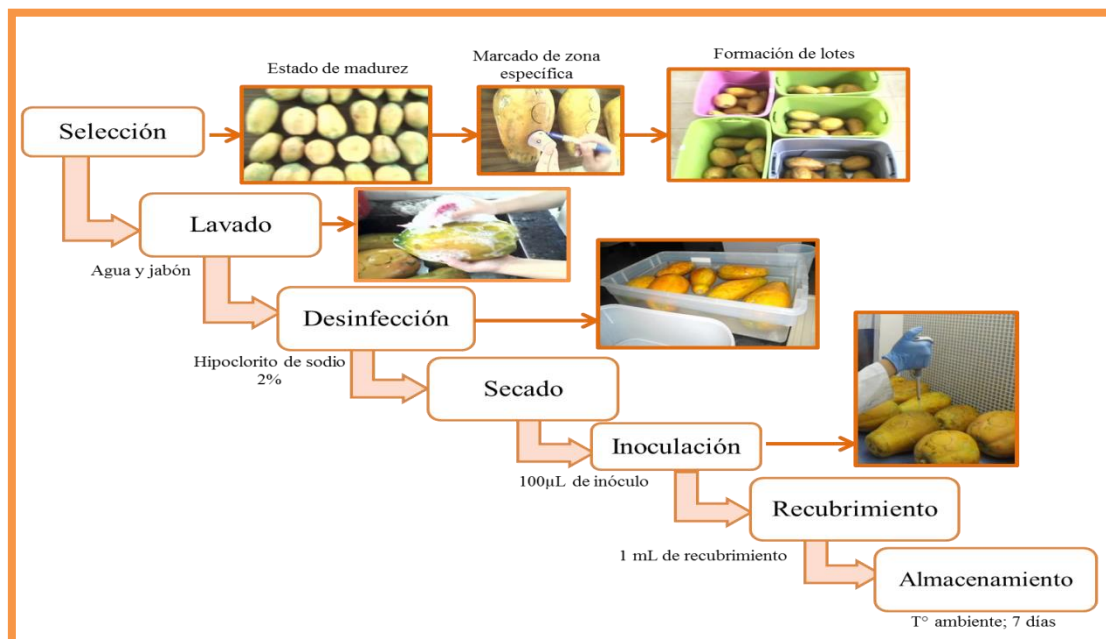


Figura 24. Diagrama para la inoculación con *Salmonella typhi* y aplicación de los recubrimientos en papayas frescas.



Para la selección de las papayas se realizó una caracterización física tomando en cuenta su peso, su longitud ecuatorial y su longitud axial. Las papayas seleccionadas se lavaron manualmente con agua y jabón y se secaron por arrastre con ayuda de un ventilador. Posteriormente se hizo una inmersión en agua clorada (2 ppm) durante 5 min para desinfectar las papayas. Para remover el exceso de cloro se realizó una segunda inmersión en agua estéril y se procedió a un secado con toallas de papel estériles.

En la superficie de los frutos se marcaron las dos circunferencias para llevar a cabo la inoculación en una zona específica con 100 μ L en pequeñas gotas del inóculo. Para evitar contaminaciones y reducir riesgos a la salud únicamente se recubrió la zona inoculada con 1mL de recubrimiento utilizando una micropipeta. Las papayas se almacenaron a temperatura ambiente durante 7 días.

En la Figura 25 se esquematiza el proceso utilizado para determinar la capacidad antibacterial; se tomó una muestra de la zona específica con un hisopo estéril para luego diluirla hasta 10^{-5} en agua peptonada; se sembraron 100 μ L de cada dilución por superficie en agar nutritivo Bioxon® y se incubaron durante 24 h a 37°C para posteriormente hacerun conteo microbiano. El fundamento de la técnica consiste en contar las colonias, que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio (NOM-092-SSA1-1994). Para comprobar la presencia de *Salmonella typhi* se realizaron pruebas en Chromoagar Salmonella BD®, un medio específico en el que ciertas peptonas seleccionadas especialmente suministran los nutrientes mientras que la adición de agentes antimicrobianos impiden el crecimiento de hongos y de bacterias gramnegativas no fermentadoras de glucosa. Debido a diferencias metabólicas en presencia de ciertos cromógenos, las colonias de especies de Salmonella presentan un color malva (rosado a morado), mientras que las bacterias no deseadas se ven inhibidas o producen colonias verdes azuladas o incoloras (BD, 2013).

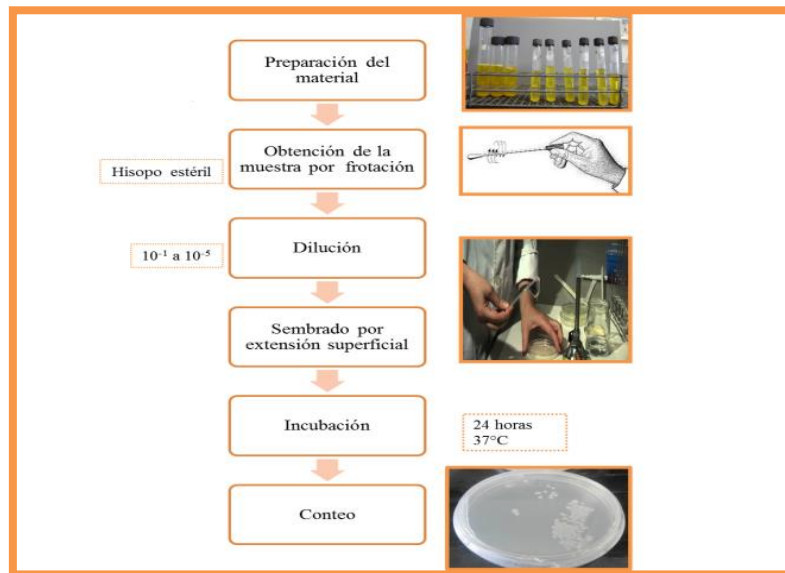


Figura 25. Diagrama del método para determinar la efectividad bactericida de los envases.
 4.8. Pruebas de reto microbiano para determinar la efectividad en *Colletotrichum gloeosporioides*

Para preparar el inóculo se sembraron previamente 10 cajas de Petri con *Colletotrichum gloeosporioides* y se incubaron por 12 días a temperatura ambiente. Cumplido el tiempo de incubación se preparó una solución de Tween 80 al 0.5% para facilitar la obtención del micelio por medio de un raspado con bisturí. Así se consiguieron 100 mL de inóculo (Figura 26).

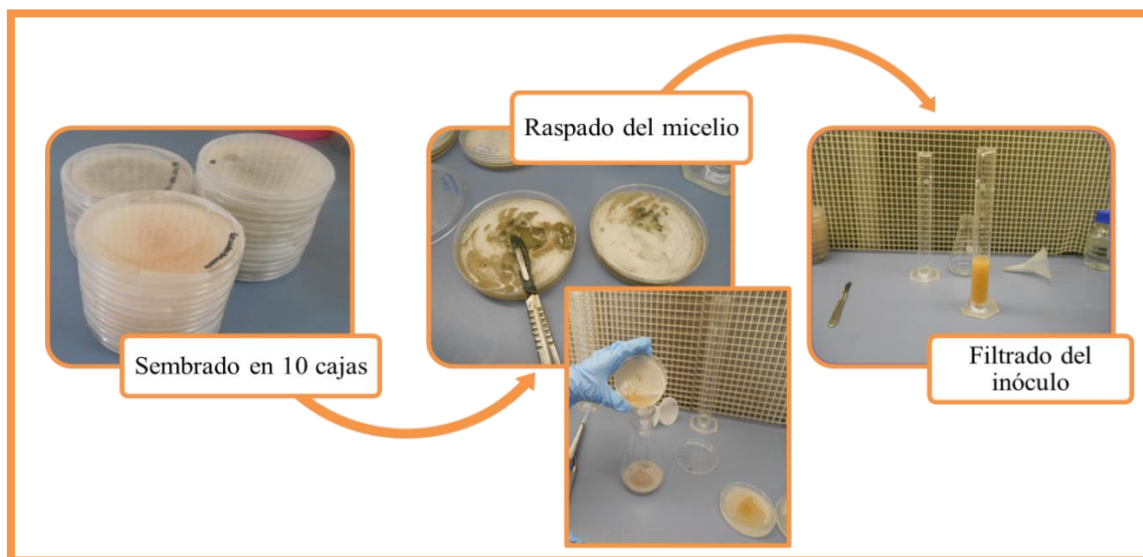


Figura 26. Metodología para obtener inóculo de *Colletotrichum gloeosporioides*.



Las papayas lavadas y desinfectadas se inocularon con 3mL por frotación. Éstas se incubaron en cámara húmeda por 24h a temperatura ambiente. El recubrimiento se aplicó mediante el método de inmersión durante 3 min que consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución filmogénica preparada. Es importante que el producto a tratar esté previamente lavado y secado, y que una vez retirado de la solución se deje drenar el excedente de solución para lograr un recubrimiento uniforme (Figura 27) (Parzanese, 2009).

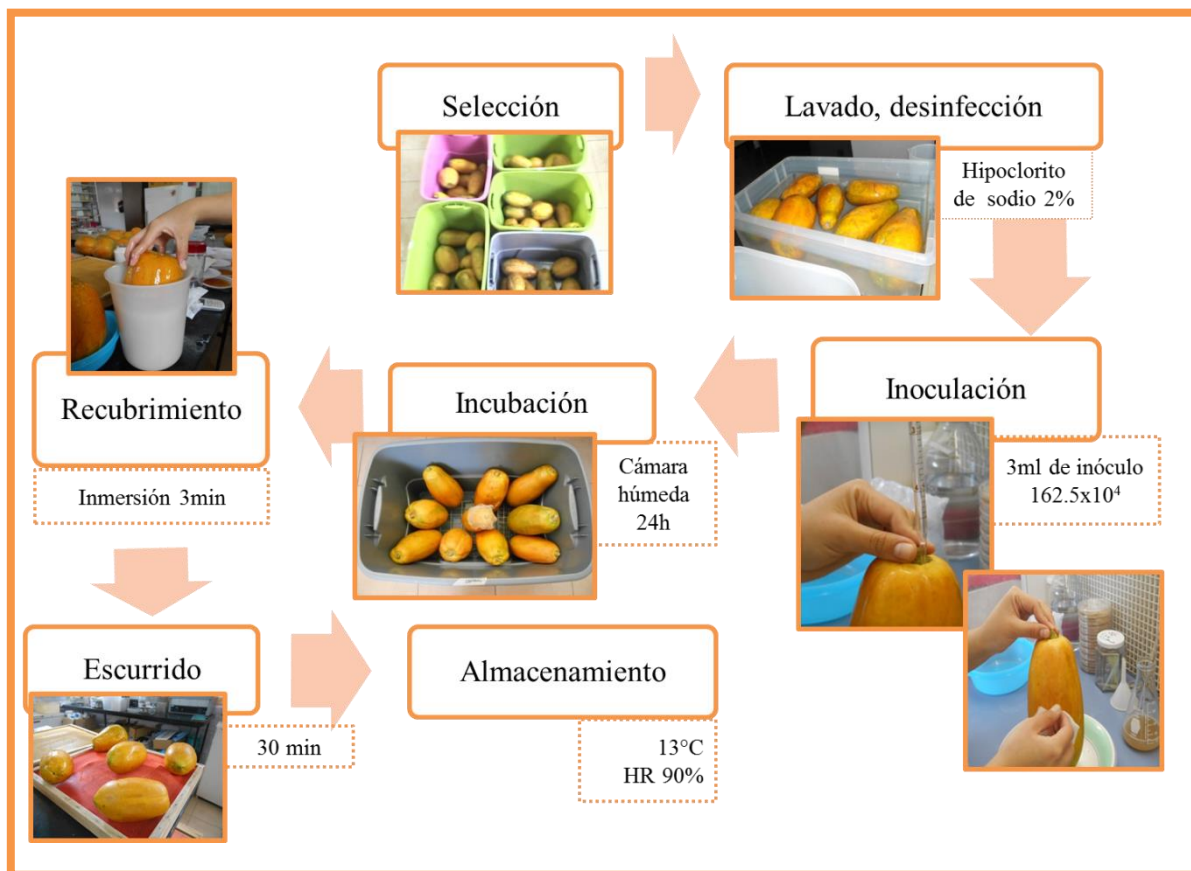


Figura 27. Metodología para la aplicación del envase activo en papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides*.

Los prototipos de envases semi-comerciales utilizados fueron F1 y F2, a base de aceite esencial de orégano, elaborados por la empresa GBS Global S.A. de C.V., y el envase elaborado en el presente trabajo a base de CMC con aceite esencial de orégano RO. Después de haberse recubierto las papayas se extrajeron y se dejaron escurrir en rejillas de secado



durante 30 minutos hasta secar el recubrimiento. Los lotes de papayas se colocaron en tinas de plástico y se almacenaron en la cámara de refrigeración a 13°C durante 16 días.

4.9. Parámetros fisiológicos

• Respiración

La respiración fue determinada tomando en cuenta la producción de CO₂ generado por las papayas utilizando un sistema cerrado. Las papayas fueron colocadas dentro de recipientes sellados durante una hora, posteriormente se midió la acumulación de CO₂ determinada por el analizador de gases (Analyzer nite) (Figura 28). El resultado se expresó en mg CO₂/kg peso fresco.



Figura 28. Medición de respiración de las papayas.

• Pérdida de peso

La evaluación del peso perdido de las papayas durante su almacenamiento se realizó mediante diferencia de pesos por método gravimétrico (Figura 29) tomando en cuenta como base el peso inicial del día de la aplicación del recubrimiento de cada una de las papayas menos el peso que se registró en el día 16 (peso final). Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento.



Figura 29. Medición de pérdida de peso de papaya.

4.10. Parámetros de calidad

- **Color**

El colorímetro mide el color en función de tres variables (coordenadas triestímulo) fácilmente comparables, pues definen el color por completo: L, a, y b (Kays, 1991). El color se midió con un colorímetro Konica Minolta CM 600d (Figura 30) y con los datos obtenidos se calcularon la luminosidad, la cromaticidad y los grados °Hue (tonalidad).



Figura 30. Medición de color en la papaya.

- **Firmeza**

La determinación de la firmeza de una fruta por medio del penetrómetro se basa en la presión necesaria para insertar un puntal de tamaño específico en la pulpa de la fruta a una profundidad dada (Crisosto *et al.*, 1993). Se utilizó un penetrómetro manual Tr Fruit Pressure Tester (modelo FT 327) con cilindro de 8 mm de diámetro (Figura 31). Los resultados se expresaron como la fuerza necesaria para penetrar la piel de la papaya en kg/cm^2 .



Figura 31. Medición de firmeza.

• Sólidos solubles totales

El método para medir la cantidad de sólidos solubles totales se basa en la capacidad para desviar la luz de los azúcares en un jugo por medio del refractómetro el cual mide los SST como porcentaje en grados Brix (Kenneth, 1987). Se realizó con un refractómetro digital Atago (Figura 32) colocando una gota de jugo de la pulpa que se desprende de la papaya. Los resultados se expresaron como °Brix.



Figura 32. Refractómetro digital Atago

4.11. Parámetros microbiológicos.

• Índice de decaimiento

Se realizó un análisis visual cada 4 días para detectar el nivel de daño adquirido mediante la escala subjetiva de la Tabla 7 (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010).



Tabla 7. Escala de daño

Nivel	% de daño
1	1-20
2	21-40
3	51-60
4	61-80
5	81-100

• **Severidad de la enfermedad**

La severidad de la enfermedad se valuó diariamente con base en las especificaciones de la NMX-FF-041-SCFI-2007 para papayas de segunda categoría, en donde los defectos de la cáscara no deben exceder 7% de la superficie, mediante la observación de los frutos con los síntomas de la enfermedad y la posterior medida del área en cm² de cada uno de las manchas presentadas por esta, utilizando como instrumento de medición un vernier (Figura 33).



Figura 33. Evaluación del índice de decaimiento

4.12. Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron por duplicado. Se hizo un análisis estadístico de varianza (ANOVA) completamente al azar y de pruebas de rango múltiple (Tukey y Duncan $\alpha=0.05$). El análisis se realizó a través del programa estadístico SPSS for Windows Student Version 19.0.



**Resultados y
discusión**



5. Resultados y discusión

5.1. Efecto del aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens*) en el crecimiento *in vitro* de *Salmonella typhi* y *Colletotrichum gloeosporioides*

El efecto inhibitorio y bactericida del aceite esencial de orégano sobre el crecimiento de *Salmonella typhi* durante 24 horas se muestra en la Figura 34. La concentración de inóculo para la prueba fue de 1.48×10^8 cel/mL y se utilizaron concentraciones de aceite de 1680 y 2250 ppm en las cuales se presentó, a partir de la dilución más alta (10^{-1}), un halo de inhibición en el crecimiento de la bacteria así como una reducción en el número de unidades formadoras de colonias.

Figura 34. Pruebas *in vitro* (antibiograma) con *Salmonella typhi*.

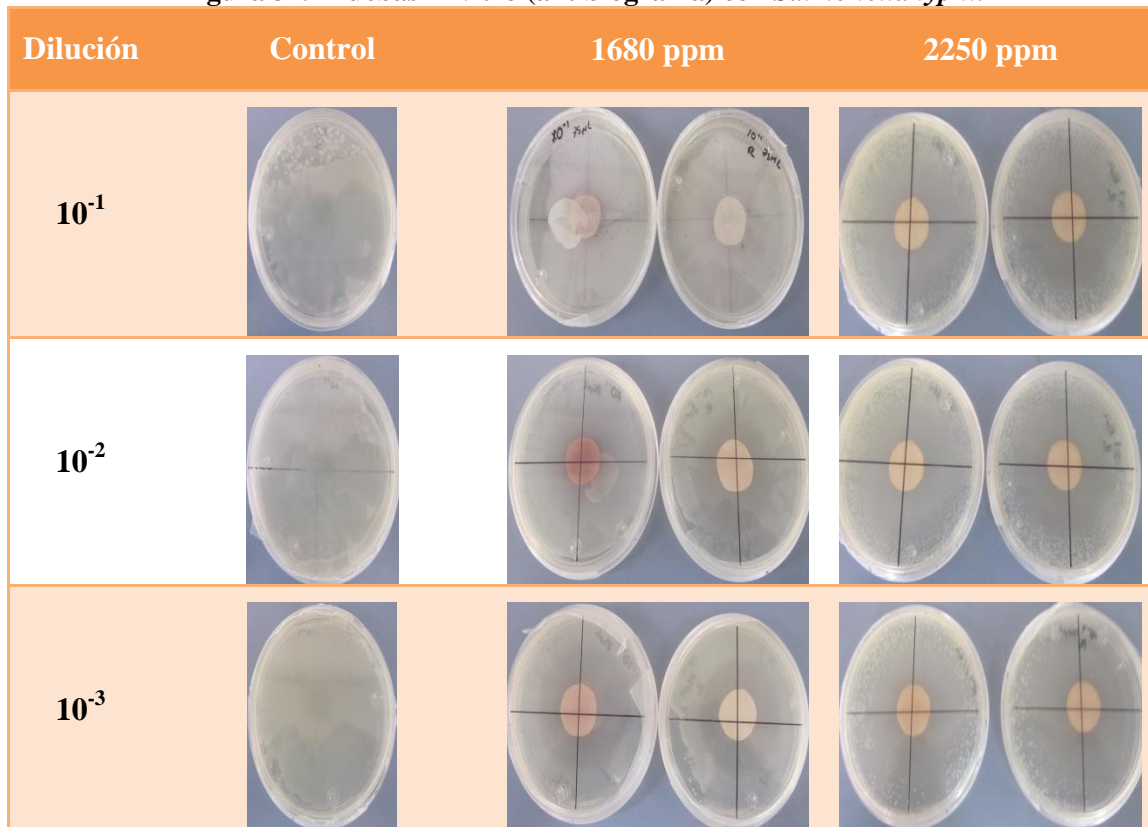
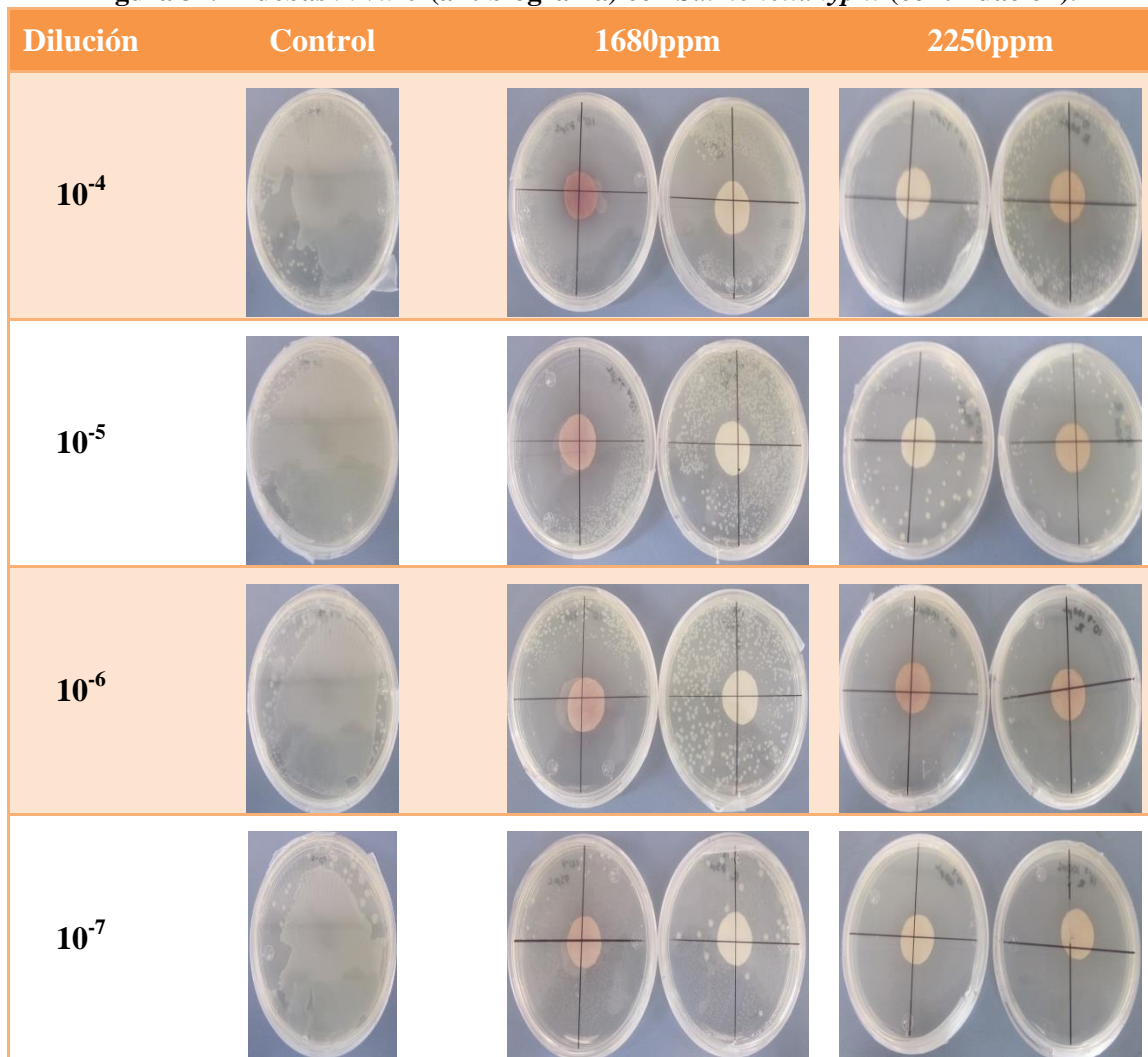


Figura 34. Pruebas *in vitro* (antibiograma) con *Salmonella typhi* (continuación).

El halo de inhibición que se formó con la concentración de 1680 ppm tuvo un radio promedio de 1.2 cm, mientras que con 2250 ppm se presentó un radio de 2 cm, existiendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el resultado de ambas concentraciones (Figura 35.A). Por otra parte, el número de unidades formadoras de colonias se redujo 1.5 ciclos logarítmicos con 1680 ppm y hasta en 5 ciclos con 2250 ppm de aceite esencial de orégano (Figura 35.B).

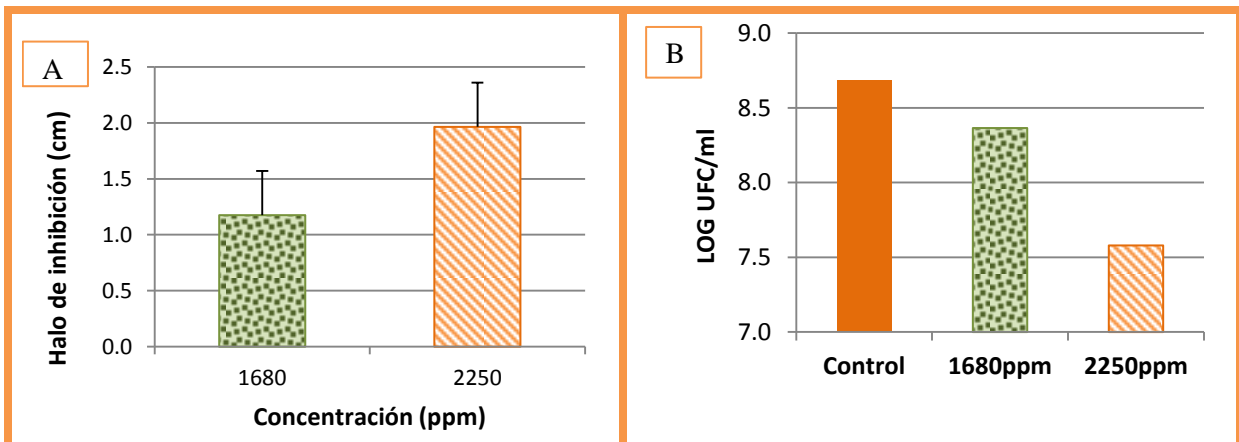


Figura 35. A) Radios de los halos de inhibición obtenidos en las dos concentraciones de aceite esencial de orégano; B) Efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano en el crecimiento *in vitro* de *Salmonella typhi* en 24h 37°C. Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

Como se puede observar existió una inhibición sobre el crecimiento bacteriano al utilizar ambas concentraciones de aceite, siendo más efectivo el tratamiento con 2250ppm para reducir la población microbiana. Paredes-Aguilar *et al.* (2007) reportan que se consiguió inhibir el crecimiento *in vitro* de *Vibrio mimicus* con concentraciones de aceite de 200 ppm; O'Bryan *et al.* (2008) reportaron la inhibición de crecimiento de *Salmonella spp* con aceites esenciales de naranja y canela a una concentración de 1250 mgL⁻¹; por otra parte, Yuste y Fung (2002) consiguieron la inactivación de *Escherichia coli* con aceite de orégano a 8 mgL⁻¹. De Martino *et al.* (2009) evaluaron actividad antibacteriana del aceite esencial de orégano, donde comprobaron su efecto antimicrobiano frente a *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*. Debido a los resultados satisfactorios, el aceite esencial de Orégano se incorporó al recubrimiento para ver su efecto sobre la bacteria en la papaya fresca.

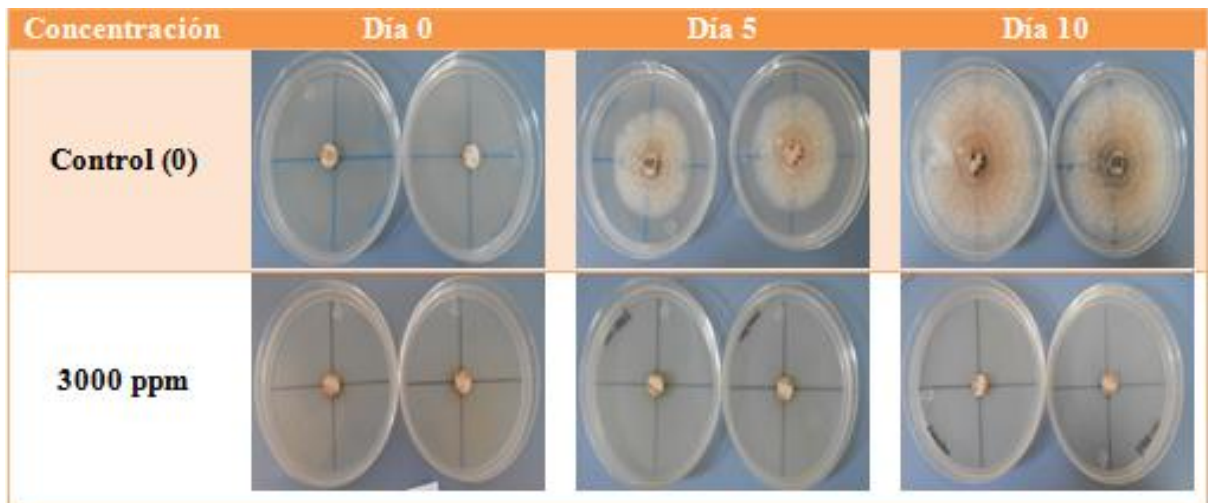
Los aceites esenciales son sustancias aromáticas obtenidas a partir de organismos vegetales que son empleadas como aromatizantes, saborizantes, productos farmacéuticos y de perfumería; además de que muchos de ellos presentan propiedades antimicrobianas (González-Villa, 2004). Se caracterizan por ser una mezcla compleja de varios compuestos orgánicos entre los que se encuentran los terpenos y fenoles (Zekaria, 2007); los terpenos están involucrados en el rompimiento de la membrana celular a través de los compuestos lipofílicos (Cowan, 1999) y los otros componentes interfieren con las funciones de permeabilidad de membrana celular (Lambert *et al.*, 2001). En el caso de las bacterias Gram negativas sensibles

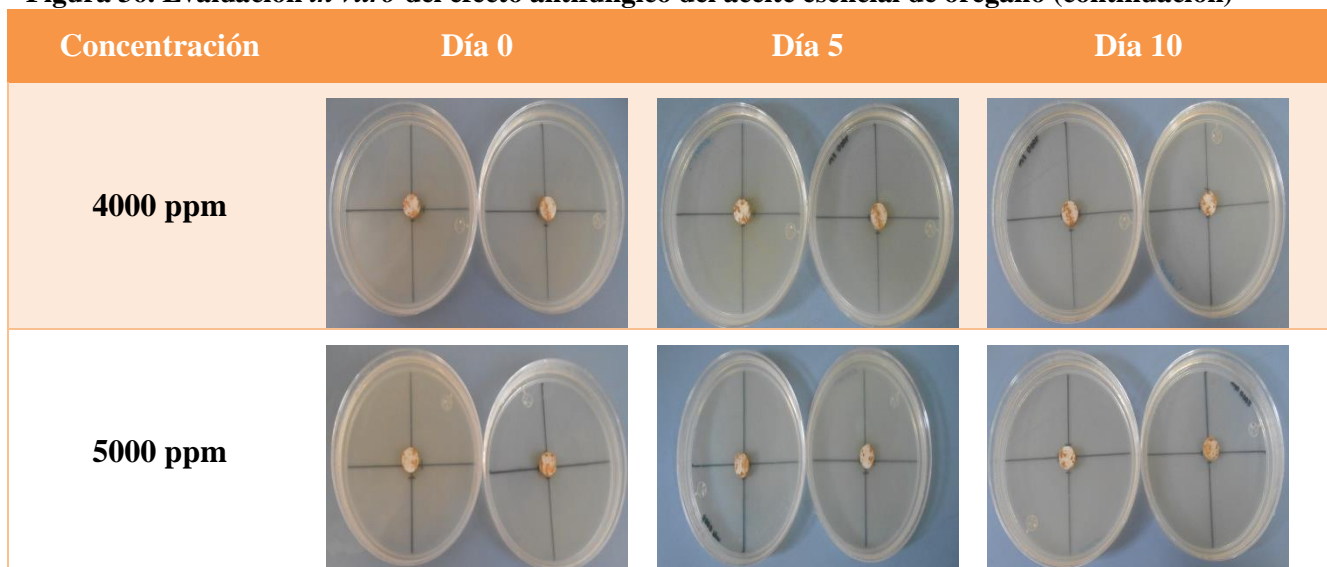


los aceites esenciales se introducen a través de la membrana celular y mitocondrial, alterando su estructura y haciéndolas más permeables. Como consecuencia tiene lugar una fuga de iones y de otros contenidos celulares, que puede llevar a la muerte celular. (Bosquez-Molina *et al.*, 2010). La efectividad bactericida del aceite esencial de orégano se atribuye a dos compuestos presentes, carvacrol y timol, los cuales inhiben a los microorganismos patógenos (Aligiannis *et al.*, 2001; Lambert *et al.*, 2001; Arcila *et al.*, 2004; Dadalioglu y Everendilek, 2004; Oussalah *et al.*, 2006; Santoyo *et al.*, 2006; Yano *et al.*, 2006)

En la Figura 36 se muestran las imágenes del efecto inhibitorio del aceite esencial de Orégano en el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* durante 10 días. Las concentraciones que se utilizaron fueron 3000, 4000 y 5000 ppm difundidas en el medio (PDA) con las cuales existió un porcentaje de inhibición de 100% a lo largo del tiempo de incubación del hongo. Debido al porcentaje de inhibición sólo se muestran los días 0, 5 y 10 para hacer un comparativo con el crecimiento del hongo en el agar control (sin aceite esencial).

Figura 36. Evaluación *in vitro* del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano.



**Figura 36. Evaluación *in vitro* del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano (continuación)**

El radio de micelio de la siembra control al día 5 fue de 2.6cm, mientras que para el día 10 toda la superficie de la caja se cubrió, es decir, 4cm.

La efectividad antifúngica del aceite esencial de orégano también se reporta en los trabajos de Borboa-Flores *et al.* (2010) en donde el crecimiento de *Botrytis cinerea*, *Fusarium sp* y de *Clavibacter michiganensis* fue inhibido totalmente por los aceites esenciales del orégano en bajas concentraciones (85-300 $\mu\text{g/mL}$); y en los resultados obtenidos por Portillo-Ruiz *et al.* (2008) sobre *Rhizopus spp*, *Penicillium spp*, *Aspergillus 2* y *Aspergillus 6* en los que, al término del periodo de incubación concentraciones de 100, 150 y 200 ppm ejercieron un fuerte efecto inhibitorio en el crecimiento fúngico. Vági *et al.* (2005) demostraron que el extracto de orégano inhibió el crecimiento de *A. niger* y *Penicillium cyclopium* a una concentración de 2.5 mL/100 mL en PDA después de 17 días. Por otra parte, Özcan y Boyraz (2000) inhibieron el crecimiento de *A. parasiticus*, *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea*, *F. oxysporum* y *Rhizocta solani* en medio PDA durante 7 días utilizando aceite de orégano 300 ppm.

Inouye *et al.* (2000) establecieron que la acción antifúngica del aceite esencial de orégano se debe a la absorción de sus vapores por los micelios del hongo. Esto se demostró en este estudio ya que la incorporación de diferentes concentraciones de aceite esencial de



orégano inhibió la producción de biomasa durante el tiempo de incubación, por lo que se concluye que este aceite crea un ambiente inapropiado para el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en medio PDA. De esta manera se optó por añadirlo al recubrimiento para determinar su efectividad sobre este hongo en la papaya fresca.

5.2. Pruebas de reto microbiano (*in vivo*) sobre *Salmonella typhi*.

El crecimiento y proliferación de *Salmonella typhi* está vinculado a las condiciones de vida del sustrato ya que necesita requerimientos básicos para su desarrollo especialmente exigentes en términos de agua disponible, temperatura o pH del medio en el que se halla (Gimmer--Morató, 2009). Investigaciones del Imperial College de Londres explican que *Salmonella* produce flagelos para adherirse a los frutos maduros y para desplazarse sobre la superficie de éste, no así en los frutos verdes. Las frutas contaminadas no muestran signos de infección, olores desagradables ni difieren en aspecto de las no contaminadas; además no puede degradar de manera eficiente los tejidos vegetales que generen signos evidentes de actividad bacteriana (Chavarrías, 2012).

Los resultados de la efectividad de los recubrimientos para controlar el crecimiento de *Salmonella typhi* en papaya fresca son mostrados en la Figura 37.

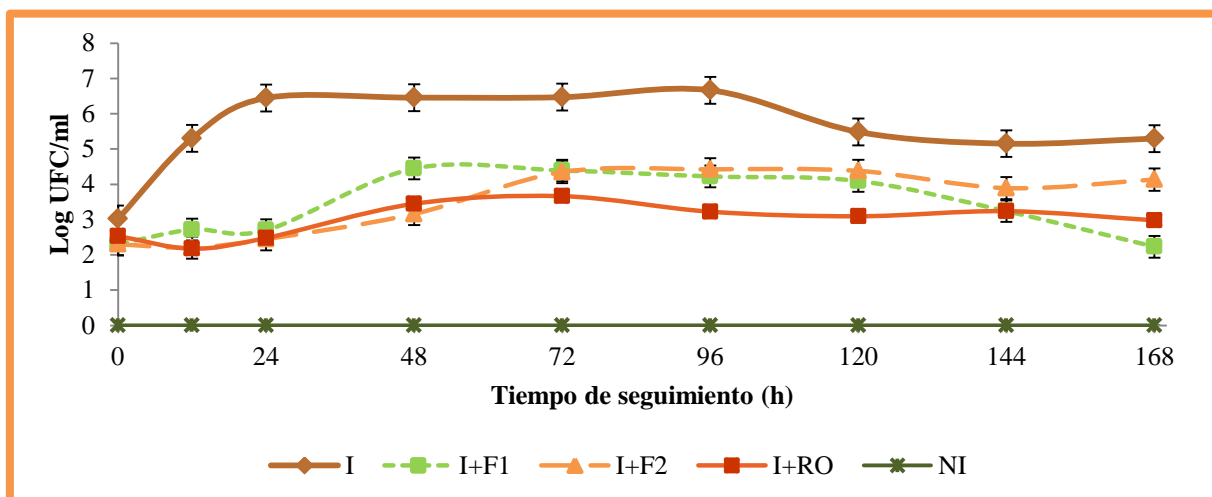


Figura 37. Crecimiento de *Salmonella typhi* sobre papaya ‘Maradol’ donde I es lote Infectado; I+F1 e I+F2 son lotes Infectados con los prototipos de envases activos semicomerciales F1 y F2; I+RO es el lote Infectado con envase con Orégano; y NI es el lote No Infectado. Las barras verticales indican \pm desviación estándar



En la hora 0 el lote infectado presentó una población de 3log UFC/mL sin diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el número de células viables en los lotes con recubrimientos; desde ese punto y hasta la hora 12 se distinguió una fase exponencial (multiplicación acelerada de las bacterias) debido a que las condiciones del medio fueron óptimas para el crecimiento de *Salmonella typhi* aumentando 2.5 ciclos log, es decir 48.5% más que en las papayas con envase activo; a partir de la hora 24 la velocidad de multiplicación comenzó a disminuir (fase estacionaria) debido al agotamiento de los nutrientes y por la acumulación de desechos metabólicos producidos por las propias bacterias, manteniéndose un rango de 6.4 a 6.6 ciclos log UFC/mL; para la hora 96 comenzó una fase de muerte o declinación, caracterizada por el aumento sostenido de la mortalidad de la población, lo que determina su extinción; sin embargo, en la hora 168 se presentó una recuperación de células debido probablemente a la adaptación de la bacteria a las condiciones nutrimentales de las que pudo disponer; además siempre hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al número de UFC de las papayas tratadas con recubrimientos.

En la hora 12 el número de UFC del lote de papayas infectadas recubiertas con F1 presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a la población bacteriana de las papayas recubiertas con F2 y las recubiertas con RO, alcanzando 2.7 ciclos log UFC/mL en este punto; a partir de la hora 24 y hasta la 48 se observó un crecimiento exponencial de *Salmonella typhi* llegando a 4.4 ciclos log, es decir, 31.2% menos que en el lote infectado y presentando diferencia significativa con las papayas recubiertas con RO. En el intervalo de muestreo de la hora 48 a la hora 120 se distinguió un periodo estacionario con valores de 4.4 a 4.0 ciclos log, por lo tanto, en este punto, la población microbiana disminuyó 25.4% con respecto a las papayas infectadas y comenzó entonces la fase de muerte, finalizando en la hora 168 con 2.2 ciclos log UFC/mL (57.84% menos que las papayas infectadas) existiendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el lote recubierto con F2.

Las papayas recubiertas con el prototipo F2 presentaron una etapa exponencial que se prolongó hasta la hora 72, alcanzando 4.3 ciclos las UFC/mL, lo que significó que el recubrimiento retardó la multiplicación de células viables en el fruto y además disminuyó la población 32.8% con respecto al lote infectado en este punto. En la hora 72 el número de UFC



de los frutos recubiertos con el prototipo F2 tuvo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el lote recubierto con RO y 15.7% mayor población bacteriana; a partir de la hora 120 comenzó la etapa de declive disminuyendo en la hora 144 a 3.9 ciclos log y teniendo una recuperación en la hora 168 con 4.13 ciclos log UFC/mL, existiendo una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con los resultados obtenidos del lote recubierto con el prototipo F1 y los frutos recubiertos con RO; de esta manera se concluyó que el prototipo F2 fue eficiente para retardar el crecimiento en la carga bacteriana mas no para disminuirlo ya que el número de UFC se mantuvo prácticamente constante a lo largo del experimento finalizando en la hora 168 con un número de UFC 21% menor que en el lote infectado.

En las papayas recubiertas con RO se observó una ligera disminución de carga microbiana (de 2.5 a 2.2 ciclos log) para la hora 12, es decir que presentó una etapa de latencia en donde las bacterias se adaptaron a las condiciones del medio para iniciar su crecimiento. En la hora 24 resultó un conteo de 2.5 ciclos log UFC/mL y se mostró una fase de crecimiento exponencial hasta la hora 72, en donde la población bacteriana alcanzó 3.6 ciclos log, teniendo en este punto 43.3% menos que el lote infectado; además existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a la carga de *Salmonella typhi* en los lotes recubiertos con los prototipos F1 y F2. Para la hora 96 existió una reducción de en el número de células viables (3.2 ciclos log UFC/mL) teniendo 41.2% menos que los frutos infectados; la tendencia de crecimiento se mantuvo constante hasta la hora 168, punto en el cual hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con los resultados de las papayas recubiertas con F2 y 28% de UFC menos que en este lote; además se finalizó con 43.9% de UFC menos que en el lote infectado.

Aunque ninguno de los envases logró erradicar la bacteria, los tres lograron disminuir la carga microbiana y retardar su crecimiento exponencial. La tendencia muestra que el envase adicionado con aceite esencial de orégano (RO) fue el más efectivo para el control del crecimiento de *Salmonella typhi* ya que mantuvo un promedio de 2.6 ciclos log UFC/ml por debajo del lote I (infectado) mientras que el envase F1 redujo un promedio de 2.2 ciclos log y F2 2.1 ciclos log con respecto a las papayas infectadas.

Estudios realizados por Wenxuan *et al.* (2012) indican que fue posible disminuir la población de *Salmonella typhi* en Melones Cantaloupe hasta 4.8 ciclos log con recubrimientos



hechos a base de quitosano. Draughon (2004) reportó que se redujo la población (sin especificar cantidad) de bacterias aeróbicas, de bacterias ácido lácticas y de *Listeria monocytogenes* con aceite esencial de orégano en una matriz alimenticia con 800 mgL⁻¹ en carnes almacenadas a 5°C. En esas mismas condiciones Skandamis y Nichas *et al.* (2002) lograron una reducción de 1-6 ciclos logarítmicos de *Salmonella typhi* en 8 días de almacenamiento. Rojas-Grau *et al.* (2007), reportaron que el recubrimiento adicionado con aceite esencial de orégano en trozos de mango, disminuyó el desarrollo de *Listeria innocua*, hasta un 50% más que en los no tratados. Raybaudi-Massilia *et al.* (2008), al incorporar recubrimientos a base de alginato y glicerol, en melón cortado, inhibieron el crecimiento de *Salmonella enterica*, además de conservar el producto fresco con buenos parámetros de calidad. La aplicación de películas comestibles ofrecen ventajas como la incorporación de agentes antimicrobianos (Marsh y Bugusu, 2007). Cuando se elaboran películas comestibles que contienen sustancias antimicrobianas, se espera que tengan la capacidad de migrar hacia la superficie del alimento o permanecer retenidas en las películas, determinando así la efectividad antimicrobiana de una película. La migración dependerá de las interacciones electrostáticas entre el antimicrobiano y las cadenas del polímero, los fenómenos de ósmosis iónica, los posibles cambios estructurales inducidos por la presencia del agente microbiano y las condiciones ambientales a las que se exponen las películas y recubrimientos elaborados (Cha y Chinnan, 2004; Sebti *et al.*, 2007).

Las propiedades antibacteriales del aceite esencial de orégano sobre papaya fresca resultaron positivas ya que si bien no se consiguió erradicar el crecimiento bacteriano, sí se redujo considerablemente la carga microbiana al igual que con los recubrimientos semi-comerciales de los cuales se desconoce la formulación. Por lo tanto, la aplicación de envases bioactivos es una opción viable para el control de patógenos en papaya fresca, además de que utilizando otras técnicas de aplicación se podrían mejorar los resultados llegando incluso a erradicar su crecimiento.



5.3. Efecto de los envases activos en el control de antracnosis

La antracnosis es considerada la principal enfermedad de frutos de papaya en postcosecha. *Colletotrichum gloeosporioides* induce síntomas como el pelado del fruto, la mancha chocolate y la pudrición basal (Gutiérrez-Alonso, 2007). En frutos inmaduros generalmente el hongo permanece latente, y sólo cuando el fruto inicia o llega a la madurez de cosecha se evidencian los síntomas de la enfermedad afectando la calidad externa e interna del producto y con ello su valor comercial (Páez-Redondo *et al.*, 2005).

5.3.1. Índice de decaimiento

Con el Índice de Deicamiento (IDC) se evaluaron los síntomas por el deterioro causado por el hongo en el fruto (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010). En la Figura 38 se observa que la aplicación de los envases activos sobre papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* mostró un efecto positivo en cuanto a la presencia de los síntomas de la enfermedad con respecto a los lotes control.

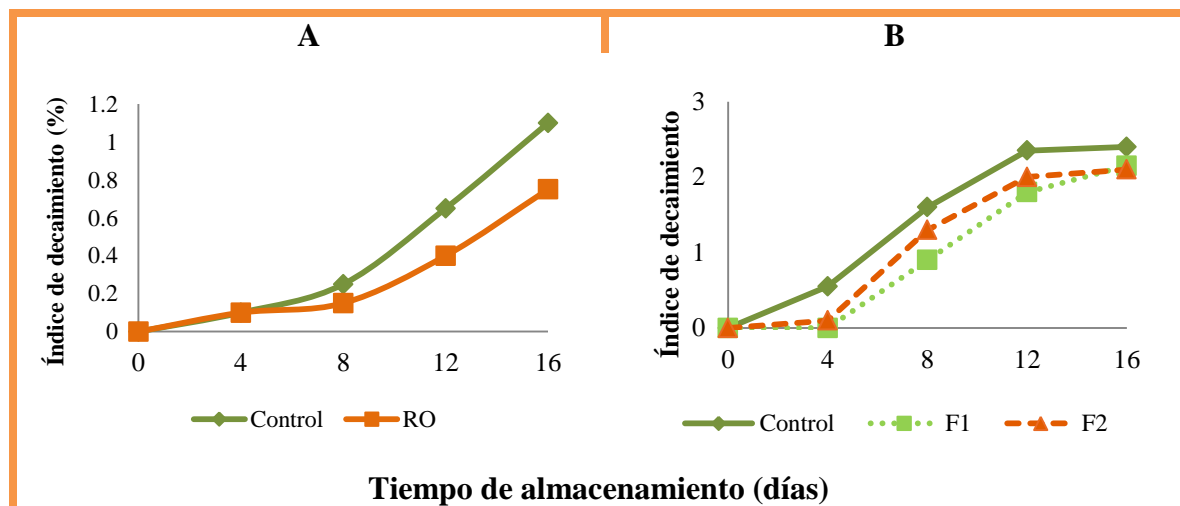


Figura 38. Efecto de los envases activos en el índice de decaimiento de papaya fresca almacenada a 14°C durante 16 días. A) RO: el envases con aceite esencial de Orégano; B) F1 y F2: prototipo de envases semi-comerciales.

En la Figura 38.A se observa el efecto del envase a base de CMC adicionado con aceite esencial de Orégano sobre los síntomas de antracnosis con respecto al lote control



donde al día 8 de almacenamiento las papayas recubiertas tuvieron un valor 40% de IDC menor que los controles (0.25). En el día 12 el lote con el envase RO tuvo un índice de decaimiento 38.5% menor que las papayas sin recubrimiento y al final del almacenamiento se observó que el lote control tuvo un IDC 32% menor que los frutos con RO (0.75).

Por otra parte, en la Figura 38.B se apreció que en el día 4 de almacenamiento las papayas no recubiertas tuvieron un IDC de 0.55 mientras que el lote con el prototipo F1 no presentó síntomas y las papayas con prototipo F2 apenas alcanzaron el valor de 0.1 (82% IDC menos que los controles); para el día 8 en las papayas recubiertas tuvieron un IDC de 0.9 y 1.3, con los envases F1 y F2 respectivamente, es decir, 43.7% y 18.8% menos que el lote control (1.6). Al día 12 de almacenamiento el valor para los controles alcanzó el 2.4, mientras que para las papayas con F1 fue de 1.8 (23.4% menos) y para lote con F2 de 2.0 (14.89% menos). En el último punto de muestreo, las papayas control tuvieron IDC de 2.4, las recubiertas con F1 de 2.5 y las recubiertas con F2 2.1, es decir, 10.4% y 12.5% menos que las papayas no recubiertas respectivamente. La reducción en el IDC de las papayas recubiertas con RO, F1 y F2 se debe a que las propiedades protectoras de los recubrimientos funcionan disminuyendo el deterioro producido por *Colletotrichum gloeosporioides* sobre la epidermis de la fruta.

Bosquez-Molina *et al.* (2010) reportaron que el IDC en papaya inoculada con *C. gloeosporioides* recubierta con aceite esencial de Tomillo al 0.12% y con aceite es de Lima al 0.10% se redujo 50% con respecto a sus controles. Estos resultados son aproximados a los obtenidos en este experimento, en donde el IDC en las papayas recubiertas con aceite esencial de Orégano fue 37% menor que el lote control, los frutos con F1 tuvieron 25% menos y los recubiertos con F2 32%, es decir, el recubrimiento con aceite esencial de orégano tuvo mejores resultados en el control de daño provocado por *Colletotrichum gloeosporioides* debido a que los compuestos aromáticos de aceite consiguieron disminuir la velocidad de crecimiento del hongo sin deteriorar la epidermis de la papaya.



5.3.2. Severidad de la enfermedad

La severidad de una enfermedad se define como el área o volumen de tejido enfermo, y se mide en términos de proporción de tejido enfermo sobre tejido sano (Castaño-Zapata y Pérez Madrid, 1997). En la Figura 39 se observa que en ambos experimentos (A y B) el efecto de los recubrimientos resultó positivo para disminuir la gravedad de los síntomas con respecto a las papayas control.

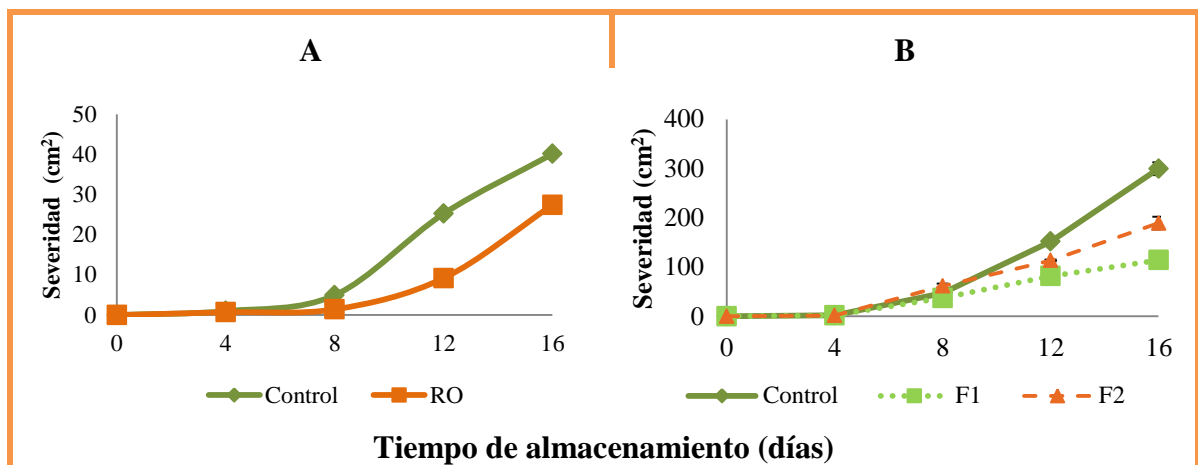


Figura 39. Efecto de los envases activos a base de aceite esencial de orégano RO (A) y los prototipos semi-comerciales (B) en la respiración en papaya Maradol durante 16 días de almacenamiento en cámara frigorífica (14°C). Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

En la Figura 39. A se muestra que el efecto del envase RO en la severidad presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) a partir del tercer punto de muestreo (día 8) en donde tuvo un valor de 9.2, 71.5% menos que el lote control; para el día 12, los síntomas en las papayas recubiertas aumentaron hasta quedar 63% por debajo de las control, en el último punto de muestreo (día 16) se encontró que el lote control tuvo un valor de 40.1 mientras que los frutos tratados con RO tuvieron 27.4, es decir, tuvieron una severidad 31.7% mayor que los recubiertos. En la Figura 39.B se observa que el lote control tuvo un incremento en el grado de severidad mayor que el de las papayas con recubrimiento. Existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre la severidad presentada por los tres lotes a partir del día 4 y hasta el final del experimento; en el día 4, las papayas recubiertas con F2 tuvieron un incremento en la severidad de los síntomas de 13.9% más que los controles. En el tercer punto de muestreo fueron las papayas recubiertas con F2 las que mostraron 23.8% mayor grado de severidad con



respecto a las control. Sin embargo, los recubrimientos consiguieron detener la velocidad de crecimiento del hongo sobre la superficie de las frutas, pues para el día 12 los controles mostraron un incremento en la severidad de 46% con respecto a las papayas recubiertas con F1 y 22.7% con respecto al lote recubierto con F2; en el último día de almacenamiento, las papayas recubiertas con F1 tuvieron un decremento en la velocidad de crecimiento de 38% con respecto a los controles, mientras que las que estuvieron recubiertas con F2 tuvieron 36.8% menos debido a que los compuestos de los recubrimientos semi-comerciales consiguieron retardar el crecimiento del hongo y por tanto se disminuyeron los síntomas producidos por éste en los frutos.

Bautista-Baños *et al.* (2003) reportaron que papayas inoculadas con *C. gloeosporioides* y recubiertas con quitosano al 0.5% presentaron un valor de 4 en cuanto al índice de severidad en el 5 día de almacenamiento. Bosquez-Molina *et al.* (2010) reportaron valores de 1.5 con recubrimiento de aceite esencial de Tomillo al 0.1% y de 0.5 con recubrimiento de aceite esencial de Lima al 0.1% en el día 9 de almacenamiento. Estos resultados difieren de los obtenidos en este trabajo ya que con las papayas recubiertas con RO al día 4 se obtuvo un valor de 0.7 mientras que para el lote con F1 fue de 1.95 y para el lote recubierto con F2 fue de 1.4; no obstante se pueden comparar los efectos positivos sobre la enfermedad de los recubrimientos adicionados con aceites esenciales a comparación del recubrimiento de quitosano.

En la Figura 40 se muestra el seguimiento fotográfico llevado a cabo para la evaluación visual del efecto de los recubrimientos sobre la antracnosis. Se observa que los síntomas de antracnosis comenzaron a notarse en todos los casos a partir del día 8; en el día 16 se los lotes con recubrimiento presentaron daños provocados por otra especie de hongo, muy probablemente *Penicillium spp* o *Fusarium spp* pues se presentaron colonias con micelio algodonoso de blanco a grisáceo, esta contaminación se atribuyó a que en la cámara de refrigeración se almacenaron productos inoculados con estos microorganismos y no se procedió a una desinfección posterior; por otra parte, el síndrome característico de la antracnosis inicia con una emisión de látex sobre la superficie del fruto seguido de una aparición de lesiones de color rojizo, que conforme avanzan se tornan circulares, acuosas y con los márgenes claros y translúcidos, produciéndose hundimientos y pelado (Álvarez y



Nishijima, 1987), síntomas que tuvieron mayor presencia en las papayas sin recubrimiento. Se puede observar notoriamente que el envase que consiguió mantener a las frutas en mejores condiciones fue F2, ya que además de disminuir la incidencia de la antracnosis también redujo el crecimiento del otro microorganismo (*Penicillium* spp o *Fusarium* spp).

Figura 40 Efecto de los envases activos en papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* almacenadas a 14°C durante 16 días.

Tratamiento	Día				
	0	4	8	12	16
Control					
RO					
F1					
F2					

Resultados y
discusión





5.4. Efecto de los envases activos sobre los parámetros de calidad en papaya fresca.

5.4.1. Respiración

La respiración en las frutas se da por el consumo de oxígeno del medio ambiente y sustrato del órgano vegetal, teniendo como consecuencia la producción de CO₂, agua y energía (tanto química como en forma de calor). Por lo general, las células jóvenes de crecimiento activo tienden a tener mayor velocidad respiratoria que las células senescentes o más maduras (Bourton, 1982). Los frutos clasificados como climatéricos exhiben una elevación marcada en su actividad respiratoria hacia el final de la fase de maduración. La etapa climatérica representa una transición entre la maduración y la senescencia (Kays, 1991).

En la Figura 41 se muestra que las papayas recubiertas tuvieron una tasa de respiración más alta que las del lote control durante el periodo de almacenamiento.

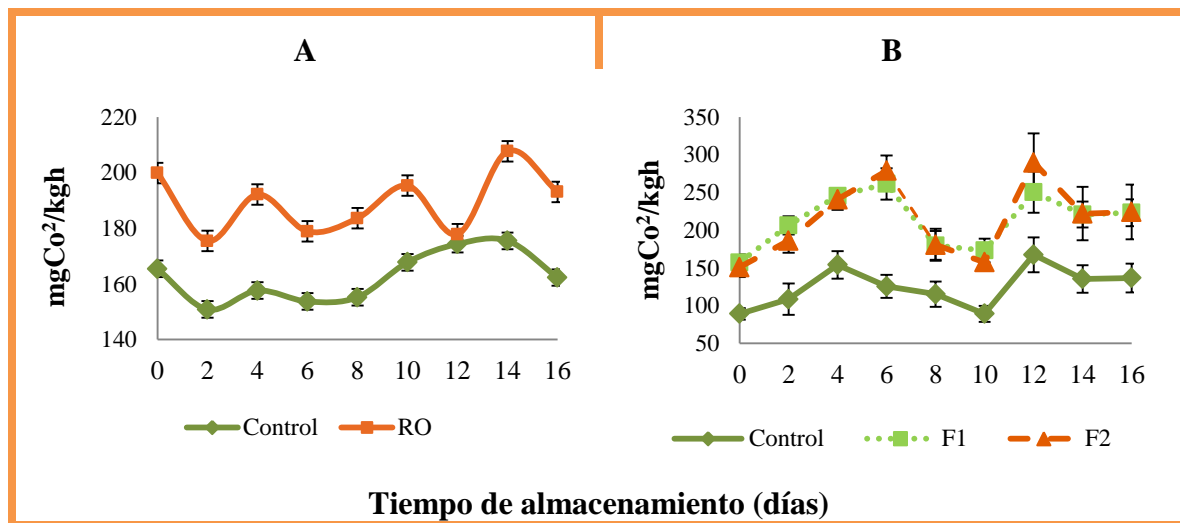


Figura 41. Efecto de los envases activos a base de aceite esencial de orégano RO (A) y los prototipos semi-comerciales (B) en la respiración en papaya Maradol durante 16 días de almacenamiento en cámara frigorífica (14°C). Las barras verticales indican \pm desviación estándar

En la Figura 41.A se observa que el punto climatérico para ambos lotes fue en el día 14, en donde las papayas tratadas con RO tuvieron una tasa de respiración de 207.7 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹ mientras que las control tuvieron 175.51 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹, es decir, 15.5% menos respiración que las primeras. Únicamente en el primer punto de muestreo no se observó diferencia significativa ($P \geq 0.05$), en donde la diferencia porcentual de la tasa de respiración RO (200



mgCO₂kg⁻¹h⁻¹) fue 17.25% mayor que los controles (165.4 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹), a partir del día 8, las papayas control presentaron una tendencia ascendente mientras que las papayas recubiertas se mantuvieron en una tendencia irregular debido a que la pérdida de peso y el aumento en la tasa de respiración fue más proporcional.

En la Figura 41.B se encontró que el punto climatérico para los tres lotes (control, F1 y F2) fue en el día 12, en donde las papayas recubiertas con F2 tuvieron una tasa de respiración 42.2% más alta con respecto a los controles y 13.5% con respecto a las tratadas con F1, sin haber diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en este punto, aunque sí hubo en el día 0 entre la respiración que presentó el lote Control y el lote F2, siendo F1 el lote que mostró la tasa de respiración más alta, 43.2% más con respecto al control y 4.06% más con respecto al de F2, en el segundo día de muestreo la diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de la respiración se presentó únicamente entre las papayas control y las recubiertas no habiendo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los lotes con prototipo F1 y con F2; en este punto experimental las papayas con F1 de nueva cuenta presentaron una tasa de respiración 47.42% más alta con respecto a las control y 9.8% con respecto a las recubiertas con F2. En el día 6 existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre la respiración de los tres lotes, siendo los frutos tratados con F2 los que tuvieron 36% mayor tasa de respiración que los controles y 6.25% que los tratados con F1. El rango de respiración para el lote control durante los 16 días de almacenamiento fue de 89.2-167.4 mgCO₂/kgh; para el lote recubierto con F1 de 157.3-261.3 mgCO₂/kgh; y para recubierto con F2 de 150.9-278.7 mgCO₂/kgh.

La tasa de respiración alta en las papayas con envase activo se atribuyó al estrés que su aplicación provocó sobre ellas, pues al tener un agente extraño que limitaba su consumo de oxígeno las frutas incrementaron su ritmo respiratorio para poder obtener la cantidad de oxígeno que requerían, además de que las películas demostraron tener una permeabilidad alta al CO₂ producido por los frutos.

Estudios realizados por Arnon *et al.* (2013) demuestran que ceras comerciales y el recubrimiento bicapa de CMC/Quitosano que utilizaron incrementaron significativamente los niveles de CO₂ en atmósferas internas de mandarinas “Or” y toronjas “Star Ruby”; estos niveles nunca excedieron el 3.5%.



Ali *et al.* (2011) trataron papayas Maradol con recubrimientos a base de quitosano, en donde las frutas sufrieron un rápido incremento en los niveles de CO₂ durante la primera semana de almacenamiento; posteriormente este incremento se observó más gradual alcanzando en la quinta semana de almacenamiento niveles de CO₂ 6% y 9% mayores con respecto al primer muestreo.

Ambos trabajos presentaron datos aproximados con los obtenidos en este experimento pues el porcentaje de respiración de las papayas recubiertas con RO se incrementó 3.4% hasta el final de la experimentación; sin embargo, difieren con los obtenidos con los prototipos F1 y F2, los cuales tuvieron un aumento en la tasa de respiración que osciló entre el 30 y 34% al final del almacenamiento. Esto puede atribuirse también al estado de madurez en el que se encontraban las papayas (un punto más verde en el experimento con F1 y F2) así como a la alta permeabilidad al CO₂ que presentaron los recubrimientos semi-comerciales.

5.4.2. Pérdida de peso

Con la cosecha, el abastecimiento de agua en la fruta se corta y el producto debe sobrevivir de sus propias reservas. Al mismo tiempo que ocurre la respiración, el producto cosechado continúa perdiendo agua hacia la atmosfera por un proceso conocido como transpiración. El efecto neto de la transpiración es una pérdida de agua del producto cosechado que causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo su turgencia, es decir, se vuelve blando y marchito (FAO, 2008).

En la Figura 42 se muestra que la pérdida de peso en el lote con el envase activo RO fue en promedio 32% mayor en los controles mientras que los lotes con F1 y F2 tuvieron 16.6% y 30.5% mayor pérdida de peso respectivamente que el lote control, esto debido a que la respiración y la transpiración son mecanismos fisiológicos ligados (López, 2000) y por lo tanto, al haber presentado una tasa de respiración más alta, las frutas recubiertas perdieron mayor cantidad de agua.

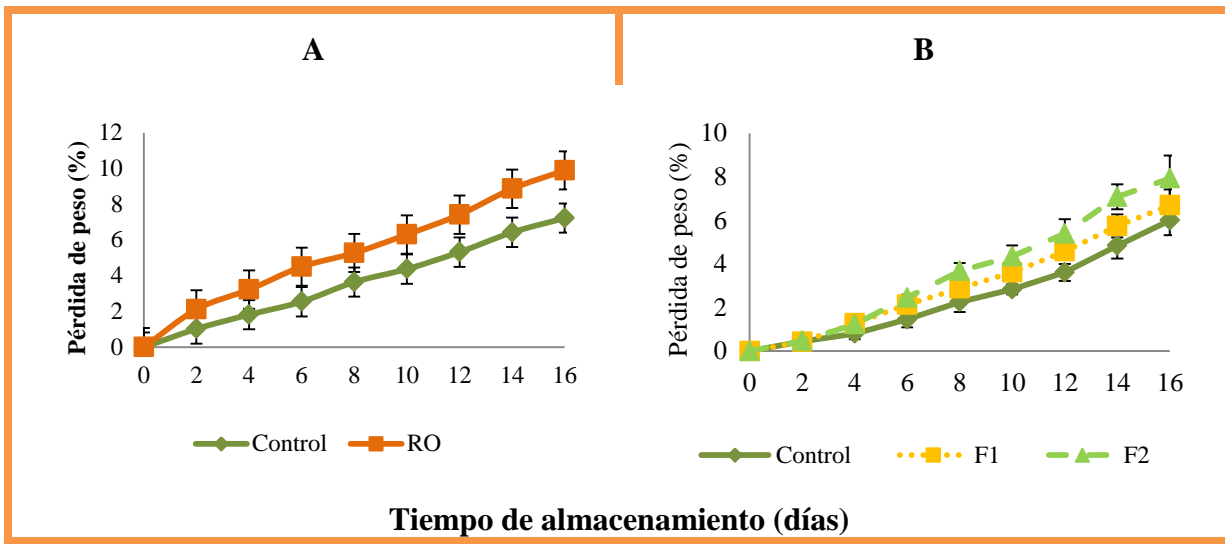


Figura 42. Efecto de los envases activos sobre la pérdida porcentual de peso en papayas recubiertas con A) RO: aceite esencial de Orégano; y con B) F1 y F2: prototipos semi-comerciales. Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

En la Figura 42.A se observa que el porcentaje de pérdida de peso en las papayas evaluadas con RO fue de 9.9% al final de la experimentación mientras que los controles perdieron 7.2% con respecto al primero punto de muestreo, existiendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la pérdida de peso a lo largo del almacenamiento de los frutos, la cual fue gradual a partir del día 2 con una disminución aproximada de 1.5% cada 2 días.

En la Figura 42.B se muestra que en el tercer punto de muestreo existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la pérdida de peso de los frutos recubiertos con F1 y F2, presentando el lote tratado con F1 un 4.44% mayor pérdida que el lote control mientras que las papayas analizadas con F2 presentaron 2.2% más. A partir del día 6 se presentó una pérdida gradual de aproximadamente 20% cada 2 días; en el día 14 los frutos recubiertos con F2 tuvieron 30% más pérdida de peso que los controles; finalmente en el último punto de muestreo la pérdida de peso de las papayas con F2 presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en su pérdida de peso con respecto a las papayas control, en tanto que las de F1 no tuvieron diferencia significativa con las otras papayas evaluadas teniendo 13.4% mayor pérdida que el control mientras que los frutos con F2 finalizaron con una pérdida de 25% más que el lote control.



Uno de los principales objetivos de los envases activos es disminuir el porcentaje de pérdida de peso para extender la calidad comercial de los frutos; sin embargo, en este experimento no se consiguió ese objetivo probablemente a que la permeabilidad de los envases utilizados fue demasiado alta sobre la fruta fresca. El alto porcentaje en la pérdida de peso también se puede atribuir a que las condiciones de almacenamiento no fueron las adecuadas, pues la fricción entre los frutos y con las paredes del contenedor pudo haber ocasionado un estrés que aceleró el proceso de transpiración, además del excesivo manipuleo y los constantes cambios de temperatura a los que los frutos estuvieron expuestos.

Resultados obtenidos por Ali *et al.* (2011) indican que con un recubrimiento hecho a base de quitosano sobre papaya la pérdida de peso con respecto a los controles disminuyó 6%; Almeida-Castro *et al.* (2011) reportaron que con un recubrimiento a base de almidón de yuca también en papaya se logró disminuir 1.33% la pérdida de peso, mientras que Pereto *et al.* (2013) obtuvieron 11.8% de pérdida de peso en fresas recubiertas con pectina (adicionada con carvacrol) con un control que perdió 12.3%, resultados que difieren con los obtenidos en este experimento debido a que las películas utilizadas presentaron una permeabilidad más alta sobre la epidermis de las papayas.

5.4.3. Color

La maduración de los frutos puede ser definida como la secuencia de cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que conducen a la formación de un fruto apto para el consumo humano; entre los cambios físicos se encuentra el cambio de color en donde los cloroplastos de las células del fruto sufren un desmantelamiento que acaba con las clorofilas y descubre otros pigmentos existentes, como los carotenoides (β -caroteno, licopeno). Además, la maduración implica la síntesis de nuevos pigmentos como las antocianinas lo que provoca un cambio en el color del fruto, que deja de ser verde (Asenjo-Vera *et al.*, 2012).



5.4.3.1. Luminosidad

La Luminosidad de un color es una característica psicofísica y se identifica con la propiedad de los materiales de reflejar, en mayor o menor grado, la luz que lo ilumina. La luminosidad está caracterizada por el valor triestímulo *CIE Y* que representa el valor porcentual de la reflectancia luminosa respecto del difusor perfecto. El valor de *Y* no proporciona diferencias equivalentes a las percibidas visualmente por lo que si se desea comparar dos mediciones de luminosidad, se recomienda emplear el valor triestímulo *CIE L** (Colombo y O'Donell, 2004).

En la Figura 43 se muestran los resultados de luminosidad obtenidos por el espectrofotómetro sobre las papayas recubiertas y los controles.

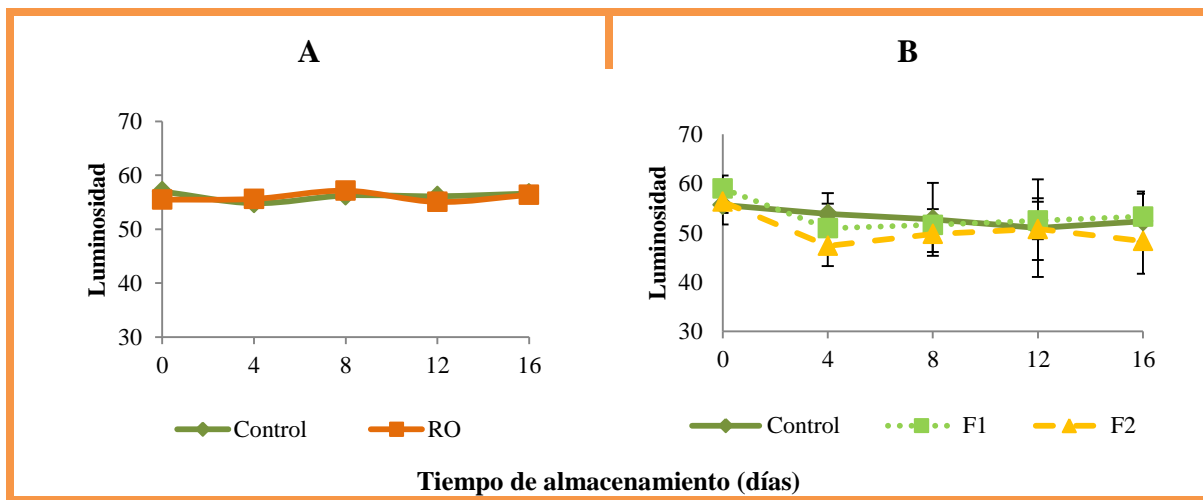


Figura 43. Efecto de la aplicación de envases activos (A) con Aceite de Orégano (RO); (B) F1 y F2 prototipos semi-comerciales en la luminosidad de papaya Maradol Fresca almacenada en cámara frigorífica (14°C) durante 16 días. Las barras verticales indican \pm desviación estándar

En la Figura 43.A se observa que los valores de luminosidad en el lote RO y en el lote control se mantuvieron en un rango de $L=53.5-58.0$ a lo largo del almacenamiento; en el día 0 las papayas del lote control presentaron un valor de L 2.66% mayor que las papayas recubiertas aunque para el día 4 las controles mostraron una disminución de luminosidad de 3.82% con respecto al primer punto de muestreo mientras que las frutas con recubrimiento mantuvieron una tendencia aproximadamente constante, pues L aumentó solamente 0.25% en el día 8 el valor de L aumentó en las papayas de ambos lotes siendo el lote con RO mayor con



1.55%. Siempre hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la luminosidad de las papayas control y las recubiertas durante el tiempo de almacenamiento.

En la Figura 43.B se muestra la tendencia descendente en L que los recubrimientos semi-comerciales provocaron en la papaya. El lote control se mantuvo en un rango de valores similar al del primer experimento iniciando en el día 0 con un valor de $L=55.68$ disminuyendo paulatinamente hasta el día 12 en el que el valor de $L=50.95$; para el día 16 el valor volvió a aumentar a $L=52.5$. Las papayas recubiertas con F1 fueron las que presentaron un valor de L más alto en el día 0 (59.0), 5.62% mayor que las controles y 4.5% que las recubiertas con F2 sin presentar diferencia significativa entre estos resultados; en el día 4 el valor de L disminuyó hasta 50.92, es decir, 15.25% con respecto al primer punto de muestreo; sin embargo, para el día 8 hubo un ligero aumento en $L=51.61$ y para el día 16 se obtuvo un valor final de $L=53.3$, 1.87% mayor que los controles y 9.34% mayor que las frutas tratadas con F2, teniendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con los resultados de las papayas no recubiertas. Los frutos con recubrimiento F2 presentó en el día 0 un valor de $L=56.33$, 1.15% más alto que los controles; para el día 4 L disminuyó 15.8% con respecto al primer punto, siendo el tratamiento con resultados más bajos de L en este muestreo; para el resto de la experimentación los valores de L aumentaron hasta el día 12, en el cual $L=50.77$ sin presentar diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en la luminosidad de los otros tratamientos y finalizando con un valor de $L=48.32$.

Los resultados obtenidos en el primer experimento concuerdan con el trabajo de Almeida-Castro *et al.* (2011) en donde la luminosidad del lote control resultó $L=56.65$ mientras que las papayas recubiertas con almidón de yuca presentaron un valor de $L=55.3$, es decir, disminuyó 2.3%. Ali *et al.* (2011) utilizaron un recubrimiento de quitosano en papaya fresca obteniendo un valor de $L=64.4$ mientras que los controles obtuvieron $L=65.5$. Dávila-Acuña (2011), sin embargo, consiguió aumentar la luminosidad 3% en jitomates recubiertos con cera de carnauba con respecto a los controles al igual que Peretto *et al.*, (2013) quienes trabajaron con un recubrimiento de pectina y carvacrol en fresa fresca, obteniendo un aumento de 5.6% en L con respecto a los controles.

El recubrimiento con aceite esencial de Orégano no proporcionó un aumento significativo en la luminosidad de las frutas frescas, aunque sí consiguió mantener una



tendencia casi constante, es decir, mantuvo el atributo en la fruta fresca hasta el final del almacenamiento debido a que el efecto plastificante no consiguió brillantar la superficie aunque tampoco la opacó. Los recubrimientos semi-comerciales fueron formulados con algunas sustancias que corroyeron la epidermis de las frutas por lo que opacaron la superficie, siendo F2 el recubrimiento que provocó pérdida de luminosidad en las papayas.

5.4.3.2. Croma

Este concepto representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo, y puede relacionarse con el ancho de banda de la luz que estamos visualizando. Los colores puros del espectro están completamente saturados, sus valores se mueven desde cualquier color puro hasta a un tono de gris (Moreno, 2004). La Figura 44 muestra que tanto el envase de aceite de Orégano como los semi-comerciales tuvieron efectos diferentes sobre la cromaticidad de las papayas frescas con respecto al lote control.

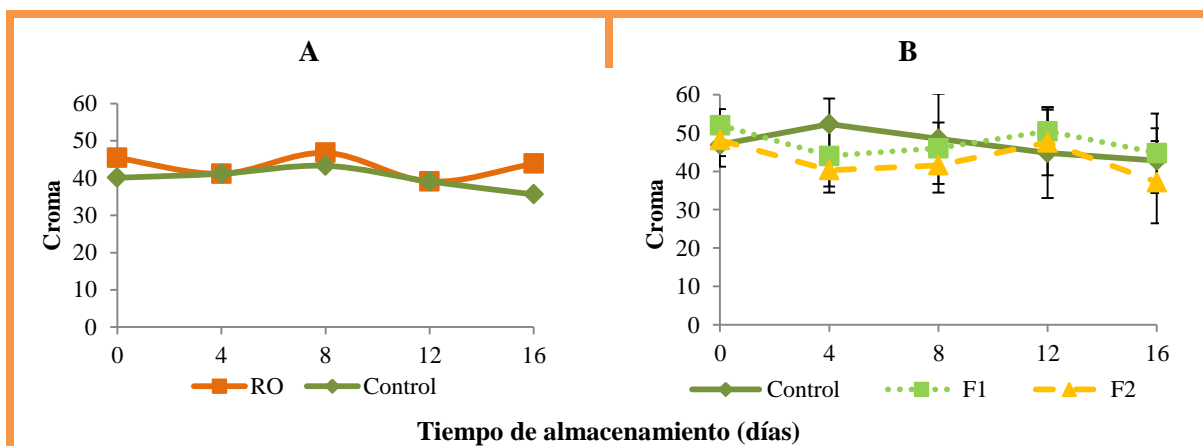


Figura 44. Efecto de la aplicación de envases activos (A) adicionado con Aceite de Orégano (RO); (B) F1 y F2 prototipos semi-comerciales en la cromaticidad de papaya Maradol Fresca almacenada en cámara frigorífica (14°C) durante 16 días. Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

En la Figura 44.A se observa que el croma en las papayas recubiertas con RO fue 12% mayor que el lote control y se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el croma de ambos lotes; en el día 4 existió una disminución en los resultados de las papayas con RO $C^* = 45.4$ a 41.18, sin existir diferencia numérica con los resultados de las controles, para el día 8 el valor de C^* en las papayas recubiertas aumentó a $C^* = 46.78$, 7.41% mayor que el lote control; en el día 12 no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en los resultados obtenidos de ambos



tratamientos. El recubrimiento con aceite esencial de Orégano mantuvo la cromaticidad (pureza) del color de la epidermis de la papaya debido a que los no afectó el proceso de producción de carotenoides en la fruta, por lo tanto se considera un efecto favorable para la comercialización del producto.

En la Figura 44.B se observa que el lote control mantuvo una tendencia cuasi constante, en la que los valores se mantuvieron dentro de un rango de $C^*=50.95$ a 55.68 . En el día 0 el lote recubierto con F1 fue $C^*=59$, 5.62% mayor que los controles y 4.52% mayor que los resultados de las papayas recubiertas con F2; para el día 4 C^* disminuyó a 50 y presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con los resultados de los frutos tratados con F2; sin embargo, en el día 8 comenzó a aumentar a $C^*=51.6$, sin presentar diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con los valores de los controles y las papayas tratadas con F2; para el día 16 los frutos con F1 presentó $C^*=53.3$, es decir, 1.87% más que las papayas control y 9.3% más que el lote evaluado con F2, teniendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el croma que presentó el lote sin recubrimiento; las papayas con F2 tuvieron en el primer punto de muestreo $C^*=56.33$, 1.1% más que las controles; sin embargo, para el día 4 C^* descendió hasta un valor de 47.38 (11.98% menos que las papayas control en este punto) presentando diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con éste lote; para el día 12 existió un aumento en $C^*=50.77$, finalizando al día 16 con un valor de $C^*=48.32$.

En los trabajos de Ali *et al.* (2011) obtuvieron valores de $C^*=49.5$ en papayas control y 49.1 en papayas recubiertas con quitosano, es decir, no hubo un cambio significativo en la cromaticidad de las papayas con recubrimiento. Por otra parte, Almeida-Castro *et al.* (2011) obtuvieron un valor de $C^*=53.55$ en papayas recubiertas con almidón de yuca y 56.25. En general, los recubrimientos en papaya disminuyeron los valores de Croma como en el caso de este trabajo, en donde el recubrimiento F2 fue el tratamiento que provocó una mayor disminución en los resultados de la medición de C^* , esto se atribuye a que los compuestos de los recubrimientos contienen compuestos que alcanzaron a dañar a epidermis de las frutas oscureciéndolas hasta alcanzar colores cafés.



5.4.3.3. Tono

Es el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados, y es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en la mezcla de las ondas luminosas. El Tono se define como un atributo de color que nos permite distinguir el rojo del azul, y se refiere al recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático, por lo que el verde amarillento y el verde azulado serán matices diferentes del verde (Moreno, 2004). Habitualmente se utiliza el círculo cromático para representar todos los tonos y cada uno de ellos se define por los grados de la inclinación del radio que representa ($^{\circ}$ Hue) (Selva, 2011).

En la Figura 45 se muestra el efecto de los recubrimientos sobre los valores del tono en las papayas tratadas.

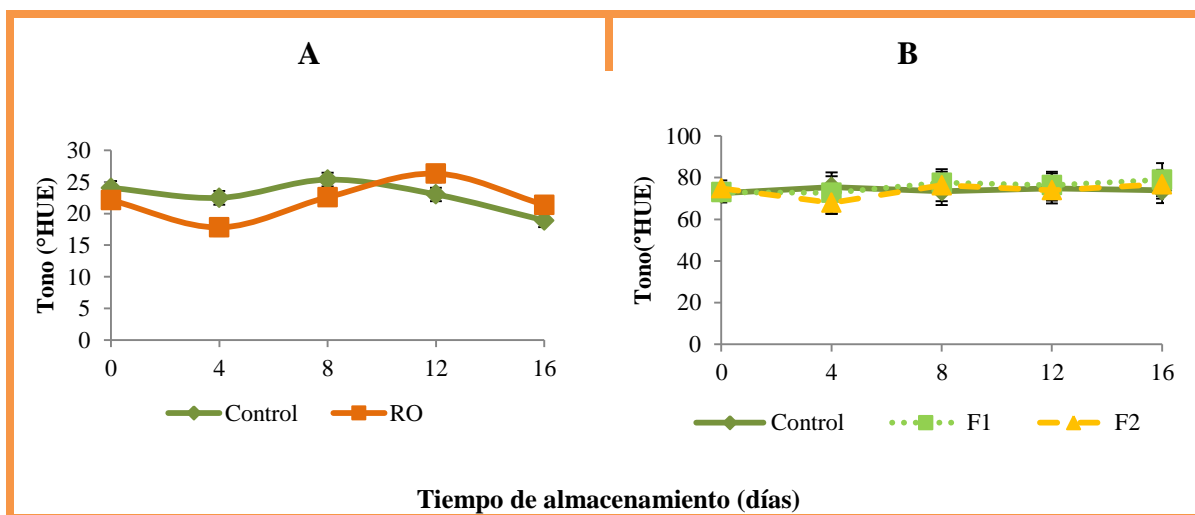


Figura 45. Efecto de la aplicación de los envases activos (A) adicionado con Aceite de Orégano (RO); (B) F1 y F2 prototipos semi-comerciales en el Tono de color de papaya Maradol Fresca almacenada en cámara frigorífica (14°C) durante 16 días. Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

Como se observa en la Figura 45.A la tendencia de los valores obtenidos de los frutos tratados con RO fue irregular: en el primer punto de muestreo se obtuvo un valor de 22.1° Hue, 8.1% menos que el lote control y no existió diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en el tono; para el día 4 se presentó una disminución en $^{\circ}$ Hue= 17.81 , 20.73% menos que los controles, que obtuvieron un valor de 22.47° Hue con lo que sí hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el día 12 hubo un aumento de $^{\circ}$ Hue= 26.3 en las frutas tratadas con RO, 12.54%



mayor que las papayas no recubiertas existiendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en este punto.

En la Figura 45.B se muestra una tendencia similar en el tono de las papayas tratadas con F1 y F2 y las no recubiertas. Con F1 el día 0 se obtuvo un valor de $^{\circ}\text{Hue}$ (59.0) más alto que los otros dos lotes, 5.62% con respecto al control y 4.52% con respecto a los resultados del lote recubierto con F2; en el día 4 hubo una disminución en el valor de $^{\circ}\text{Hue}$ = 50.9, 5.44% menos que los controles y no existió diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en el tono; al día 12 se presentó una recuperación hasta 52.49 $^{\circ}\text{Hue}$, 2.9% más que el lote control y 3.27% más que los frutos recubiertos con F2, sin que hubiera diferencia significativa ($P \geq 0.05$); para el final del almacenamiento con el lote con F1 se obtuvo un valor de 53.3 $^{\circ}\text{Hue}$, siendo este el tono más alto comparado con el resto de los tratamientos. Las papayas tratadas con F2 presentaron un valor inicial de 56.9 $^{\circ}\text{Hue}$, para el día 8 el valor disminuyó 16% con respecto al primer punto de muestreo, manteniendo posteriormente un aumento que llegó a los 49.78 $^{\circ}\text{Hue}$ en el día 8 en donde también hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el tono del lote control; para el último punto de la experimentación (día 16) el lote tratado con F2 presentó 48.32 $^{\circ}\text{Hue}$, siendo el tratamiento que tuvo valores más bajos (cerca al café) y teniendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los $^{\circ}\text{Hue}$ del tono del lote control.

En trabajos de Alí *et al.* (2011) el valor del tono en papayas no recubiertas fue de 47 $^{\circ}\text{Hue}$ mientras que en las frutas con recubrimiento de quitosán tuvieron 49 $^{\circ}\text{Hue}$; Dávila-Acuña *et al.* (2011) también registraron un aumento en el valor del tono en jitomates recubiertos con cera de carnauba y Peretto *et al.* (2013) no encontraron diferencia significativa en el tono de ciruelas frescas y recubiertas con Aloe.

En este trabajo se disminuyó el valor de $^{\circ}\text{Hue}$ en los lotes con recubrimiento, de los cuales se desconoce la base de los semi-comerciales; sin embargo, se puede entender que algunos de los componentes abrasaron la epidermis de manera que ópticamente alteraron el color de la fruta, uno de los atributos más importantes para el consumidor a la hora de elegir el producto. Por otro lado, el recubrimiento de aceite de Orégano alteró levemente los atributos de color de las papayas frescas, por lo que se puede incluir al mercado sin que la apariencia física resulte perjudicial para su comercialización.



5.4.4. Firmeza

El cambio en la firmeza es uno de los principales indicadores en la evaluación de la calidad de los frutos. Uno de los mecanismos que provoca la reducción de la textura es el rompimiento de los polisacáridos durante la maduración, el cual causa el debilitamiento de las paredes celulares provocando así el ablandamiento de la fruta (Wills *et al.*, 2007).

En la Figura 46 se observa que la tendencia de la firmeza es descendiente y que las papayas control tuvieron valores menores que las papayas con recubrimiento.

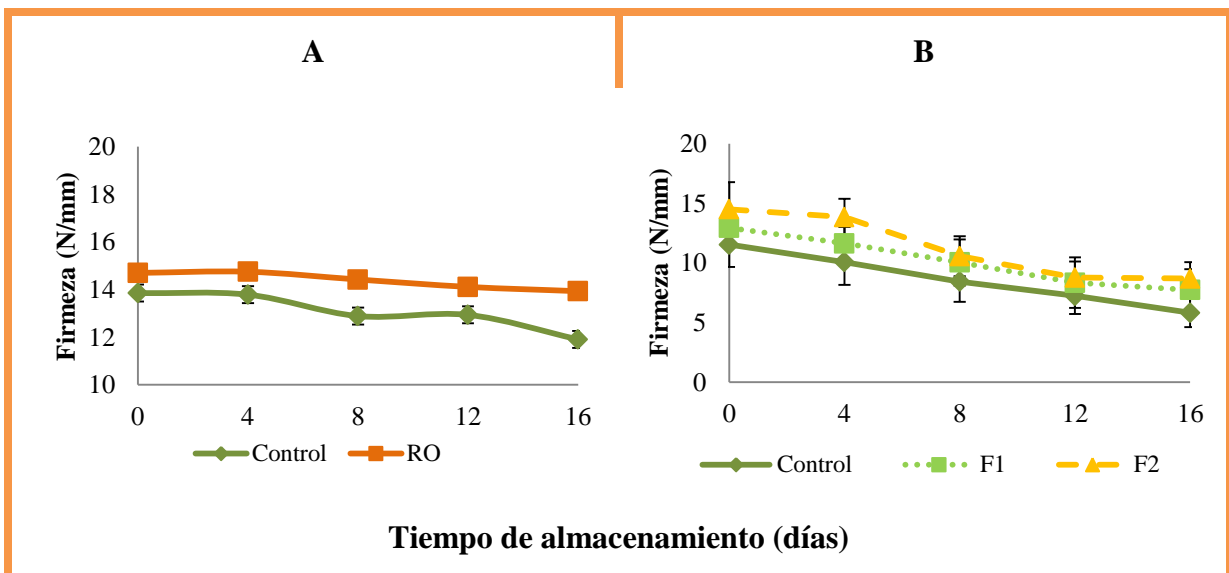


Figura 46. Efecto de los envases activos sobre la firmeza en papaya fresca. A) Con recubrimiento de aceite de Orégano (RO); B) Prototipos semi-comerciales (F1 y F2). Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

En la Figura 46.A se muestra una tendencia casi constante de la firmeza en las papayas recubiertas con RO, teniendo un valor al inicio de la experimentación de 14.7 N/mm, 11.8% mayor que el lote control (13.9 N/mm) y presentando al final del almacenamiento un valor de 14.0 N/mm, 14.4% mayor que el control (11.9 N/mm); es decir, las papayas sin recubrimiento presentaron una pérdida en la firmeza de 14% al final del periodo de almacenamiento mientras que las papayas con RO presentaron una pérdida de 5.23%. En todos los puntos de muestreo existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la firmeza de las papayas evaluadas.



En la Figura 46.B se puede ver que la tendencia para las papayas recubiertas con F2 tuvieron una pérdida en la firmeza menor con respecto a los otros tratamientos; en el día 0 existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la firmeza del lote control y el lote con F2, teniendo valores iniciales de 11.5 N/mm y 14.5 N/mm respectivamente; en cuanto a los lotes con recubrimiento no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en su firmeza, para el día 4 la diferencia significativa ($P \leq 0.05$) fue en la firmeza de las papayas tratadas con F2 y los tratadas con F1 y los controles, teniendo el lote con F1 11% y con F2 27.2% más firmeza que el lote control, en el tercer punto de muestreo las papayas sin recubrimiento presentaron 15.5% y 19.7% menos de firmeza con respecto a las recubiertas con F1 y F2, en el día 12 el lote recubierto F2 tuvo un valor de 8.78 N/mm mientras que los controles tuvieron 7.25 N/mm, es decir, 17.4% y no existió diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en la firmeza de las papayas evaluadas en este día como a los 8 días de evaluación. En el último día de muestreo las frutas recubiertas con F1 tuvieron 24.67% (7.74 N/mm) más firmeza que los controles (5.83 N/mm) mientras que las tratadas con F2 tuvieron 32.91% (7.74 N/mm); en este punto existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la firmeza; los controles tuvieron una pérdida en la firmeza total de 49.29%, mientras que el lote con F1 perdió 40.24% y el recubierto con F2 perdió 40.06%.

Los recubrimientos consiguieron, en este caso, inhibir el proceso maduración en cuanto a la hidrólisis de los polisacáridos de la pulpa, siendo el recubrimiento con aceite esencial de Orégano el tratamiento que consiguiera mantener mayor firmeza en los frutos debido a que la película logró reducir el rimo respiratorio y por tanto estas reacciones bioquímicas consiguieron retardarse.

Ali *et al.* (2011) reportaron que al aplicar un recubrimiento de quitosano al 0.5% la firmeza en la papaya fue 10.11% mayor con respecto a los controles después de 14 días de almacenamiento. Estudios realizados por Peretto *et al.* (2013) muestran que en fresa existió una disminución en la firmeza de 18.8% con respecto a las recubiertas con pectina y carvacrol. Estos resultados pueden compararse a los obtenidos, pues las papayas tratadas con recubrimientos se mantuvieron más firmes que las papayas control, lo que significa que los envases consiguieron detener en este punto la maduración de los frutos.



5.4.5. Sólidos solubles totales

El cambio más significativo que ocurre en la maduración del fruto es la aparición de azúcares solubles, cuyo contenido y clase varía según el tipo de fruto, variedad y condiciones climáticas (Lobo, 1995). En la respiración hay una degradación oxidativa de los materiales de reserva (almidón) del fruto que da lugar a compuestos sencillos como los azúcares y ácidos orgánicos. Por ello los frutos son dulces cuando alcanzan la madurez de consumo (Orret *et al.*, 1953). El azúcar predominante en la papaya madura es sacarosa (48.4 %), seguido de glucosa (29.0%) y fructosa (21.0%) y trazas de pseudoheptulosa (Lobo, 1995).

El contenido de sólidos totales en las papayas con recubrimientos semi-comerciales (F1 y F2) y recubrimiento de aceite esencial de Orégano (RO) presentó un incremento de 6% y 14% respectivamente en el día 16 de almacenamiento, como se puede observar en la Figura 47.

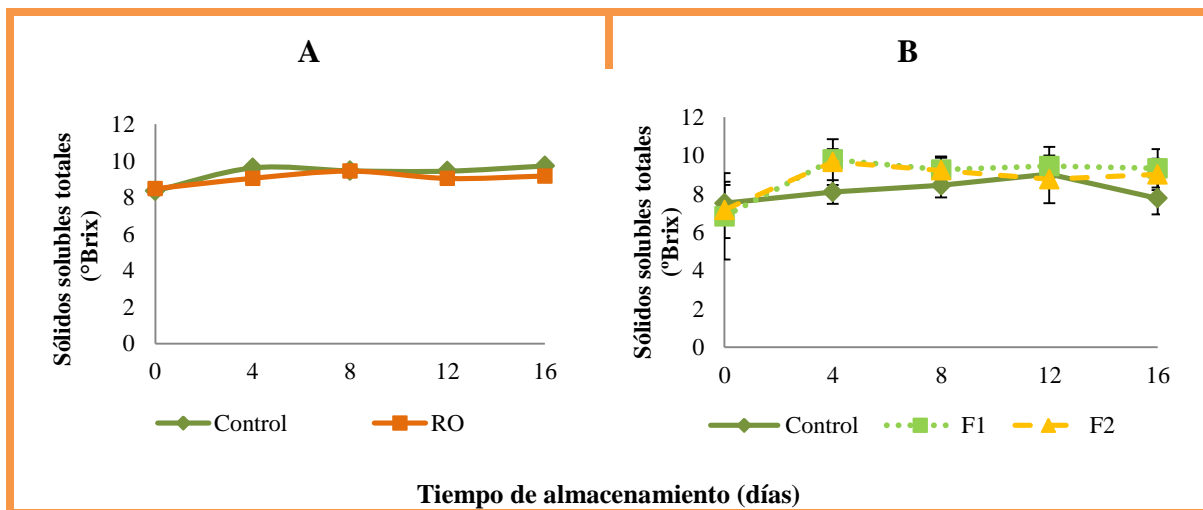


Figura 47. Efecto de los envases activos de aceite esencial de orégano RO (A) y prototipos semi-comerciales (B) F1 y F2 en el contenido de sólidos solubles totales en papaya Maradol durante 16 días de almacenamiento en cámara frigorífica (14°C). Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

En la Figura 47.A se ve que en el día 0 el contenido de sólidos solubles totales en las papayas control fue de 8.3°Brix, aumentando hasta el día 16 un 14.4% (9.7°Brix); mientras que las frutas recubiertas con RO tuvieron un contenido inicial de 8.4°Brix aumentando hasta



un final de 9.1°Brix, es decir, 7.7% y no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre el contenido de SST de ambos lotes al igual que en el día 8.

En la Figura 47.B se observa una tendencia ascendente en el contenido de sólidos solubles totales de las papayas control, las cuales tuvieron 7.5°Brix aumentando 16.6% hasta el día 12 a 9.0°Brix; sin embargo, en el día 16 de almacenamiento existió un descenso de 14.4% hasta 7.7°Brix. En cuanto a las papayas recubiertas con F1 y F2, no existió una tendencia definida en su contenido de SST ya que el lote tratado con F1 tuvo un contenido inicial de 6.8°Brix para luego presentar un aumento del 29.9% (9.7°Brix) en el segundo punto de muestreo y finalizando con 9.3°Brix, es decir, aumentó 26.9% con respecto al inicial; por otro lado las papayas recubiertas con F2 tuvieron 7.1°Brix en el día cero, al igual que las tratadas con F1 sufrieron un incremento en la cantidad de SST en el cuarto día de almacenamiento, que fue de 26%, alcanzando los 9.6°Brix, y finalmente descendieron hasta alcanzar un valor final de 9.0°Brix, es decir, aumentó 21.1% con respecto al contenido inicial, y no existió diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre el contenido de SST de las papayas con recubrimiento F1 y F2 mientras que el lote control no presentó diferencia únicamente en los días 0 y 12.

De acuerdo con los resultados, los sólidos solubles totales aumentaron debido al proceso de maduración de las papayas (Santamaría-Basulto *et al.*, 2009); sin embargo, en la Figura 47.A se observa que el contenido de SST en las papayas control fue mayor con respecto al de las papayas recubiertas con RO, lo que concuerda con los trabajos de Ali *et al.* (2011), en donde se utilizó quitosano como base de recubrimiento para papaya Maradol, atribuyendo la reducción de SST en las frutas recubiertas a la ralentización de la respiración y de la actividad metabólica, es decir, se retardó el proceso de maduración. En la Figura 47.B se observa que las papayas recubiertas con F1 y F2 tuvieron una cantidad de SST mayor que las frutas del lote control. Esto fue consecuencia del estrés al que las papayas fueron sometidas al ser recubiertas, pues aumentó su tasa de respiración y por lo tanto las reacciones metabólicas de hidrólisis de los polisacáridos.

Como se determinó en los resultados obtenidos de la tasa de respiración y pérdida de peso, F1 y F2 son recubrimientos más permeables que RO, ya que permitieron el intercambio



de CO₂. Los descensos en el contenido de SST durante el almacenamiento de los tres lotes (Control, F1 y F2), de acuerdo con Fan (1992), se justifican por el consumo de sustratos en el metabolismo respiratorio de la fruta, lo que significa que el gasto de energía por la respiración de los frutos consume los azúcares disponibles en la pulpa.

Conclusiones





Conclusiones

1. El aceite esencial de Orégano resultó efectivo para la inhibición del crecimiento de *Salmonella spp.* en pruebas *in vitro* con concentración de 1680 y 2250 ppm; así como para interrumpir por completo el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*, por lo que resultó un agente antimicrobiano con efecto antifúngico y antibacterial apto para su incorporación al recubrimiento.
2. Los envases activos a base de CMC con aceite de Orégano y los prototipos semi-comerciales aplicados en papaya Maradol fresca provocaron una disminución en el crecimiento de *Salmonella spp.*, así como alentaron su proceso de desarrollo, ya que fueron capaces de crear un ambiente lo suficientemente hostil para que la bacteria redujera su presencia, El envase a base de CMC con aceite de Orégano fue 13% más efectivo para el control de crecimiento de *Salmonella spp* con respecto a los prototipos semi-comerciales.
3. Los envases activos a base de CMC con aceite esencial de Orégano y los prototipos semi-comerciales disminuyeron significativamente los síntomas de antracnosis en papaya fresca (de 27 a 53% con respecto a los controles), siendo el prototipo semi-comercial F1 el que presentó mayor capacidad antifúngica: 14% más comprado con el envase a base de CMC adicionado con aceite esencial de Orégano, por lo que el uso de este tipo de envases aplicados a frutos en poscosecha puede ser una alternativa en la conservación de los mismos.
4. La aplicación de los envases activos a base de aceite esencial de Orégano y los prototipos semi-comerciales, provocaron un aumento en la respiración de la papaya provocando también transpiración y por lo tanto una mayor pérdida de peso Los envases activos semi-comerciales (F1 y F2) retardaron el proceso de maduración, ya que los frutos evaluados presentaron mayor firmeza y menor contenido en sólidos solubles totales



en comparación con los frutos tratados con el envase a base de CMC adicionado con aceite esencial de Orégano que también retardo la maduración 14% menos que los primeros recubrimientos, pero 10% más que las papayas sin recubrir.

5. Los envases activos liberadores de antifúngicos y antibacteriales pueden ser una alternativa tecnológica para la conservación de papaya que permitan reducir las enfermedades postcosecha como la antracnosis y reducir problemas de inocuidad por la presencia de bacterias patógenas como *Salmonella spp.*

A photograph of five yellow-orange fruits, possibly grapefruit or orange, resting on a red mesh tray. The tray is placed on a wooden surface. The background is slightly blurred, showing some boxes and a blue object. The word "Recomendaciones" is overlaid in a large, bold, orange-outlined font across the middle of the image.

Recomendaciones



Recomendaciones

Después de haber obtenido los resultados anteriores se recomienda lo siguiente:

- Evaluar el efecto de aceite esencial de Orégano con otra matriz que forme una película menos permeable para el intercambio de gases en papaya fresca tal como almidón, quitosano, grenetina, y que pueda conservar en mejores condiciones la calidad comercial de la fruta.
- Evaluar el efecto de otros aceites esenciales (canela, romero, tomillo, eucalipto) sobre el crecimiento de *Salmonella spp.* y *Colletotrichum gloeosporioides in situ* en papaya Maradol fresca.
- Comprobar el efecto del aceite esencial de orégano sobre otros microorganismos que afectan la calidad de la papaya en poscosecha, tales como *Phytophthora* , *Fusarium sp.* *Alternaria*.
- Combinar técnicas de conservación (irradiación, aplicación de recubrimientos comestibles) para mejorar la calidad microbiológica en productos poscosecha.
- Desarrollar otras técnicas para la aplicación de recubrimientos en frutos de papaya de manera que pueda mantener mayor uniformidad en la superficie y presente mejores características.





Bibliografía

- Agrios, G. (1991). Manual de enfermedades de las plantas. Tomo 1-2. MundiPrensa. Massachussets. Estados Unidos.
- Ali, A.; Muhammad, M., Sijam K.; Siddiqui, Y. (2011) Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya L.*) fruit during cold storage. Food Chemistry 124: 620–626.
- Aligiannis, N.; Kalputzakis, B.; Mitaku, S. ; Chinou I. B. (2001) Composition and antimicrobial activity of essential oils of tow organum species. J. Agric. Food Chem. 49:4168-4170.
- Almeida-Castro, A.; Reis-Pimentel, J. D.; Santos-Souza, D.; Vieira de Oliveira, T.; Costa-Oliveira, M. (2011). Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya L.*) asociado a la aplicación de películas comestibles. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (1): 049-060.
- Almodóvar, W. I. (2000). Enfermedades más comunes de la papaya. Tesis de licenciatura no publicada. Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico.
- Alonso, E. M.; Ramos, R. R. y Tornet, Q. Y. (2006). Caracterización y evaluación de los recursos genéticos de papaya (*Carica papaya* Linn). CitriFrut. Cuba 23(2):21-25.
- Álvarez, A. M. y W. T. Nashijima (1987). Postharvest diseases of papaya. Plant Dis. 71: 681-686.
- Anaya, N. (2012). Comercializadora de papaya. Plagas y enfermedades. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: <http://papayasanaya.com/plagas-y-enfermedades/>
- Andrade-Cuvi, M. J.; Moreno-Guerrero, C. Henríquez-Bucheli, A.; Gómez-Gordillo, A.; Concellón, A. (2010). Influencia del tratamiento UV-C sobre carambola (*Averrhoa carambola L.*) mínimamente procesada. Revista Iberoamericana de Tecnología 11: 18-27.
- Andrews, W. H., Flowers E.S., Silliker J., Bailey, S. (2001). Salmonella. In: Copenidium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. Downs F. P. & Ito K. Ed. APHA Washington: 357-380.
- AOAC (2000). “Official Methods of Analysis”. 17ªed. Gaithersburg, USA.



- Arcila, L. C.; Loarca, G.; Lecona, S.; González E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes Arch. Latinoam. Nutr. 54:227-238.
- Arnon, H., Zaitsev, Y.; Porat, R; Poverenov, E. (2013). Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. Postharvest Biology and Technology 87:21–26.
- Arras, G., y Usai, M. (2001). Fungitoxic activity of 12 essential oils against four postharvest citrus pathogens: chemical analysis of *Thymus capitatus* oil and its effect in subatmospheric pressure conditions. Journal of Food Protection 64:1025-1029.
- Asenjo-Vera, J., Morales de los Ríos Martín, L., Urruela Sainz, R., Tapia Hernández, L. (2012). Producción de alcoholes volátiles durante maduración de los frutos. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. Consultado en: Febrero 2014. Disponible en: pendientedemigracion.ucm.es/info/cviciente/.../maduracion_frutos.pdf
- Bautista-Baños, S.; Barrera -Necha, L. L.; Bravo-Luna, L.; Bermúdez-Torres, K. (2003). Antifungal Activity of Leaf and Stem Extracts from various Plant Species on the Incidence of *Colletotrichum gloeosporioides* of Papaya and Mango Fruit after Storage . *Revista Mexicana de Fitopatología* 4:8-12.
- Borboa-Flores, J.; Rueda-Puente, E. O.; Acedo-Félix, E.; Ponce, J. F.; Cruz-Villegas, M.; García-Hernández, J. L.; Ortega-Nieblas, M. M (2010). Evaluación de la actividad antibacteriana *in vitro* de aceites esenciales contra *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis* Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12 (3), 539-547.
- Bosquez-Molina, E. (2003) Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia tanaka*). Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Bosquez-Molina, E., Ronquillo-de Jesús, E., Bautista-Baños, S. Verde-Calvo, J.R., and Morales-López, J. (2010). Evaluation of the inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. Postharvest Biology and Technology 57:132-137.



- Britania Lab (2012). Medios de cultivo. Consultado en: Agosto, 2013. Disponible en: <http://britanialab.com.ar/esp/productos/b02/lactosadocaldo.htm>
- Burton, W.G. (1982). Post-Harvest Physiology of Food Crops. Longman, U.S.A.
- Caccioni, D., Guizzardi, M., Biondi, D., Renda, A., y Ruperto, G. (1998). Relationship between volatile components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on *Penicillium digitatum* and *Penicillium Italicum*. International Journal of Food Microbiology 43:73-79.
- Caffer, M. I.; Terragno, R.; Binztein, N. (2008). Manual de Procedimientos Diagnóstico y caracterización de *Salmonella* spp. Departamento Bacteriología Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas A.N.L.I.S. “Dr. Carlos G. Malbrán” Centro Regional de Referencia del WHO Global Salm Surv para América del Sur
- Calva, E. (2000) *Salmonella typhi* y la fiebre tifoidea: de la biología molecular a la salud pública. Instituto de Biotecnología, UNAM, México.
- Caracol Radio. (2013). Autoridades encuentran alimentos descompuestos que serían entregados en jardines. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: <http://www.caracol.com.co/noticias/bogota/autoridades-encuentran-alimentos-descompuestos-que-serian-entregados-en-jardines/20130828/nota/1959316.aspx>
- Casaca, A. D. (2005). El cultivo de la papaya (*Carica papaya*). Proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola. PROMOSTA. Costa Rica.
- Castaño-Zapata, J y Pérez-Madrid, L. (1997). Diagramas de severidad para cuantificar daños provocados por *Venturia inaequalis* (cke.) wint. en manzano (malus sp.) Fitopatología. Universidad de Caldas A.A. 275 Manizales. Colombia
- Cerpa, M. G. (2006) Hidrodestilación de Aceites Esenciales: Modelado y Caracterización. Tesis de doctorado Universidad de Valladolid. España.
- Cha, D. S. y Channin, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review. Critical Reviews in Fod Sciencie and Nutrition. 44: 223-237.
- Chavarrías, M. (2012). Salmonella y la madurez de la fruta. Grupo Eroski. España. Consultado en: Febrero 2014. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-tecnologia/2012/05/02/209120.php>



- Colombo, E. y O'Donell, B. (2004). Luz, color y visión. Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. edUTecNe. Consultado en: Febrero 2014. Disponible en: www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap02.pdf
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. American Society for Microbiology. 12: 564-565.
- Crisosto, C.H., Garner, D., Doyle, J., Day, K.R. (1993). Relationship between fruit respiration, bruising susceptibility, and temperatures in sweet cherries. Hortscience 28, 132-135.
- Dadalioğlu, I.; Evrendilek, G. A. (2004). Chemical compositions and antibacterial effects of essential oils of turkish oregano (*Oreganum minutiflorium*), bay laurel (*Laurus nobilis*) spanish lavender (*Lavandula stoechal* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare*) on common foodborne pathogens. J. Agric. Food. Chem 52:8255-8260.
- Dani-Val, J. (2010). El antibiograma. Microbiología e Inmunología. Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: <http://www.microinmuno.qb.fcen.uba.ar/SeminarioAntibioticos.htm>
- Dávila-Aviña, J. E.; Villa-Rodríguez, J.; Cruz-Valenzuela, R.; Rodríguez-Armenta, M.; Espino-Díaz, M.; Ayala-Zavala, J. F.; Olivas-Orozco, G.I.; Heredia, B. y González-Aguilar, G. (2011). Effect of Edible Coatings, Storage Time and Maturity Stage on Overall Quality of Tomato Fruits. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 6 (1): 162-171.
- Dávila-Medina, M. D.; Gallegos-Morales, G.; Hernández-Castillo, F. D.; Ochoa-Fuentes, Y. M.; Flores-Olivas, A. (2013). Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4 (8):1187-1196.
- De los Santos, F.; Becerra, E; Mosqueda, R.; Vázquez A.; y A. B. Vargas (2000). Manual de producción de papaya en el estado de Veracruz. INIFAP-CIRGOC.SAGAR. Folleto técnico Num. 17. Veracruz, México.
- De Martino, L, De Feo V, Formisano C, Mignola E, Senatore F. (2009). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from three chemotypes of



- Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart growing wild in Campania (Southern Italy). *Molecules*. 14:2735-46.
- Diario El Comercio (2011). Tres variedades de papaya y sus problemas en la recolección. Santo Domingo. Consultado en; Enero 2014. Disponible en: http://www.elcomercio.com/agromar/variedades-papaya-consumen_0_413358692.html.
 - Díaz-Sobac, R. Vernon-Carter, J. (1999). Inocuidad microbiológica de frutas frescas y mínimamente procesadas. *Ciencia y Tecnología. Alimentaria*. 2 (3): 133-136.
 - Díaz-Sobac, R.; Vázquez, A.; Berinstain, C. I.; De La Cruz, J.; García, h. S. (1996). Emulsion coating to extend post-harvest life of mango (*Mangifera indica* cv. Manila). *Journal of Food Processing and Preservation* 20(3): 191-202.
 - Dickman, M. B., y A. M. Álvarez (1993). Latent infection of papaya caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Disease* 67:748-750.
 - Dodd, J. C., A. Estrada y M. J. Jeger. (1991). Epidemiology of *Colletotrichum gloeosporioides* in the tropics. CAB International. Wallingford, UK. pp 308-325.
 - Dorman, H., y Deans, S. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology* 88:308-316.
 - Doyle, M. P.; Beuchat, L. R. y Montville T. J. (1997). Microbiología de los alimentos. Fundamentos y Fronteras. Acribia. Zaragoza, España.
 - Draughon, F. A. (2004). Use of botanical as biopreservatives in food. *Food Technology*. 58 (2): 20-28.
 - Duarte, O. (2011). Plagas que afectan el cultivo de la papaya. Sección Fruticultura, Escuela Agrícola Panamericana. EcuRed. Consultado en: agosto 2013. Disponible en: http://www.ecured.cu/index.php/Plagas_del_cultivo_de_la_Papaya
 - Durán, A, Ramírez, L y D. Mora (1993). Requerimientos de humedad relativa y tiempos de incubación para la infección de conidios de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de papaya. *Agronomía Mesoamericana*. México.
 - EcoPort (2010). Carica Papaya. Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: <http://ecoport.org/>
 - Empacadora Monterrico (2013). Papayas y frutas. Consultado en: Octubre 2013. Disponible en: <http://www.monterrico.com.mx/>



- Evans, A. y Ballen, F. (2012). Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial. University of Florida: USA.
- Fan, X. (1992). Maturity and storage of “Fuji” apples. Tese Mestrado. Washington State University, Washington, USA. 201 p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations- (2008). Manejo poscosecha de frutos tropicales. Consultado en: agosto 2013. Disponible en: http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s01.htm
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of United Nations, Statics) (2014). Consultado en: Mayo, 2014. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>.
- Fariñas, M. E. y Mejías, Y. (1990). El cogollo arrepollado que afecta el cultivo del papayo. Transmisión, distribución y microscopía en cortes histológicos. Simposio XX Aniversario de la ENSA. La Habana, Cuba.
- FDA –Food and Drugs Administration- (2011). La irradiación de los alimentos. Boletín informativo. Consultado en: agosto de 2013. Disponible en: <http://www.fda.gov/downloads/Food/ResourcesForYou/Consumers/UCM262298.pdf>
- Figueroa, O. y Verdugo, R. A. (2005). Mecanismos moleculares de patogenicidad de *Salmonella* sp. Revista Latinoamericana de Microbiología 47: 25-42.
- Food Info. (2013) *Salmonella* Spp. Wageningen University Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: <http://www.food-info.net/es/bact/salm.htm>
- Galet-Domingo, A. (2009). Envases activos que permiten alargar la vida útil de los alimentos. Instituto tecnológico del embalaje, logística y transporte. Valencia, España. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: http://www.ivia.es/nuevaweb/jornadas/Jornada_Envases_Embalajes/Presentaciones_web/01_Ana%20Galet_ITENE.pdf
- García, M. A. (2010). Guía técnica del cultivo de la papaya. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”. (CENTA). EL Salvador.



- García, M., Martino, M., and Zaritzky, N. (2000). Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *Journal of Food Science* 65:941–947.
- Gimmer-Morató, N. (2009). Contra la resistencia de Salmonella. *Consuma seguridad*. México. Consultado en Febrero, 2014. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/06/22/186086.php>
- González-Villa, G. (2004). Extracción de aceites esenciales con vapor de agua: banco de ensayos y propuesta de plan de negocio. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Gutiérrez, A. J. (2004). Manejo integrado de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz y Sacc. Del Mango (*Mangifera indica* L.) durante la postcosecha. *Fitopatología*. 22:395-402.
- Gutiérrez-Alonso, O. (2007). Control de la antracnosis en frutos de papaya *Carica papaya* L. durante la postcosecha. Reporte Anual de Investigación e Innovación Tecnológica INIFAP. Campo Experimental Mochá, Yucatán México.
- Gutiérrez-Sánchez, L. y Juárez-Paz, L. (2011). Efecto del tratamiento de irradiación Gamma e hidrotérmico en el control de antracnosis en papaya (*Carica Papaya*) variedad Maradol para exportación. Tesis para Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guzmán-Ramírez, E. y Hernández-Carrasco, R. (2001). Sistema de monitoreo para la conservación de frutos. Universidad Tecnológica de la Mixteca, *Ciencia y tecnología*, 5 (13): 3-10. Oaxaca, México.
- Hammer, K., Carson, C., y Riley, T. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology* 86:985-990.
- Henao (2010). Extracción y caracterización de AEO y evaluación de la actividad microbiana. Perú.
- Hernández-Livera, R. A. (2013). Moscas nativas de la fruta. SENASICA (Servicio Nacional de Seguridad, Inocuidad y Calidad Alimentaria). Consultado en: Enero 2013. Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4516> .



- Hunziker, M. (2012). Papaya pests and diseases. InfonetBioVIsion. Suiza. Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: <http://www.infonet-biovision.org/>.
- Inouye, S., T. Tsuruoka, M. Watanabe, K. Takeo, M. Akao, Y. Nishiyama, H. Yamaguchi, (2000). Inhibitory effect of essential oils on apical growth of *Aspergillus fumigatus* by vapour contact. *Mycoses* 43:17-23
- Jay, J.M.; Loessner M. J. y Golden, D. A. (2005). Microbiología moderna de los alimentos. Quinta edición. Acribia. Zaragoza, España.
- Jurado-Jiménez, R.; Arenas-Muñoz, C.; Doblas-Delgado, A.; Rivero, A. y Torre-Cisneros, J. (2011). Fiebre tifoidea y otras infecciones por salmonellas. Unidad de gestión Clínica de Enfermedades Infecciones. Hospital Universitario Reina Sofía. Córdoba, España.
- Kader A. (2006) Hierarchical involvement of various GGDEF domain proteins in rdar morphotype development of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*. Microbiology and Tumor Biology Center (MTC): Estocolmo, Suecia.
- Kader, A. (2012). Modified atmosphere during transport and storage, pp. 135–144. *In*: Kader, A.A. (ed.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Davis, California, USA.
- Kays, S.J. (1991). Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. AVI, U.S.A.
- Kenneth, L. (1987). La maduración de la manzana. *Revista Frutícola*. 8, 3-6. Colombia.
- Kester, J., y Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: A review. *Food Technology*, 40:47–59.
- Koelsch, C. (1994). Edible water vapour barriers properties and promise. *Trends in Food Science and Technology*, 51:76–81.
- Lambert, R. J. W.; Skandamis, P. J.; Coote, G. J. E. Nyehas (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *J. Appl. Microbiol*, 91:453-462.
- Linares, J. L. (2002). Prácticas de química de los aceites esenciales Universidad de Granada, España.



- Llanos-Navarro, T. M. (2007) Efecto de la composición de recubrimiento comestible a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España.
- Lo Cantore, P., Iacobellis, N., De Marco, A., Capasso, F., and Senatore, F. 2004. Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller Var. *vulgare* (Miller) essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:7862-7866.
- Lobo, M. G. (1995). Caracterización bioquímica de frutos de papaya (*Carica papaya*, cv. *Sunrise*), hembra y hermafrodita, en relación con su aptitud al procesado por congelación. Tesis doctoral no publicada. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Madrid, España.
- López, A. F. (2000) Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. FAO: Roma, Italia.
- López-Cervantes, J.; Sánchez-Machado, D. J. y Buen-Solano, C. (2010). Envases activos e inteligentes con bioproductos de los residuos de camarón. *Ide@s CONCYTEG* 5(60). Méxco. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/60062010_ENVASES_ACTIVOS_INTELIGENTES_BIOPROD_RESID_CAMARON.pdf
- Malbran, C.G. (2001). Manual de procedimientos para la determinación de la sensibilidad a los antimicrobianos en bacterias aisladas de humanos. Subsecretaría de Investigación y Tecnología Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas. Departamento Bacteriología Servicio Antimicrobianos. Buenos Aires, Argentina.
- Marsh, K. y Burgusu, B. (2007). Food packing-roles, materials and environmental issues. *Journal of Food Science*. 72(3): 39-55.
- Martínez Téllez, G. (2007). Programa de calidad e inocuidad de los alimentos de la FAO. Seminario taller de aseguramiento de la calidad de frutas y vegetales frescos. Departamento de protección de alimentos MINSA-DEPA Panamá.
- Martínez, J., Sulbarán de Ferrer, B., Ojeda de Rodríguez, G., Ferrer, A. & Nava R. (2003). Actividad Antibacteriana del Aceite Esencial de Mandarina. *Revista de Facultad de Ciencias Agrónomas*; 20: 502-512.



- Menesatti, P. y Paglia, G. (2001). PH—Postharvest Technology: Development of a Drop Damage Index of Fruit Resistance to Damage. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Volume 80, (1): 53–64.
- Mishra, A., y Dubey, N. (1994). Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Applied and Environmental Microbiology* 60:1101-1105.
- Molina, J. (2012). Agrouniversidad, Control de Plagas. México. Consultado en Enero 2014. http://agrouniversidad.blogspot.mx/2012_07_01_archive.html
- Moreno, L. (2004). Teoría del Color, propiedades del color. Govology. Consultado en: Febrero 2014. Disponible en: <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1503.php>
- Mund, L.; Shivas, R.; Malipatil, M. (2012). PaDIL—High quality images and Information tools designed for Biosecurity and Biodiversity. Australia. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: <http://www.padil.gov.au/>
- Mytle, N., Anderson, G., Doyle, M., y Smith, M. (2006). Antimicrobial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) oil in inhibiting *Listeria monocytogenes* on chicken frankfurters. *Food Control* 17:102-107.
- Nar, L. F. (2003). Diagnóstico de papaya maradol. Promotora de servicios comerciales de Campeche. Gobierno del Estado de Campeche, México.
- NMX-FF-041-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Papaya (*Carica papaya L.*). Especificaciones. Consultado en: Septiembre 2013. *Disponible en:* 200.77.231.100/work/normas/nmx/2007/nmx-ff-041-scfi-2007.pdf
- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html
- NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de salmonella en alimentos. Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/114ssa14.html



- Norma del CODEX para la papaya (CODEX STAN 183-1993) Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: www.codexalimentarius.org/input/download/standards/.../CXS_183s.pdf
- O'Bryan, C., Crandall, P., Chalova, V., y Ricke, S. (2008). Orange essential oils antimicrobial activities against *Salmonella* spp. *Journal of Food Science* 73:264-267.
- Ogawa, J.M. y Manji, B.T. (1984). *Postharvest Pathology of Fruits and Vegetables*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, UC Bulletin 1914.
- OIRSA – Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria – (2002). *Manual técnico de buenas prácticas agrícolas en papaya*. Consultado en: agosto 2013. Disponible en: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/BUENASPRACTICAS/PAPAYA/CASPAPAYA.pdf>
- Olivares-Alonso, E. (2012, Mayo 4). La salmonela afecta a 15 mil mexicanos. *La Jornada*, México. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2012/05/04/ciencias/a02n2cie> Consultado en: Mayo 2014.
- Orr, K. J. Dennings, H. y C. D. Miller. (1953). The sugar and ascorbic acid content of papayas in relation to fruit quality. *Food Res.*, 18:532.
- Oussala, M.; Caillet, S.; Lacoix, M. (2006). Mechanism of action of Spanish oregano, Chinese cinnamon and savory essential oils against cell membranes and walls of *Escherichia coli* 0157-H7 and *Listeria monocytogenes*. *J. Food protect*, 69:1046-1055.
- Özcan, M., & Boyraz, N. (2000). Antifungal properties of some herb decoctions. *European Food Research and Technology*, 212: 86-88.
- Páez-Redondo, A. R.; Escobar, L.; Amaris, Y. (2005). Estudio de microorganismos endofitos asociados con cultivares de mango con reacción diferencial a *Colletotrichum* sp. en los departamentos del Cesar y Magdalena. Tesis de licenciatura. Universidad Popular Del Cesar – Colombia.
- Paine, F. y Paine, H. (1994). *Manual de envasado de alimentos*. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid, España: A.



- Paredes-Aguilar, M. C.; M. G. Cástelum; R. Silva; G. Narvaez (2007). Efecto antimicrobiano del orégano mexicano (*Lippia berlandieri Schauer*) y de su aceite esencial sobre cinco especies del género *Vibrio*. *Fitotecnia Mexicana*. 30 (3): 261 – 267
- Parzanese, M. (2009). Películas y recubrimientos comestibles. Alimentos argentinos, tecnología de alimentos. Ficha número 7. Buenos Aires, Argentina. Consultado en: Septiembre 2013. Disponible en: www.alimentosargentinos.gov.ar/.../Ficha_07_PeliculaComestible.pdf
- Peretto, G.; Du W.; Avena-Bustillos, R.; Sarreal, S.; Hua, S.; Sambo, P.; McHug, T. (2013a) Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. *Postharvest Biology and Technology*. 89:11-18.
- Peretto, G.; Du, W.; Avena-Bustillosb, R.; Sarreal S.; Sui Sheng T. Hua; Sambo, J.; McHugh, T. H. (2013b). Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. *Postharvest Biology and Technology*, 89: 11–18.
- Phan, N. L.; Pérez, E.; Alvarado, C.; Marín, M. (1979). Physicalchemical and physiological characteristics of guava fruits of Criolla Roja and San Miguel types from two commercial plantations. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 16: 382-397.
- Portillo-Ruiz, M. C.; Viramontes-Ramos, S.; Gastélum-Franco, M. G.; Muñoz-Castellanos, L. N.; Torres-Vinicio, J.; Narváez-Moorillón, V. G.; (2008). Efecto antifúngico de aceite esencial de orégano mexicano (*Lippia berlandieri shauer*) sobre hongos contaminantes en productos de panadería. Facultad de C. Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., y Martín-Belloso, O. (2008). Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh cut melon. *International Journal of Food Microbiology*, 121:313-327.
- Rodríguez-Álvarez, M.; Alcaráz-Melendez, A. y Real-Cosío, S. M. (2012). Procedimientos para la extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas. Tesis de Licenciatura. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. Instituto Politécnico Nacional. México.



- Rojas-Grati, M, Raybaudi-Massilia, R., Soliva-Fortuny, R., Avena-Bustillos, R., McHugh, T., y Martin- Belloso, O. (2007) Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45:254-264.
- Ronquillo, E. (2007). Evaluación del potencial antimicrobiano de películas comestibles con aceites esenciales *in vitro* e *in situ*. Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, , México.
- Ruiz, C., Tunarosa, F., Martínez, J. & Stashenko, E. (2007). Estudio Comparativo por GC-MS de Metabolitos Secundarios Volátiles de dos Quimiotipos de H.B.K., Obtenidos por Diferentes Técnicas de Extracción. *Cientia et Technica*. 33: 325-328.
- SAGARPA – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- (2013). Estudio de oportunidades de mercado e inteligencia comercial internacional de la papaya mexicana e identificación de necesidades de infraestructura logística. Consultado en Agosto, 2013. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/PAPAYA_2009.pdf
- Sánchez-Soto, A. (2013). Caracterización de películas biodegradables y su aplicación como envase activo en zarzamora (*Rubus fruticosus*) para el control de podredumbre gris. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Santamaría-Basulto, F.; Díaz-Plaza, R.; Sauri-Duch, E.; Espadas y Gil, F.; Santamaría-Fernández, J. M. y Larqué-Saavedra, A. (2009). Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México*, 35(3):347-353.
- Santoyo, S.; Cavero, S.; Jaime, L.; Ibañez, E.; Señorans, F. J.; Regiero, G. (2006). Supercritical carbon dioxide extraction of compounds with antimicrobial activity from *Oreganum vulgare L.*; Determination of optimal extraction parameter. *J. Food Protect*, 69:369-375.
- Satin, M. (2000). La irradiación de los alimentos. Acribia. España.



- Scallan, E. Hoekstra, E.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widdowson, M.A., Roy, S.L., Jones, J.L. y Griffin, P.M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging Infectious Diseases* 17: 7-15.
- Sebti, I., Chollet, E., Defraeve, P., Noel, C. y Peyrol, E. (2007). Water sensitivity, antimicrobial and physicochemical analyses of edible films based on HPMX and/or chitosan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 693-699.
- SEDER – Secretaría de desarrollo rural- (2010). Papaya, perfil comercial. Consultado en: Agosto 2013. Disponible en: <http://seder.col.gob.mx/seder2012/comercializacion/perfiles/Papaya.pdf>
- Selva, E. (2011). Tono, saturación y luminosidad. Naturapixel. Barcelona, España. Consultado en Febrero 2014. Disponible en: <http://naturapixel.com/2011/08/17/tono-saturacion-y-luminosidad/>
- SIAP – Servicio de información agroalimentaria y pesquera – (2013). Cierre de producción agrícola por cultivo. Consultado en: agosto, 2013. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=289
- Siller-Cepeda, J.; Báez-Sañudo, M. A.; Sañudo-Barajas, A.; Báez-Sañudo, R. (2002). Manual de Buenas Prácticas Agrícolas. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación). México.
- Skandamis, P. N. y Nychas, G. J. (2002). Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology*. 79:35-45.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., y Fyfe, L. (2001). The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food Microbiology* 18:463-470.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., y Fyfe, L. (2008). Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne. *Letters in Applied Microbiology* 26:118-122.
- Snowdon, L. A. (1990). A color Atlas of postharvest diseases and disorders of fruit and vegetables. General Introductions and fruits. Wolfe Scientific. London.



- Tanada-Palmu, P.; Grosso, C. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coating on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology* 36:199-208.
- Trade winds fruit (2010). Carica Papaya (Mexican papaya). Consultado en Enero, 2014. Disponible en: <http://www.tradewindsfruit.com/carica-papaya-mexican-papaya-seeds>.
- Trombetta, R. U. (2005). Evaluación de aceites esenciales de orégano en la dieta de pollos de engorde. Tesis doctoral . Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Trujillo, E, E. y F. P. Obrero. (1981). Antracnose of papaya leaves caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Dis. Rep.* 53:323-325.
- Urano-Carvalho, A. F.; Maciel-Melo, V. A.; Craveiro, A. A.; Lacerda-Machado, M. I.; Braga-Bantim, M.; Fontenele-Rabelo, E. (2003). Larvicidal activity of the essential oil from *Lippia sidoides* cham. against *Aedes aegypti* linn. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98(4): 569-571.
- Vági, E., Simándi, B., Suhajda, Á, & Héthelyi, É (2005). Essential oil composition and antimicrobial activity of *Origanum majorana* L. extracts obtained with ethyl alcohol and supercritical carbon dioxide. *Food Research International*, 38(1): 51e57.
- Valera, J. y Cruz-Trujillo, A. (2013). La papaya: propiedades y beneficios para la salud. *News Caribbean digital*. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: <http://www.caribbeannewsdigital.com/noticia/la-papaya-propiedades-nutritivas-y-beneficios-para-la-salud>.
- Vargas, M. (2009). Paratifoidea y otras salmonelosis. *Vigilancia epidemiológica* 40: 1-3.
- Vila, J, Álvarez-Martínez MJ, Buesa J, Castillo J. (2009). Diagnóstico microbiológico de las infecciones gastrointestinales. *Enfermedades Infecciosas Microbiológicas Clínicas* 27: 406-411.
- VISAVET (Centro de Vigilancia Sanitaria Veterinaria) (2007). Nuevas tendencias en el envasado de los alimentos. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/alimentacion/2007/09/11/73761>



- Watson, L. y Dallwitz, M.J. (1992). The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Consultado en: Enero 2014. Disponible en: <http://delta-intkey.com>.
- Wenxuan, C.; Jin T. Z.; Gurtler, J. B.; Geveke, D.; Fan, X. (2012). Inactivation of *Salmonella* on whole cantaloupe by application of an antimicrobial coating containing chitosan and allyl isothiocyanate. *International Journal of Food Microbiology*, 155:165–170.
- Widyastuti, C. A.; Iskandar, Z.; Wardani, R. S.; Toekan, A. (2010). Papaya Red Lady. Horti Chan Centre. Indonesia. Consultado en Febrero, 2014. Disponible en: <http://www.hortichain.org/site/>.
- Wills, R. B. H.; McGlasson, W. B.; Graham, D. (2007). Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. University of New South Wales Press. Gales.
- Wilson, L. (1997). Rapid evaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Plant disease* 81:204-210.
- WordPress (2012). Destilación por arrastre de vapor. Esperanza96. Consultado en: enero, 2014. Disponible en: <http://esperanza96.wordpress.com/2012/04/29/destilacion/>
- Yang, V., y Clausen, A. (2007). Antifungal effect of essentials on souther yellow pine. *International Biodeterioration and Biodegradation* 59:302-306.
- Yano, Y.; Satomi, M.; Oikawa, H. (2006). Antimicrobial effect of spices and herb on *Vibrio parahaemolyticus*. *Internatl. J. Food Microbiol.* 111:6-11.
- Yuste, J., y Fung D. Y. C. (2002). Inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A 49594 in apple juice supplemented with cinnamon. *Journal of Food Protection* 65: 1663-1666.
- Zaidi, M.; López-Macías, C.; Calva, E. (2006) Estudios mexicanos sobre *Salmonella*: epidemiología, vacunas y biología molecular. *Revista Latinoamericana de microbiología*. México, 48(2): 121 – 125.
- Zekaria, D. (2007). Los aceites esenciales, una alternativa para los microbianos. Laboratorios Carrier. AECA - Asociación Española de Ciencia Avícola | WPSA - World's Poultry Science Association. Barcelona, España.