



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS  
COMESTIBLES EN PEPINO (*Cucumis sativus L.*)  
PARA EL CONTROL DE ANTRACNOSIS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

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

**DANNIRA DACIA SOSA CANTERO**

**ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ**

**CO-ASESORA: M. en C. ALMA ADELA LIRA  
VARGAS**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 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.



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

Aplicación de recubrimientos comestibles en pepino (*Cucumis Sativus L.*) para el control de antracnosis

Que presenta la pasante: Dannira Dacia Sosa Cantero  
Con número de cuenta: 409016190 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

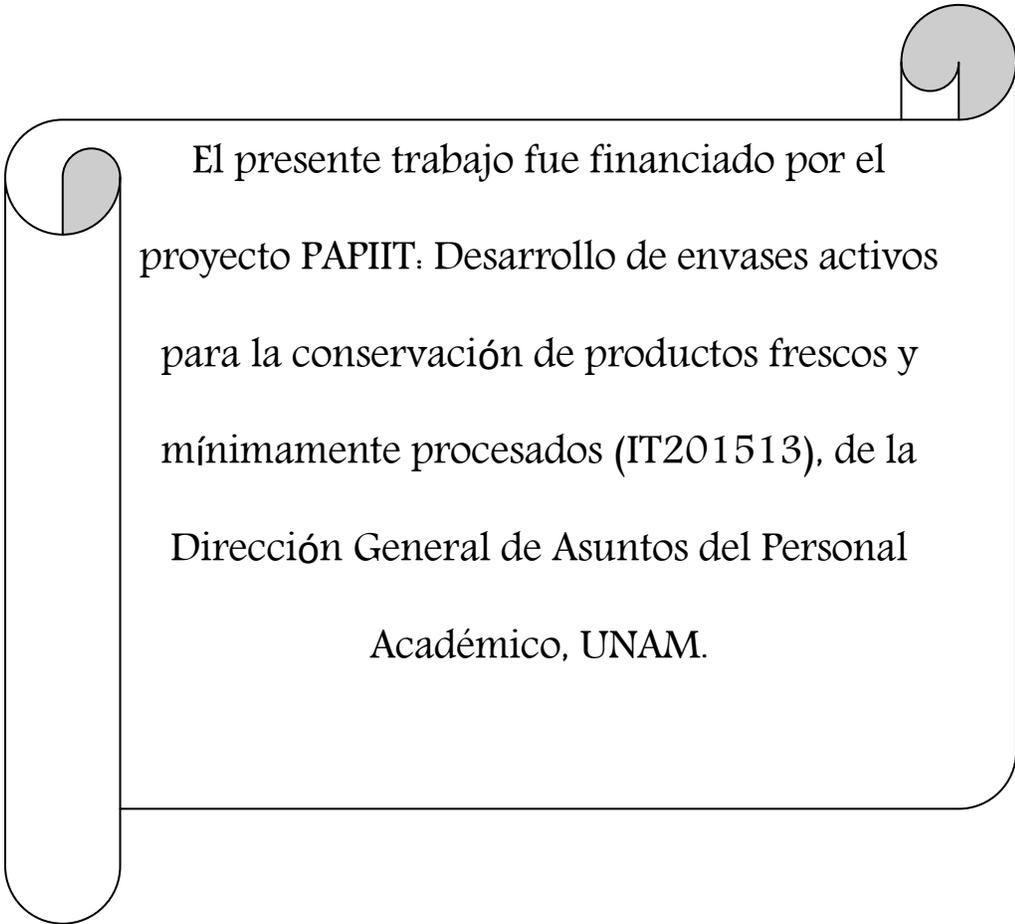
Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Junio de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José Francisco Montiel Sosa	
VOCAL	IBQ. Saturnino Maya Ramírez	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
2do. SUPLENTE	M. en C. Selene Pascual Bustamante	

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



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.

## Dedicatorias

- A mi madre *Amalia Cantero Solimán* por su dedicación, comprensión, lucha y entrega, que han permitido que este sueño y etapa de mi vida se realicen.
- A la memoria de mi padre *Carlos Sosa Ventura* por haber sido mi apoyo y guía, y por encausarme en el camino del saber.
- A mi querida *ñía Soco* quien me ha visto crecer desde hace 23 años, gracias por todos tus consejos.
- A *toda mi familia* mis abuelitos, mi hermana, tíos, primos, amigos, profesores y al nuevo integrante de la familia, por la comprensión y apoyo que me han brindado en todos los momentos de mi vida.

## **Agradecimientos.**

A Dios por sus bendiciones y por darme la oportunidad de tener un logro más en la vida.

A mis padres porque no escatimaron esfuerzos, por brindarme día a día amor, cariño, comprensión y apoyo, porque este logro también es suyo.

A mi Tía Soco por ser una segunda madre, por todas tus enseñanzas, por tu dulzura para enfrentar la vida, por tu apoyo incondicional.

A mí querido abuelito Alberto, porque siempre estuviste al pendiente de mí, por compartirme tu sabiduría y ejemplo de tenacidad.

A mis abuelitos Guadalupe y Virgilio por su cariño y por tener la dicha de convivir con ustedes.

A mi hermana por los buenos momentos.

A mis amigos quienes siempre estuvieron a mi lado para compartir mis sueños.

A mis queridas amigas de la vida: Cande, Leti, Juli, Evita, Itzel por todo el cariño y apoyo brindado a lo largo de todos estos años. A mis colegas de la secu Dulce, Marisela, Rocio, Beco y Lalo.

A mis amigas y amigos universitarios: Aide, Anita, Ana Laura, Araceli, Bere, Karla Cinthya, Karen, Karina, Laura, Lesli, Rosario, Absalon, Ademir, Aldo Ebany, Carlos, Chino, Erick, José Manuel, José Morante, Juan, Marcelo Mena, Marco Antonio, Ruben, Yadir. Éxito en todo colegas.

Agradezco especialmente a Ara, Karina y Laura por todo el tiempo que convivimos, por dejarme conocer su vida, por sus abrazos desinteresados que me hicieron sentir como en casa. A Marco Antonio por tu apoyo y buenos consejos, y a Aldo Ebany por ser mis grandes amigos. A ustedes l@s quiero mucho, les deseo mucho éxito en su vida personal y profesional.

A mis compañeros de la Generación 33

A los Integrantes del Taller de frutos, por todos los momentos de trabajo que compartimos.

Al proyecto PAPIIT: Desarrollo de envases activos para la conservación de productos frescos y mínimamente procesados (IT201513), de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

A la Dra. Andrea Trejo Márquez por compartir su invaluable conocimiento, por darme la oportunidad de tenerla como mi asesora, por propiciar la libertad, la confianza y la responsabilidad en el proceso de aprendizaje. Gracias por su apoyo, dedicación y asesoría en el presente proyecto.

A la M. en C. Alma Adela Lira Vargas por guiarme y compartir sus conocimientos, por su confianza, apoyo, paciencia y amistad a lo largo de la elaboración de este proyecto.

A la M. en C. Selene Pascual por su apoyo incondicional y consideración durante la elaboración y experimentación de este trabajo.

*Para mis profesoras del Taller de Frutos, mi admiración, gratitud y cariño.*

A mis sinodales Dr. José Francisco Montiel Sosa, IBQ. Saturnino Maya Ramírez, Dra. Andrea Trejo Márquez, Dra. Carolina Moreno Ramos y a M. en C, Selene Pascual Bustamante, por sus observaciones, consejos y correcciones pertinentes para la elaboración, complementación y mejora de este trabajo de investigación.

Gracias a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por la formación académica y por permitirme ser parte de esta institución.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán** por brindarme la oportunidad y el orgullo de estudiar y ser egresada de la máxima casa de estudios...UNAM.

“Por mi raza hablara el espíritu”  
José Vasconcelos.

“Esto Fue para mí –escribió- entre todas las  
maravillas que he descubierto en la naturaleza  
la más maravillosa de todas”  
Anthony Van Leeuwenhoek.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
RESUMEN .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES .....	8
2.1. Generalidades del pepino.....	8
2.1.1. Origen, morfología y taxonomía .....	8
2.1.2. Aspectos socioeconómicos .....	10
2.1.3. Variedades .....	12
2.1.4. Composición química y nutricional .....	13
2.1.5. Pérdidas postcosecha .....	14
2.1.6. Métodos de conservación postcosecha aplicados a pepino .....	19
2.2. Generalidades de recubrimientos comestibles .....	20
2.2.1. Definición y origen .....	20
2.2.2. Materiales de elaboración de los recubrimientos .....	22
2.2.3. Aditivos.....	24
2.2.4. Agentes antimicrobianos .....	25
2.2.5. Plastificantes.....	25
2.2.6. Emulsificantes .....	26
2.3. Generalidades de aceites esenciales.....	26
2.3.1. Aceite esencial de orégano .....	26
2.4. Aplicación de recubrimientos.....	27
3. OBJETIVOS .....	31
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
4.1. Cuadro metodológico.....	33
4.2. Materiales biológicos.....	35
4.3. Obtención de aceite esencial de orégano .....	35
4.4. Elaboración y caracterización de recubrimientos a base de cera de candelilla. ....	35



4.5. Evaluación de las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano .....	37
4.6. Aplicación de recubrimientos en pepino .....	38
4.7. Métodos analíticos .....	40
4.7.1. Parámetros de calidad en pepino .....	40
4.7.2. Parámetros fisiológicos.....	41
4.7.3. Control de antracnosis .....	42
4.8. Tratamiento de resultados.....	42
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
5.1. Caracterización de recubrimientos a base de cera y polisacáridos. ....	44
5.1.1. Propiedades físicas .....	44
5.2. Evaluación de las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano .....	53
5.2.1. Pruebas <i>in vitro</i> de las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano..	53
5.3. Evaluación de recubrimientos comestibles a base de cera de candelilla adicionados con aceite esencial de orégano para el control de antracnosis en pepino. ....	56
5.3.1. Efecto de los parámetros de calidad.....	56
5.3.2. Efecto de los parámetros fisiológicos .....	67
5.3.3. Control de antracnosis .....	69
5.4. Evaluación de recubrimientos semicomerciales en el control de antracnosis en pepino. ....	74
5.4.1. Efecto de los parámetros de calidad.....	74
5.4.2. Efecto de los parámetros fisiológicos .....	83
5.4.3. Control de antracnosis. ....	85
6. CONCLUSIONES.....	91
7. RECOMENDACIONES.....	93
8. REFERENCIAS .....	95



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica.	9
<b>Tabla 2.</b> Morfología del pepino.	9
<b>Tabla 3.</b> Variedades de pepino.	12
<b>Tabla 4.</b> Composición química y nutricional del pepino.	13
<b>Tabla 5.</b> Pérdidas postcosecha en pepino.	15
<b>Tabla 6.</b> Principales enfermedades que atacan al pepino.	16
<b>Tabla 7.</b> Métodos de conservación postcosecha aplicados a pepino.	19
<b>Tabla 8.</b> Ventajas y desventajas de recubrimientos comestibles.	22
<b>Tabla 9.</b> Propiedades deseables de recubrimientos comestibles.	27
<b>Tabla 10.</b> Aplicación de diversos recubrimientos comestibles aplicados a frutas y hortalizas.	28
<b>Tabla 11.</b> Formulaciones de recubrimientos a base de cera de candelilla.	36
<b>Tabla 12.</b> Escalas hedónicas para la evaluación del recubrimiento a base de cera.	37
<b>Tabla 13.</b> Apariencia visual de pruebas <i>in vitro</i> con <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> y aceite esencial de orégano a diferentes concentraciones.	55
<b>Tabla 14.</b> Cambios de la apariencia visual en pepinos recubiertos a base de cera de candelilla e inoculados con <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	73
<b>Tabla 15.</b> Cambios de la apariencia visual de pepinos con recubrimientos semicomerciales e inoculados con <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	89



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Pepino ( <i>Cucumis sativus L.</i> )	8
<b>Figura 2.</b> Principales productores de pepinos y pepinillos en toneladas en 2012.	10
<b>Figura 3.</b> Producción anual de pepino (riego más temporada) en México.	11
<b>Figura 4.</b> Infección severa de antracnosis de pepino.	18
<b>Figura 5.</b> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , A) colonias del hongo en PDA, B) vista al microscopio de conidios de <i>C. gloeosporioides</i> .	19
<b>Figura 6.</b> Apariencia de pepinos después de la aplicación de una cera líquida.	21
<b>Figura 7.</b> Estructura de carboximetilcelulosa en una solución al 3%.	24
<b>Figura 8.</b> Siembra de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> en pruebas <i>in vitro</i> .	37
<b>Figura 9.</b> Diagrama de proceso para la aplicación de recubrimientos en pepino.	38
<b>Figura 10.</b> Procedimiento de preparación del inóculo: a) materiales, b) aplicación de tween c) separación de esporas d) filtrado del inóculo e) obtención del inóculo f) cámara de Neubauer.	39
<b>Figura 11.</b> Penetrómetro manual.	40
<b>Figura 12.</b> Refractómetro de mano.	41
<b>Figura 13.</b> Balanza digital.	41
<b>Figura 14.</b> Colorímetro CM-600d.	41
<b>Figura 15.</b> Analizador de gases.	42
<b>Figura 16.</b> Evaluación de adhesividad en recubrimientos a base de cera de candelilla.	44



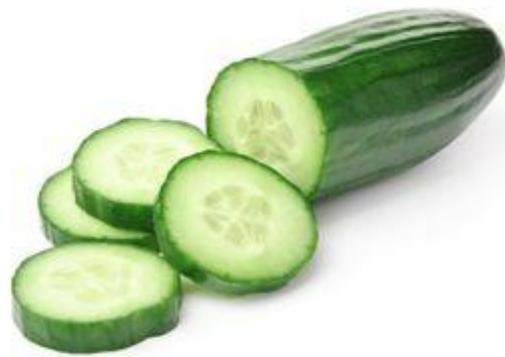
<b>Figura 17.</b> Evaluación de estabilidad en recubrimientos a base de cera de candelilla.	45
<b>Figura 18.</b> Evaluación de homogeneidad en recubrimientos a base de cera de candelilla.	46
<b>Figura 19.</b> Evaluación de brillo en recubrimientos a base de cera de candelilla.	47
<b>Figura 20.</b> Evaluación de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla en pepinos. A) formulación con 5% de cera, B) formulación con 7.5% de cera, C) formulación con 10% de cera.	48
<b>Figura 21.</b> Luminosidad (L) de recubrimientos a base de cera de candelilla.	49
<b>Figura 22.</b> Croma en recubrimientos a base de cera de candelilla.	50
<b>Figura 23.</b> Tono en recubrimientos a base de cera de candelilla.	52
<b>Figura 24.</b> Porcentaje de inhibición del aceite esencial de orégano en pruebas <i>in vitro</i> a tres distintas concentraciones (500, 750 y 1000 ppm).	53
<b>Figura 25.</b> Efecto de diferentes recubrimientos en la firmeza de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento sin adicción de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA).	57
<b>Figura 26.</b> Efecto de diferentes recubrimientos en los sólidos solubles de pepino. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA).	59
<b>Figura 27.</b> Efecto de diferentes recubrimientos en la pérdida de peso de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA).	61
<b>Figura 28.</b> Efecto de diferentes recubrimientos en la luminosidad de pepino. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA).	63



- Figura 29.** Efecto de diferentes recubrimientos en la cromaticidad de pepino.  
Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA),  
recubrimiento con adición de aceite (RCA). 65
- Figura 30.** Efecto de diferentes recubrimientos en la tonalidad de pepinos. Donde:  
control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento  
con adición de aceite (RCA). 66
- Figura 31.** Efecto de diferentes recubrimientos en la respiración de pepinos.  
Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA),  
recubrimiento con adición de aceite (RCA). 68
- Figura 32.** Cambios en el índice de decaimiento de pepinos inoculados con  
*Colletotrichum gloeosporioides* tratados con un recubrimiento a base  
de cera de candelilla. Donde: control infectado (CI), recubrimiento sin  
adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). 69
- Figura 33.** Severidad de antracnosis en pepinos tratados con un recubrimiento a  
base de cera de candelilla. Donde: control infectado (CI),  
recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición  
de aceite (RCA). 71
- Figura 34.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la  
firmeza de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial  
1 (FI), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 74
- Figura 35.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en los sólidos  
solubles de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1  
(FI), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 76
- Figura 36.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la  
pérdida de peso de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento  
semicomercial 1 (FI), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 78



- Figura 37.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la luminosidad de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 80
- Figura 38.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en el cromatismo de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 81
- Figura 39.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en el tono de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 82
- Figura 40.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la respiración de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 84
- Figura 41.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en el índice de decaimiento de pepinos. Donde: control infectado (Control), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 86
- Figura 42.** Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la severidad de pepinos. Donde: control infectado (Control), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). 87



# Resumen

---



---

**RESUMEN**

Entre las principales pérdidas postcosecha del pepino, se encuentra el ataque fúngico de algunos patógenos y la pérdida de turgencia causada por la pérdida de agua. Por lo que en el presente estudio se determinó el efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de un lípido y un polisacárido, adicionado con aceite esencial de orégano y de dos recubrimientos semicomerciales sobre la calidad y el control de antracnosis en pepino fresco.

Los pepinos (*Cucumis sativus* L.) utilizados fueron adquiridos en la central de abastos de la Ciudad de México; la planta de orégano (*Lippia graveolens*), utilizada como agente antifúngico fue adquirida en las bodegas de Atizapán de Zaragoza, Edo. de México. La formulación del recubrimiento a base de cera de candelilla se seleccionó a partir de sus propiedades físicas: color (luminosidad, croma y tono) y de mediciones subjetivas de adhesividad, estabilidad, homogeneidad y brillo. Posteriormente se realizaron pruebas *in vitro* para establecer las concentraciones de aceite esencial de orégano (500, 750 y 1000 ppm) que inhibieran el crecimiento micelial del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* para su adición en el recubrimiento (10% de cera de candelilla-1.5% de carboximetilcelulosa, 1% de glicerol y tween 80) que se aplicó a los pepinos.

Los pepinos fueron seleccionados por tamaño, forma y color uniforme, lavados, desinfectados, inoculados, incubados (24 horas a 25°C), recubiertos y almacenados (13°C, HR>90%) por 20 días, para evaluar el efecto antifúngico contra *Colletotrichum gloeosporioides* (índice de decaimiento y severidad) cada 5 días. La evaluación de los parámetros de calidad (sólidos solubles, color y firmeza) se realizó cada 5 días, a excepción de los parámetros fisiológicos (respiración) y pérdida de peso que se evaluaron cada 2 días.

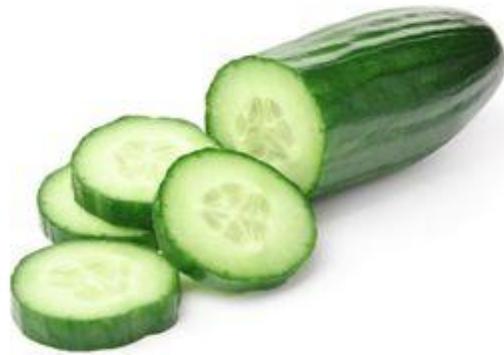
De acuerdo a los resultados obtenidos, el aceite esencial de orégano a 1000 ppm presentó el máximo porcentaje de inhibición micelial (100%) del crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*, por lo que esta concentración se agregó al recubrimiento con 10% de cera de candelilla.

La aplicación del recubrimiento a base de cera de candelilla adicionado con aceite esencial de orégano permitió disminuir el índice de decaimiento evaluado en los pepinos, obteniendo un



## RESUMEN

mayor índice de decaimiento en los pepinos sin recubrimiento. Además con la adición del aceite esencial de orégano el recubrimiento mostró ser una adecuada barrera antifúngica contra *Colletotrichum gloeosporioides* al obtener una severidad de la enfermedad del 6%, presentando 27.7% menos severidad de la enfermedad que los pepinos sin recubrir. Un efecto contrario se registró en los pepinos con los recubrimientos semicomerciales los cuales presentaron mayores niveles de índice de decaimiento y severidad de la enfermedad que los pepinos control. Por lo tanto el recubrimiento a base de cera de candelilla puede ser una alternativa tecnológica para el control de antracnosis en pepino.



# Introducción

---



### 1. INTRODUCCIÓN

La producción nacional de pepino (*Cucumis sativus L.*) ha incrementado desde los últimos 10 años, en 2012 se registró la mayor producción nacional de esta fruta con 640, 507.9 Ton., los estados de Sinaloa, Michoacán y Sonora contribuyen con más del 50% de la producción nacional. Su importancia económica también se define por la gran demanda de mano de obra para su cultivo y por la cercanía de estados productores con la frontera norteamericana (SIAP, 2013). Su reducido valor en azúcares y grasas lo hace ideal para personas con sobrepeso, es consumido por su gran combinación en ensaladas o como producto refrescante, es rico en vitamina A y C (Barreiro y Montañez, 2000), por su contenido en azufre es solicitado en la industria de cosméticos, en la industria farmacéutica es utilizado por las propiedades medicinales que se le atribuyen como diurético (CVCA, 2010).

Entre los microorganismos responsables de enfermedades en *Cucurbitaceas* están las causadas por *Sclerotinia Sclerotiorum*, *Erwinia Tracheiphila* y *Cucumber Mosaic Virus*, las enfermedades fúngicas causadas por estos microorganismos producen elevadas pérdidas económicas durante la comercialización de las frutas (Carnide y Barroso, 2006). La antracnosis es una de las principales enfermedades postcosecha que ataca a frutos subtropicales como el pepino causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, la cual demerita su calidad y ocasiona pérdidas económicas (Bernhardt y col., 1998).

El control de antracnosis se realiza con la aplicación programada de diversos fungicidas, durante la fase productiva o en los frutos ya cosechados (Bolivar y col., 2009). Sin embargo, el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles (encerado en pepino) adicionados con aceites o extractos naturales aplicados a productos hortofrutícolas ha generado disminuciones en el uso de conservadores químicos y sus consecuentes intoxicaciones y efectos positivos sobre el control del crecimiento microbiano, la disminución de pérdidas de peso, la conservación de características deseadas por los consumidores como firmeza, brillo, sabor, color, etc. (Quintero y col., 2010).

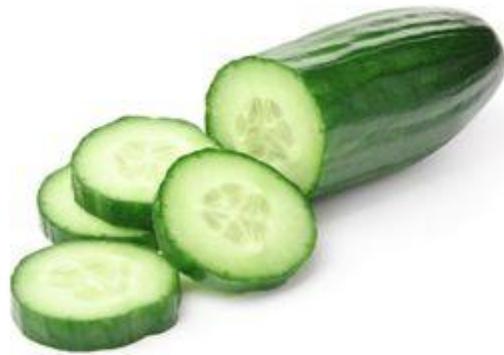
La incorporación de componentes activos en los recubrimientos comestibles, especialmente antimicrobianos y antioxidantes, ha sido uno de los focos de interés de la investigación más reciente. La actividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano se ha demostrado sobre el



## INTRODUCCIÓN

---

crecimiento de bacterias y hongos, contra bacterias gram negativas como *Salmonella typhimurium* y en la inhibición del crecimiento de ciertos hongos patógenos en postcosecha como: *Colletotrichum gloeosporioides* y *R. stolonifer* (Velázquez y col., 2008). Por lo que se decidió evaluar la actividad antimicrobiana de este aceite dentro de un recubrimiento



# Antecedentes

---



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Generalidades del pepino

#### 2.1.1. Origen, morfología y taxonomía

El pepino (*Cucumis sativus L.*) es un fruto en baya, carnoso, largo y cilíndrico cuyo color va del verde oscuro (Figura 1) a un amarillento cuando está totalmente maduro (NMX-FF-023-1982). Su tamaño depende de la variedad, su pulpa es de color blanquecino, bastante acuosa, de sabor y olor característicos (CVCA, 2010).



**Figura 1. Pepino (*Cucumis Sativus L.*).**  
Fuente: NUTRIDIETA (2014).

Es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años. De la India se extiende a Grecia y de ahí a Roma y posteriormente se introdujo a la parte este de China (CVCA, 2010). El cultivo de pepino fue introducido por los romanos en el norte de Europa y África; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América (Carnide y Barroso, 2006; Snowdon, 1991).

El pepino integra a la familia de las *Cucurbitaceas* que comprende cerca de 130 géneros y más de 900 especies (Carnide y Barroso, 2006), a esta familia pertenecen las plantas dicotiledóneas herbáceas, trepadoras o rastreras, de fruto carnoso de forma redonda y alargada, de cascara gruesa, rugosa o lisa como la sandía, el melón (cantalupo o melón bordado, honey-dew, etc.), la calabaza (squash y calabaza común) y el chayote (Figuroa y Salinas, 1981). Dentro del género *Cucumis* las especies más cultivadas son *C. Sativus L.* y *C. melo L.* de las cerca de 30 especies que comprende (Carnide y Barroso, 2006).

El conocimiento de la clasificación taxonómica y morfológica es esencial para realizar un buen manejo de este cultivo por lo que la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad ha reportado la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 1):



**Tabla 1. Clasificación taxonómica.**

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Violales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Género: *Cucumis*

Especie: *Sativus L.*

**Fuente: CONABIO (2013).**

El pepino *Cucumis sativus* L. es una planta de hábito rastrero o trepador. Su sistema radicular es abundante dada la gran productividad de esta planta, su morfología floral tiene una amplia variabilidad que recorre todas las posibilidades de expresión sexual. En la Tabla 2 se presenta una breve descripción de cada parte que constituye al pepino.

**Tabla 2. Morfología del pepino.**

Estructura	Descripción
<p><b>Sistema radicular</b></p> 	<p>Constituido de una raíz principal con una cantidad abundante de pelos absorbentes, se ramifica para dar raíces secundarias y superficiales.</p>
<p><b>Zarcillo</b></p> 	<p>No tienen ramificaciones, se encuentran en el lado opuesto a las hojas, la planta puede ser sencilla o compleja es decir, formada de 2 o 3 zarcillos.</p>
<p><b>Hojas</b></p> 	<p>Su tamaño y forma varía según la especie. Generalmente es de forma triangulada-ovalada con lóbulos no bien formados su longitud va de 7 a 20 cm, de color verde oscuro, recubiertas de un vello fino.</p>
<p><b>Flores</b></p> 	<p>Tienen pétalos amarillos, nacen en las axilas de las hojas, la planta tiene en su mayoría flores masculinas. Las flores femeninas nacen solitarias, mientras que las masculinas salen en grupos.</p>



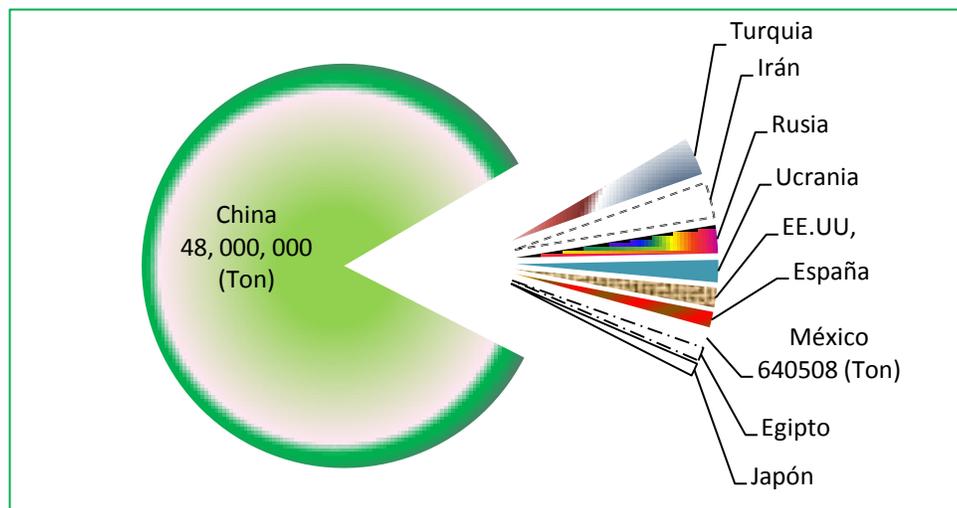
**Tabla 2. Morfología del pepino (Continuación).**

Estructura	Descripción
<p><b>Frutos y semillas</b></p> 	<p>El fruto es una baya carnosa y alargada de forma cilíndrica de color verde oscuro, su cáscara es dura y lisa. La pulpa es acuosa de color blanquecino, con semillas en su interior de color blanco-amarillento repartidas a lo largo del fruto, miden entre 8-10 mm con un grosor de aproximadamente 3.5 mm. El número de frutos por planta oscila entre 5 a 41 pepinos.</p>

**Fuente: CVCA (2010); Figueroa y Salinas (1981); InfoAgro (2014); Hernández (2014).**

### 2.1.2. Aspectos socioeconómicos

Entre los principales países productores de pepino se encuentran: China, Turquía y la República Islámica de Irán (Figura 2). En 2012 México se ubicó en el octavo lugar en volumen de producción a nivel mundial con una participación del 0.7% (FAOSTAT, 2014).



**Figura 2. Principales productores de pepinos y pepinillos en toneladas en 2012.**

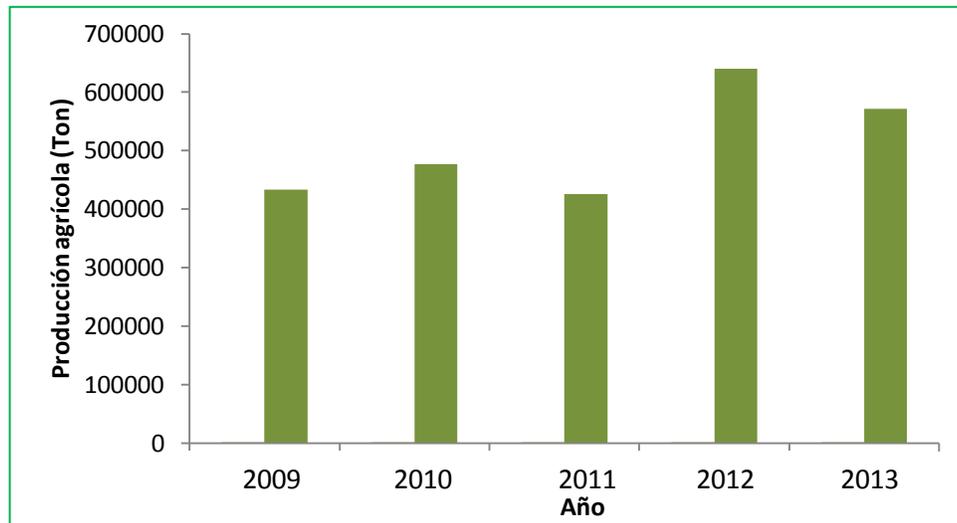
**Fuente: Elaborada con información de FAOSTAT (2014).**

México tiene un lugar importante en el comercio internacional de frutas y hortalizas, aporta una de cada diez toneladas de hortalizas comercializadas en el mundo, en 2012 ocupó el tercer lugar de exportación después de China y España con un porcentaje de participación del 18.2% con un valor de 382,986 miles de dólares (SIAP, 2013).



## ANTECEDENTES

Las exportaciones de pepino registran un carácter estacional y complementario (principalmente en los meses de Enero a Mayo y de Octubre a Diciembre) debido a que la tendencia por consumir hortalizas frescas ha incrementado, por lo tanto la producción agrícola se ha modificado para cubrir la demanda de los mercados (Figura 3) (Jaime-Green y col., 2012).



**Figura 3. Producción anual de pepino (riego más temporada) en México.**  
Fuente: SIAP (2014).

La producción de pepino en 2012 fue la más alta registrada en los últimos 10 años con la participación de los principales estados productores como Sinaloa, Michoacán y Sonora. El estado de Sinaloa es el mayor productor de pepino se considera que dos de cada cinco pepinos producidos en el país son de Sinaloa. Entre los factores que le favorecen son el tipo de suelo, los microclimas de las diversas regiones y sus sistemas de riego (SIAP, 2013).

La producción de pepino y de otras hortalizas contribuye con la economía agrícola del país, al generar divisas y empleo rural, es por eso que su producción es una de las actividades más relevantes dentro de la agricultura. Sin embargo la calidad y producción de los pepinos puede disminuir por factores que afecten su vida post-recolección como la falta de prácticas de control de enfermedades, el manejo inadecuado del producto, un inadecuado almacenamiento, etc. (Barreiro y Montañez, 2000).



**2.1.3. Variedades**

Los criterios que se usan para elegir una variedad de pepino se encuentra: producción, vigor de la planta, resistencia a enfermedades, tamaño del fruto, resistencia al transporte, etc. (CVCA, 2010). La mayor parte de las variedades cultivadas de pepino son híbridas, es decir, se crean por cruzamientos entre dos, tres o cuatro tipos de una especie con caracteres bien definidos y de líneas puras, seguidas por los de polinización libre. En la Tabla 3 se muestra la descripción de los tipos más comunes de pepino que son el Español, Francés y Holandés.

**Tabla 3. Variedades de pepino.**

Variedad	Longitud	Descripción
<b>Español (Pepino corto y pepinillo)</b> 	Longitud máxima de 15 cm	Las variedades pueden ser monoicas (presentan flores masculinas y femeninas), ginoicas (sólo presenta flores femeninas) con polinizador y ginoicas partenocárpicas (sin semillas), se utilizan para consumo en fresco o para encurtido.
<b>Francés (Pepino medio largo)</b> 	20-25 cm	Plantas monoicas y ginoicas. Dentro de estas últimas se diferencian las variedades cuyos frutos tienen espinas y las de piel lisa o mini pepinos, de floración totalmente partenocarpia.
<b>Holandés (Pepino largo)</b> 	Superior a 25 cm	Plantas ginoicas, de frutos totalmente partenocárpicos y de piel lisa, más o menos asurcada. El tamaño de las hojas es mucho más grande.

**FUENTE: CVCA (2010); Jaime-Green y col. (2012).**

Los pepinos cultivados en invernaderos son normalmente partenocárpicos ya que pueden formar frutos sin previa fecundación como consecuencia no tienen semillas, esta propiedad aumenta la calidad comestible. Los tipos partenocárpicos son también ginoicos, por que producen semillas cuando se polinizan (Zitter y col., 2004).



El consumo del pepino es como producto fresco, en ensaladas, y como producto encurtido o pepinillo, el termino pepinillo (gherkin) se aplica popularmente a pequeños frutos de pepino. Estas variedades comerciales se diferencian por el grado de precocidad y en función de características del fruto como forma, tamaño, espesor, presencia de espinas y viraje del color en la maduración (Namesny, 1999).

### 2.1.4. Composición química y nutricional

Los frutos de las *Cucurbitaceas* entre ellos el pepino generalmente están libres de grasa y son bajos en sodio, tienen un alto contenido de agua y un bajo valor calórico. Las dos formas predominantes de su uso son como producto en fresco en ensaladas y como producto encurtido que puede tener altos contenidos de sodio (Zitter y col., 2004).

El pepino tiene bajo aporte calórico debido a su reducido contenido en hidratos de carbono, a su elevado contenido de agua, además de ser bajo en grasa, aporta pequeñas cantidades de vitamina C, vitamina E, vitaminas del grupo B como B1, B2 y folatos, en su piel se encuentran cantidades pequeñas de beta-caroteno, pero una vez que esta se elimina, su contenido se reduce a casi cero. Es rico en K, Ca, Fe (CVCA, 2010). En la Tabla 4 se muestra la composición química y nutricional del pepino.

**Tabla 4. Composición química y nutricional del pepino.**

Contenido energético de los componentes digeribles de 100 g de porción comestible	
KJ	52
Kcal	12
Componentes principales de 100 g de porción comestible	
Agua	95.9 g
Proteína	0.6 g
Grasa	0.2 g
Hidratos de carbono	1.8 g
Fibra	0.9 g
Sales minerales	0.6 g
Ácido ascórbico	11 mg
Ácido pantoténico	0.25 mg
<b>Fuente: Friedrich y Heimo (1999); CVCA (2010).</b>	



Por su alto contenido de agua presenta propiedades diuréticas, es usado frecuentemente para el tratamiento de desórdenes de la piel como salpullido y lesiones que producen prurito. La vitamina E interviene en la estabilidad de las células sanguíneas, la vitamina C tiene actividad antioxidante e interviene en la síntesis de colágeno y dentina además de favorecer la absorción de hierro (Fennema y col., 2010).

Al pepino no se le considera un fruto rico en minerales, sin embargo, el potasio es el más abundante con 140 mg/100 g de porción comestible, este mineral es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, además de intervenir en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Friedrich y Heimo, 1999).

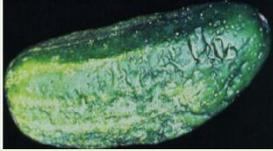
### **2.1.5. Pérdidas postcosecha**

El manejo de los productos frutícolas después de la cosecha es un punto principal para disminuir las pérdidas de estos debido a su característica perecedera, las pérdidas postcosecha varían tanto por la naturaleza del producto como por el manejo al que se ve sometido (ASVID, 2009).

Los pepinos tienen una vida post-recolección de 20 a 30 días y una vida de almacenamiento menor a 14 días por ser propensos a las pérdidas de humedad y a sí mismo a su descomposición, por lo tanto su velocidad de deterioro microbiológico no sólo depende de los microorganismos presentes, sino también de la combinación química del producto y del tipo de carga microbiana inicial (Namesny, 1999). En la tabla 5 se presenta una breve descripción de los factores que pueden provocar pérdidas postcosecha en pepinos.



**Tabla 5. Pérdidas postcosecha en pepino.**

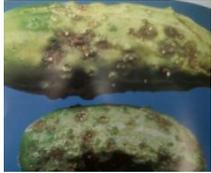
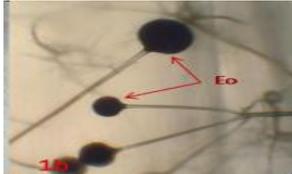
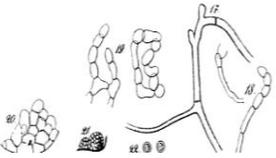
Desordenes fisiológicos		
Desorden	Condición	Síntomas
<b>Daños por frío</b> 	<p>Sufren daños si se almacenan a temperaturas menores de 10°C por periodos prolongados (más de tres días), los daños son mayores cuando mayor es el periodo de exposición a las bajas temperaturas.</p>	<p>Los daños provocan manchitas deprimidas (pitting) en la superficie del pepino con aspecto de embebidas en agua que profundizan posteriormente a la pulpa. Las manifestaciones en la pulpa son áreas translúcidas de apariencia acuosa que se vuelven pardas y gelatinosas con el tiempo, generando una pudrición acelerada.</p>
<b>Amarillamiento</b> 	<p>Este proceso se acelera a temperaturas superiores a 10°C en presencia de etileno, y niveles bajos de oxígeno (5%) lo retardan.</p>	<p>El color verde oscuro de los pepinos cambia a tonos amarillos en el extremo del pedúnculo, debido a que el contenido en clorofila tiende a degradarse y disminuir durante el almacenamiento.</p>
<b>Marchitamiento</b> 	<p>Se da por la recolección de la fruta en un estado avanzado de madurez, un almacenamiento a temperatura ambiente durante varios días, y por la sensibilidad a la pérdida de agua.</p>	<p>El marchitamiento se manifiesta a través del arrugamiento del producto y ablandamiento de los tejidos.</p>
<b>Sensibilidad al etileno</b> 	<p>Exposición de la fruta al etileno.</p>	<p>El etileno produce un envejecimiento precoz de los pepinos, pérdida de la firmeza y acelera la pérdida de clorofila con su presencia.</p>

**FUENTE:** Elaborada con información de: Chupp (2006); CVCA (2010); Kurt (2003); Namesny (1999); PHTS (2004); Snowdon (1991).

Además de estos factores existen más de 200 enfermedades a las que las *Cucurbitaceas* son susceptibles, entre ellas se encuentran las causadas por bacterias, hongos, virus y viroides, e insectos, las cuales disminuyen o anulan la calidad de los frutos (Zitter y col., 2004). Entre las enfermedades comunes postcosecha del pepino se encuentran: las grietas algodonosas, podredumbre negra, antracnosis, podredumbre blanda bacteriana, etc. (Tabla 6).

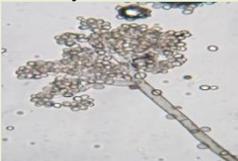


**Tabla 6. Principales enfermedades que atacan al pepino.**

Enfermedad	Agente Causal	Síntomas
<p><b>Sarna o Cladosporiosis</b></p> 	<p><i>Cladosporium cucumerinum</i>.- (sinónimo: <i>Scolicotrichum melophthorum</i>)</p> 	<p>Produce manchas pequeñas, deprimidas, recubiertas por micelio gris constituido por las fructificaciones del hongo. En frutos inmaduros las lesiones son circulares, acuosas y hundidas, tienden a exudar una sustancia gomosa que se seca y oscurece, bajo condiciones de humedad se desarrolla un molde de terciopelo plata gris, cambiando a verde oliva con la formación de una densa alfombra de esporas.</p>
<p><b>Podredumbre por Sclerotinia</b></p> 	<p><i>Sclerotinia sclerotiorum</i></p> 	<p>Produce una podredumbre blanda a semiblanda manifestándose de color pardo claro a castaño, a veces con tintes rojizos, con manchas húmedas y acuosas cuyo centro se seca. En condiciones de alta humedad se observa sobre el tejido afectado un abundante micelio blanco algodonoso.</p>
<p><b>Podredumbre blanda por Rhizopus</b></p> 	<p><i>Rhizopus stolonifer</i></p> 	<p>Produce manchas grandes con cambios de coloración a pardo y apariencia de embebidas en agua, de márgenes definidos. Evolucionan volviéndose blandas y hundidas desarrollando un micelio blanco algodonoso en la superficie infectada.</p>
<p><b>Podredumbre negra</b></p> 	<p><i>Mycosphaerella citrullina</i> (<i>Didymella bryoniae</i>).</p> 	<p>Produce una alteración parda en el extremo apical en que el tejido se necrosa, mientras los tejidos adyacentes toman color amarillento.</p>
<p><b>Podredumbre por Rhizoctonia</b></p> 	<p><i>Rhizoctonia solani</i> Kuhn</p> 	<p>Aparecen pequeñas grietas con acuosidad algodonosa. Áreas con aspecto de embebidas en agua que toman un color pardo oscuro. En la base del tallo se genera una pudrición húmeda que provoca que las plántulas caigan y mueran, la lesión siempre es hundida y muestra varios tonos de café.</p>
<p><b>Podredumbre por Phytophthora</b></p> 	<p>Especies del genero <i>Phytophthora</i></p> 	<p>Produce manchas blandas y hundidas en el fruto, bajo condiciones húmedas puede observarse un moho blanco en la superficie de estas manchas.</p>



**Tabla 6. Principales enfermedades que atacan al pepino (Continuación).**

Enfermedad	Agente Causal	Síntomas
<b>Podredumbre por <i>Fusarium</i></b> 	<i>Fusarium solani f. sp. Curcubitae</i> 	Aparecen manchas secas, acorchadas, con oquedades en la superficie. El tejido afectado tiende a ser esponjoso, bajo condiciones húmedas comienza a cubrirse con un moho blanco o rosado algunas veces se produce un pigmento rojo purpura.
<b>Podredumbre gris</b> 	<i>Botrytis cinerea</i> 	Son ataques frecuentemente en invernaderos, produce una podredumbre blanda (más o menos acuosa, según el tejido que aparece ablandado), en los que el micelio que recubre la zona afectada es de color gris.
<b>Antracnosis</b> 	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> 	Se manifiestan por lesiones negras debajo de las cuales el tejido parece seco. Bajo condiciones húmedas puede aparecer una fluorescencia rosada donde se encuentran las esporas, se controla utilizando variedades resistentes y aplicación de fungicidas.
<b>Mancha bacteriana</b> 	<i>Pseudomonas syringae</i> 	Se presentan manchas circulares, húmedas y hundidas de color verde oscuro. La pulpa sufre una rápida pudrición blanda junto con su oscurecimiento.

**Enfermedades causadas por virus y plagas**

Agente Causal	Descripción	Síntomas
<b>Plagas</b> 	Entre las principales plagas se encuentran las causadas por: la mosca blanca de los invernaderos, los pulgones, ácaros o “arañas rojas” y los Trips.	Disminuyen la calidad del pepino fresco, dañando su uniformidad, firmeza y su color característico.
<b>Virus</b> 	Existen más de 700 enfermedades de plantas causadas por virus.	Los virus se replican solamente dentro de las células de los huéspedes susceptibles, causando deformaciones, son transmitidos por insectos, acararos, hongos, medios mecánicos, etc.

FUENTE: Elaborada con información de: Chupp (2006); CVCA (2010); Kurt (2003); Namesny (1999); PHTS (2004); Snowdon (1991).



- Antracnosis

La antracnosis de las *Cucurbitaceas* se conoce desde 1867, descrita por primera vez en Italia. Esta enfermedad causa daños considerables y pérdidas económicas en un gran número de cultivos como el de melón, pepino, sandía, papaya, café, etc. además de atacar a frutas subtropicales como el aguacate, plátano y el mango (Zitter y col., 2004).

En frutos las lesiones son áreas circulares, hundidas y acuosas que se desarrollan primero cuando el fruto se aproxima a la madurez, extendiéndose hasta alcanzar un gran tamaño, las frutas infectadas desarrollan áreas circulares hundidas, en condiciones húmedas las lesiones se vuelven negras y se cubren con masas rosas de esporas (Figura 4). El patógeno puede sobrevivir en residuos de plantas infectadas y puede ser transportado en las semillas recolectadas de frutos infectados (Bernhardt y col., 1998).



**Figura 4. Infección severa de antracnosis de pepino.**  
Fuente: PHTS (2004).

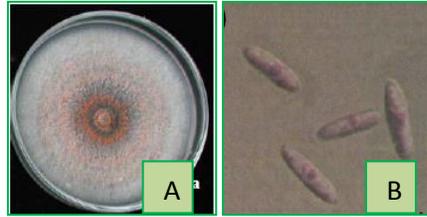
La identificación tradicional de especies de *Colletotrichum* se basa principalmente en las características morfológicas como el color de la colonia, la forma de los conidios, tasa de crecimiento, etc. Este hongo fue descrito inicialmente como *Gloesporium olivarum* con posterioridad esta especie fue reclasificada en la especie compleja *Colletotrichum gloeosporioides* (Figura 5) cuyo teleomorfo corresponde a la especie *Glomerella cingulata* en la clasificación tradicional de los hongos el género *Colletotrichum* encuadra en (Ainsworth, 1971):

División: Eumycota

Subdivisión: Deuteromycotina

Clase: Coelomycetes

Orden: Melanconiales



**Figura 5. *Colletotrichum gloeosporioides*: A) colonias del hongo en PDA, B) vista al microscopio de conidios de *C. gloeosporioides*.**

**Fuente: Oliveira y col. (2005).**

El control postcosecha de la antracnosis se efectúa a través del uso de fungicidas preventivos o erradicantes, tratamientos hidrotérmicos o la combinación de ambos de acuerdo a las tecnologías de producción, las condiciones climáticas y las exigencias del mercado (Mulkey y col., 2012).

### 2.1.6. Métodos de conservación postcosecha aplicados a pepino

Las pérdidas en cantidad y calidad a la que los productos hortofrutícolas están expuestos entre el periodo de recolección y su consumo son muy importantes, para reducir estas pérdidas es necesario entender los factores biológicos y medioambientales relacionados con su deterioro. En la Tabla 7 se presentan algunas tecnologías postcosecha que han retrasado la senescencia en el pepino y han logrado mantener la calidad del este lo mejor posible.

**Tabla 7. Métodos de conservación postcosecha aplicados a pepino.**

Método	Descripción	Condiciones/Regulación
<b>Preenfriamiento</b> 	Se realiza un descenso de la temperatura de los tejidos hasta temperaturas que no provoquen daños para disminuir el metabolismo y aumentar su conservación.	Se debe reducir la temperatura del fruto hasta 10-12°C preferentemente con aire forzado y mantener una humedad relativa cerca de 95%.
<b>Tratamientos cuarentenarios</b> 	El producto se somete a estos tratamientos para eliminar plagas, pueden realizarse por fumigación, aplicación de frío, vapor o agua caliente e irradiación.	Su evaluación es regulada a través de organismos de certificación, unidades de verificación y especialistas fitosanitarios.
<b>Aplicación de fungicidas</b> 	Se aplican para la prevención de enfermedades post-recolección, se debe considerar la legislación vigente para su uso.	Su uso se debe ajustar a los límites establecidos en normas oficiales. El uso de cantidades adecuadas es crítico para evitar la contaminación del producto.



**Tabla 7. Métodos de conservación postcosecha aplicados a pepino (Continuación).**

Método	Descripción	Condiciones/Regulación
<b>Envases de plástico</b> 	Las envolturas se han seleccionado como envase para mantener la calidad del producto durante su transporte y comercialización, estas ayudan a prevenir el marchitamiento y la pérdida de peso.	Deben adaptarse a las necesidades de transporte nacional e internacional garantizando un adecuado manejo y conservación del producto.
<b>Recubrimientos comestibles</b> 	Representan una alternativa de empaque al crear una atmósfera modificada en el fruto que retrasa el proceso de senescencia, mejoran las propiedades mecánicas ayudando a mantener la integridad estructural del producto.	Los agentes antimicrobianos y materiales de elaboración a utilizar deben estar reconocidos como GRAS (Generally recognized as safe) por la FDA.
<b>Encerado</b> 	El encerado se aplica a la superficie del producto para prevenir el marchitamiento, controlar la pérdida de agua y mejorar la apariencia. Se debe evitar la respiración anaerobia y la producción de volátiles.	Los pepinos deben ser tratados con ceras de calidad alimenticia. Los componentes permitidos varían de acuerdo a las exigencias del mercado.

**Fuente: Infocenter (2009); Lizarraga y Alas (2004); Namesny (1999); Vargas (1987).**

## 2.2. Generalidades de recubrimientos comestibles

### 2.2.1. Definición y origen

Los recubrimientos comestibles son alternativas de conservación postcosecha que están definidos como: una fina película formada separadamente del alimento y aplicada después sobre el mismo; cómo revestimiento o recubrimiento que es una suspensión o emulsión aplicada directamente sobre la superficie del alimento donde se seca formando una fina película sobre el producto (Durango y col., 2011).

Investigaciones sobre empaques se han enfocado en películas y recubrimientos comestibles buscando nuevas técnicas de almacenamiento. Los envases o empaques son tan antiguos como la humanidad misma, inicialmente se utilizaron productos naturales como hojas, pieles, etc.; La revolución industrial trajo grandes avances desde el uso de cajas de madera, la introducción del polietileno, el poliestireno, hasta llegar a los plásticos termoencogibles. Al igual que los



## ANTECEDENTES

plásticos el uso de recubrimientos ha tenido un desarrollo notorio resaltando la importancia que cobra el empaque día tras día (Vargas, 1987).

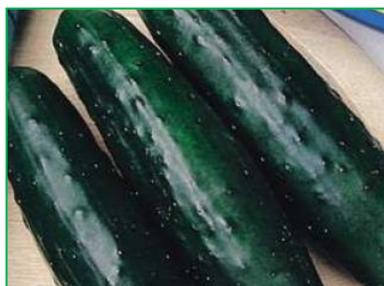
Los recubrimientos comestibles surgen como una alternativa para el control de enfermedades, ya que tradicionalmente se han utilizado fungicidas sintéticos los cuales representan un riesgo para el ambiente y la salud llegando a provocar intoxicaciones. El uso continuo de estos productos es cada vez menos efectivo, debido a la aparición de cepas resistentes de hongos; esto ha propiciado la búsqueda de alternativas de conservación, denominadas "bio-compatibles" como lo son los recubrimientos (Figuroa y col., 2011).

Su elaboración puede incluir la incorporación de compuestos antimicrobianos de origen natural para controlar la población microbiana, sin afectar negativamente a las características sensoriales (Romero y col., 2011).

Las tecnologías emergentes basadas en películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas procesados, mínimamente procesados y comercializados en fresco, buscan extender la vida útil de los alimentos al mantener la calidad, generar valor agregado y direccionarlos de acuerdo a las necesidades y gustos del consumidor (Quintero y col., 2010).

- Encerado

La aplicación de recubrimientos o el encerado (Figura 6) son prácticas habituales en la industria de los cítricos para reponer la cera natural eliminada durante la manipulación, lavado y limpieza de los frutos, así como para mejorar su apariencia; su uso retarda la pérdida de agua lo que permite alargar su vida útil (Quintero y col., 2010).



**Figura 6. Apariencia de pepinos después de la aplicación de una cera líquida.**  
Fuente: PHTS (2004).



Dado que los primeros recubrimientos de cítricos estaban compuestos por ceras, el encerado es un término que se ha venido utilizando durante años para designar a los recubrimientos que se aplican a la fruta, referencias indican que el uso de ceras se remonta a los siglos XII-XIII en China aplicadas a naranjas y limones (Villada y col., 2007)

Las principales ventajas y desventajas que nos brindan los recubrimientos comestibles se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Ventajas y desventajas de recubrimientos comestibles.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Su aplicación genera productos procesados con menos aditivos semejantes al producto fresco.	Los recubrimientos solo son efectivos en ciertos cultivos y climas e ineficaces en otras condiciones.
No aportan residuos químicos	No son bactericidas (sistemas de conservación que destruyen los gérmenes) o fungicidas, por lo que su efectividad sobre los alimentos es limitada.
Los antimicrobianos alimentarios agregados son bacteriostáticos (sistemas de conservación que impiden el desarrollo de gérmenes) o fungistáticos que no generan intoxicaciones.	Su funcionalidad y efectividad depende de la naturaleza del producto, de su composición y estructura.
Al cubrir los frutos con una película, se crea una atmósfera modificada en el interior del fruto que reduce la velocidad de respiración y por tanto, el proceso de envejecimiento del producto.	El diseño de una cubierta comestible debe ser establecido para cada tipo de fruto

**Fuente: Quintero y col. (2010).**

### **2.2.2. Materiales de elaboración de los recubrimientos**

Los principales componentes utilizados para elaborar recubrimientos son lípidos e hidrocoloides (proteínas y polisacáridos) o la combinación de estos. Los recubrimientos presentan propiedades específicas de acuerdo a los componentes que los integran.

#### **❖ Lipídicos**

Debido a sus propiedades hidrofóbicas (no poliméricos), retardan la transferencia de humedad del producto, disminuyen la pérdida de peso del producto, son buenas barreras para la



humedad, reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior, mejorar el brillo y el sabor, representan mejores propiedades de barrera a los gases. Algunos de ellos son las ceras de origen natural como la cera de abeja, carnauba y candelilla, acilglicéridos y ácidos grasos, aceites vegetales de coco, palma, etc., aceite mineral, aceites esenciales de alcanfor, menta, orégano, tomillo, etc., y algunos triglicéridos (Figueroa y col., 2011).

- La cera de candelilla

Es una sustancia orgánica que pertenece al grupo de lípidos simples, se encuentra en las zonas áridas de México como Coahuila y Chihuahua. Se utiliza principalmente en: velas, pinturas, cosméticos, elaboración de dulces, chicles, recubrimientos de chocolate y frutas (Molina y col., 2011).

La aplicación de recubrimientos céreos a base de candelilla se ha estudiado en su mayoría en manzanas y cítricos, pues su objetivo principal es proporcionarle brillo a la cutícula de los frutos, aunque se ha encontrado que también alargan la vida de anaquel de los mismos (Alleyne y Hagenmaier, 2000).

La cera de candelilla contiene una cantidad relativamente baja de esteres volátiles, su uso en la industria de alimentos está reconocido por la FDA. Los taninos son metabolitos secundarios presentes en estas plantas. Algunos de los componentes principales de estas sustancias son el ácido elágico y gálico. Varias aplicaciones medicinales e industriales se han encontrado en estos ácidos tales como antioxidante antitumoral, antimicrobiano, antiviral y antiinflamatorio (Pérez y col., 2003).

### ❖ **Hidrocoloides (Polisacáridos y proteínas).**

Los recubrimientos a base de hidrocoloides permiten el intercambio gaseoso con el medio exterior por lo que son aptos para productos metabólicamente activos, tienen elevada permeabilidad al vapor de agua al ser hidrocoloides solubles en agua, debido a su naturaleza hidrofílica ofrecen una barrera mayor al paso de gases como CO<sub>2</sub> u O<sub>2</sub> lípidos, al tener una permeabilidad selectiva al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, presentan menor eficacia que los recubrimientos lípidos frente a la transferencia del vapor de agua porque no impiden suficientemente la transmisión



## ANTECEDENTES

de vapor de agua (Embuscado y Huber, 2009). Entre los materiales utilizados se encuentran las celulosas y sus derivados (metilcelulosa MC, hidroximetilcelulosa HMC, hidroxipropilmetilcelulosa HPMC, y carboximetilcelulosa CMC), alginatos, pectinas, goma arábica, almidones, derivados del almidón y almidones modificados, carragenanos, quitosano entre otros, entre las proteínas utilizadas se encuentran aquellas provenientes de origen vegetal como maíz (zeína), trigo, avena, soya, las obtenidas de origen animal como: la gelatina y el colágeno y las lácteas (caseína, proteínas del suero de queso) (Figuroa y col., 2011).

- La carboximetilcelulosa o goma de celulosa

Se utiliza principalmente en alimentos por sus aplicaciones en la viscosidad, unión de agua, y la transparencia de sus soluciones, actúa como gelificante y estabilizante, actualmente es utilizada en preparados de frutas, golosinas, postres, helados, cremas, productos cárnicos, etc. (Cubero y col., 2002).

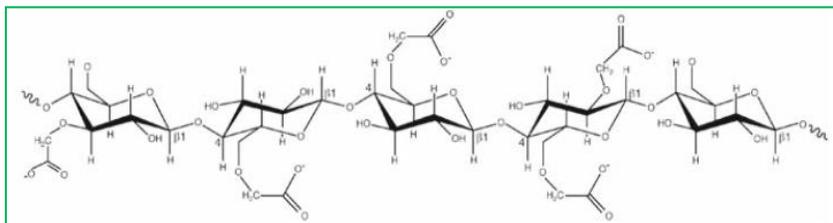


Figura 7. Estructura de carboximetilcelulosa en una solución al 3%.  
Fuente: Nieto (2009).

### ❖ Compuestos.

Son formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos que se caracterizan por disminuir los inconvenientes que se pudieran presentar al utilizar un solo componente ya que complementan las propiedades ofrecidas por ambos tipos de recubrimientos (Quintero y col., 2010).

### 2.2.3. Aditivos

Son sustancias de interés para el alimento como plastificantes, agentes emulsionantes, antioxidantes, saborizantes, etc., que pueden ser añadidos a las formulaciones de los recubrimientos para mejorar su calidad e incrementar su vida útil. Además de que los recubrimientos comestibles también pueden actuar como portadores de otros aditivos



alimentarios incluyendo colorantes, agentes aromatizantes y compuestos antimicrobianos (Pérez-Gago y col., 2010).

### 2.2.4. Agentes antimicrobianos

Los agentes antimicrobianos son alternativas de conservación, "bio-compatibles". La mayoría de agentes antimicrobianos usados en alimentos están químicamente reconocidos como GRAS (generally recognized as safe) por la FDA (Food and Drug Administration) (Hernández y col., 2007). Su uso implica su incorporación a los alimentos sin afectar negativamente las características sensoriales.

En general cada vez se descubren más agentes antimicrobianos. Los agentes antimicrobianos naturales pueden clasificarse por su origen (Rodríguez, 2011):

- Origen animal: se incluyen proteínas, enzimas líticas tales como: lisozima, hidrolasas tales como lipasas y proteasas y polisacáridos como el quitosán.
- Origen vegetal: compuestos fenólicos provenientes de cortezas, tallos, hojas, flores, ácidos orgánicos presentes en frutos, aceites esenciales y fitoalexinas producidas en plantas.
- Origen microbiano: compuestos producidos por microorganismos.

### 2.2.5. Plastificantes

Los plastificantes son moléculas de bajo peso molecular y alto punto de ebullición que disminuyen la fragilidad y aumentan la flexibilidad y extensibilidad de los recubrimientos. Entre los plastificantes de calidad alimentaria se encuentran: sorbitol, glicerol, manitol, sacarosa, y polietilenglicol (Cagri y col., 2004).

El tipo y la concentración de plastificante influye en las propiedades de los recubrimientos como su resistencia mecánica, propiedades de barrera y disminución de la elasticidad cuando se utilizan altos niveles de plastificante, por lo que el plastificante debe ser compatible con el polímero formador del recubrimiento para reducir las fuerzas intermoleculares y aumentar la movilidad de las cadenas poliméricas (Embuscado y Huber, 2009).



### 2.2.6. Emulsificantes

Son tensoactivos que utilizan para mejorar la adhesión en la interfaz del alimento y el recubrimiento como: ácidos grasos, monoesterato de etilenglicol, glicerol, lecitina, monoesterato de sorbitán o polisorbatos. Interactúan en la interfase lípido-agua, reduciendo la tensión superficial entre la fase dispersa y continua, mejorando la estabilidad de las emulsiones cuando se combinan lípidos e hidrocoloides, En muchos casos se utilizan para asegurar una buena humectación y adhesión del recubrimiento a la superficie del alimento (Pérez-Gago y col., 2010).

### 2.3. Generalidades de aceites esenciales

Los aceites esenciales son líquidos aceitosos obtenidos a partir de diferentes partes de las plantas como: flores, semillas, hojas, ramas, cortezas, frutos y raíces. Son mezclas complejas de ésteres, aldehídos, cetonas y terpenos. Además son compuestos olorosos, muy solubles en alcohol y poco solubles en agua, para la extracción de estos compuestos se pueden utilizar distintos solventes como: acetato, etanol, cloruro de etileno, etc. Son conocidos por su actividad antimicrobiana contra un amplio rango de bacterias y hongos (Rodríguez, 2011).

Diversos aceites esenciales han resultado útiles en el control de pudriciones postcosecha por tener un efecto antimicrobiano, entre los más estudiados encontramos a los aceites y extractos de orégano, tomillo, romero, cilantro, cebolla y ajo. Su efectividad se ha visto confirmada inhibiendo el crecimiento de diversos hongos y bacterias (Montes-Belmont y col., 2000).

#### 2.3.1. Aceite esencial de orégano

El aceite esencial de orégano ha demostrado actividad antimicrobiana sobre el crecimiento de bacterias y hongos. Contra bacterias gram negativas como: *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica* y *Enterobacter cloacae*; y gram positivas como *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes* y *Bacillus subtilis* (Aligiannis y col., 2001). También se ha demostrado que puede inhibir el crecimiento de ciertos hongos patógenos en postcosecha como



*Colletotrichum gloeosporioides* y *R. stolonifer* (Velázquez y col., 2008). Su actividad antimicrobiana es atribuida a sus compuestos fenólicos presentes como carvacol y timol.

Los agentes antimicrobianos pueden tener al menos tres tipos de acción sobre el microorganismo:

- Inhibir la biosíntesis de los ácidos nucleicos (pueden alterar la función del material genético) o de la pared celular.
- Dañar la integridad de la membrana celular.
- Interferir con la gran variedad de procesos metabólicos esenciales.

#### 2.4. Aplicación de recubrimientos

La combinación de los materiales de elaboración se ha realizado con la finalidad de aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre estos, ya que las propiedades mecánicas y de barrera dependen de los compuestos que integran la matriz polimérica y de su compatibilidad (Altenhofen y col., 2009).

Además de presentar buenas propiedades mecánicas y ópticas (brillo y opacidad), se debe tener en cuenta ciertas características como costo, disponibilidad, atributos funcionales, etc. En la Tabla 9 se muestra el valor deseable y las propiedades que un recubrimiento simple o mixto tendría que tener para su aplicación en frutos.

**Tabla 9. Propiedades deseables de recubrimientos comestibles.**

Propiedad	Respuesta	Valor deseable
<b>Barrera al agua</b>	Limitar las pérdidas de peso	Alto
<b>Barrera O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub></b>	Retrasar la actividad metabólica	Moderado
<b>Resistencia mecánica</b>	Prevenir el daño físico	Duro, flexible o elástico
<b>Transparencia y brillantes</b>	Mejorar la apariencia	Alto
<b>Actividad microbiana</b>	Extender la vida útil	Alto
<b>Propiedades sensoriales</b>	Inodoro, insípido	Alto
<b>Capacidad de absorción de agua</b>	Película higroscópica y soluble	Bajo
<b>Costos de producción</b>	Viabiles	Bajo

Fuente: Figueroa y col. (2011).



## ANTECEDENTES

Es indispensable reconocer que las películas o recubrimientos comestibles deben ser evaluadas con respecto a su estabilidad microbiológica, adhesión, cohesión, propiedades mecánicas y sensoriales ya que de estas se pueden predecir y optimizar su composición y comportamiento. En la Tabla 10 se muestra el trabajo de diversos autores sobre el efecto de diferentes formulaciones de recubrimientos aplicados a frutos.

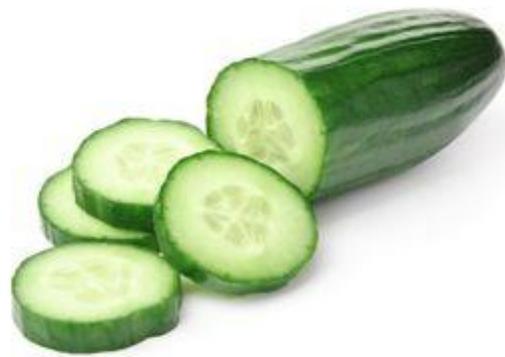
**Tabla 10. Aplicación de diversos recubrimientos comestibles aplicados a frutas y hortalizas.**

Fruto	Componentes del recubrimiento	Análisis	Efecto	Referencia
<b>Pepino</b>	Cera comercial Decco®.	Pérdida de peso Sólidos solubles Firmeza	Se redujo la pérdida de peso en comparación con los frutos sin encerar, lo que permitió mantener la firmeza y sólidos solubles de los pepinos.	Muy y col. (2011).
<b>Manzana “Golden Delicious”</b>	Cera de candelilla Ácido elágico.	Pérdida de peso Cambios en apariencia Capacidad antifúngica	El recubrimiento disminuyó los cambios de color y pérdida de peso de las manzanas. Sin la adición de ácido elágico el recubrimiento permite el crecimiento de <i>C. gloeosporioides</i> y <i>P. expansum</i> e inhibe el crecimiento de <i>F. oxysporum</i> .	Ochoa y col. (2011)
	Almidón de yuca. Aceite esencial de canela e hinojo.	Tasa de respiración Resistencia al vapor de agua Inhibición microbiana	Se registró un incremento en la permeabilidad al vapor de agua y una disminución en la tasa de respiración. La adición de los aceites no modificó estas propiedades, los aceites mostraron actividad antimicrobiana contra <i>S. aureus</i> y <i>S. choleraesuis</i>	Boesso y col. (2014).



**Tabla 10. Aplicación de diversos recubrimientos comestibles aplicados a frutas y hortalizas (Continuación).**

Fruto	Componentes del recubrimiento	Análisis	Efecto	Referencia
<b>Guanábana</b>	Cera de carnauba con 16% sólidos. Cera de carnauba con aceites siliconados con 18% sólidos. Cera de candelilla con 17% sólidos.	Pérdida de peso Firmeza Apariencia	No se logró inhibir la maduración de la guanábana, pero se obtuvo una disminución en la pérdida de peso y firmeza con respecto a los controles. El uso de cera de carnauba y candelilla con mayor contenido de sólidos proporcionó mayor brillo a la cutícula de los frutos.	Gómez y Montes (2011).
<b>Plátano y papaya</b>	Goma arábica Aceite de hierba de limón Aceite de canela	Pérdida de peso Firmeza Control de antracnosis	El recubrimiento adicionado con aceite de canela retrasó la pérdida de peso y de firmeza en comparación con el recubrimiento adicionado con aceite de hierba de limón. El uso de ambos aceites se sugiere como biofúngicidas en el control de antracnosis.	Maqbool y col. (2011).
<b>Limón Persa</b>	Goma de mezquite Cera de candelilla Aceite mineral Glicerol Sorbitol y Calcio	Pérdida de peso Permeabilidad al vapor de agua	Se encontró que la adición de calcio mejoró las propiedades de barrera al vapor de agua, permitiendo obtener menor pérdida de peso en los limones con el recubrimiento adicionado de calcio.	Bosquez y Vemon (2005).



# Objetivos

---



### 3. OBJETIVOS

**Objetivo general.** Determinar el efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de lípido, polisacárido y aceite esencial de orégano y de dos recubrimientos semicomerciales sobre la calidad y el control de antracnosis en pepino fresco.

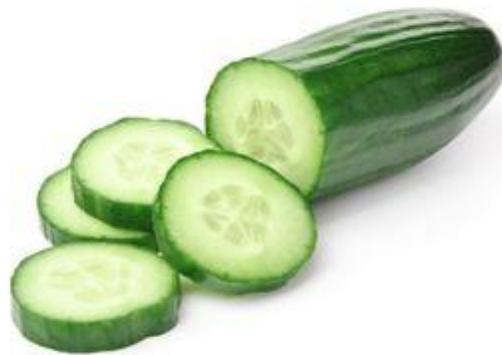
#### OBJETIVOS PARTICULARES

**Objetivo Particular 1.** Elaborar un recubrimiento a base de cera de candelilla (10%) y polisacáridos (almidón, carboximetilcelulosa, goma laca: 1.5, 2.5, 5%), y evaluar sus propiedades físicas (color, adhesividad, estabilidad, homogeneidad y brillo) para su aplicación en pepino.

**Objetivo Particular 2.** Evaluar las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano a tres diferentes concentraciones (500, 750 y 1000 ppm) sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* mediante pruebas *in vitro*, para seleccionar la concentración de mayor poder inhibitorio sobre el crecimiento micelial del hongo y posteriormente adicinarla a un recubrimiento.

**Objetivo Particular 3.** Valorar el efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de cera y aceite esencial de orégano sobre los parámetros de calidad (sólidos solubles, color, firmeza y pérdida de peso), fisiológico (respiración) y control de antracnosis en pepino fresco, para establecer una alternativa en su conservación.

**Objetivo Particular 4.** Evaluar el efecto de la aplicación de dos recubrimientos semicomerciales sobre los parámetros de calidad (sólidos solubles, color, firmeza y pérdida de peso), fisiológico (respiración) y control de antracnosis en pepino fresco para compararlo con el recubrimiento a base de cera adicionado con orégano.



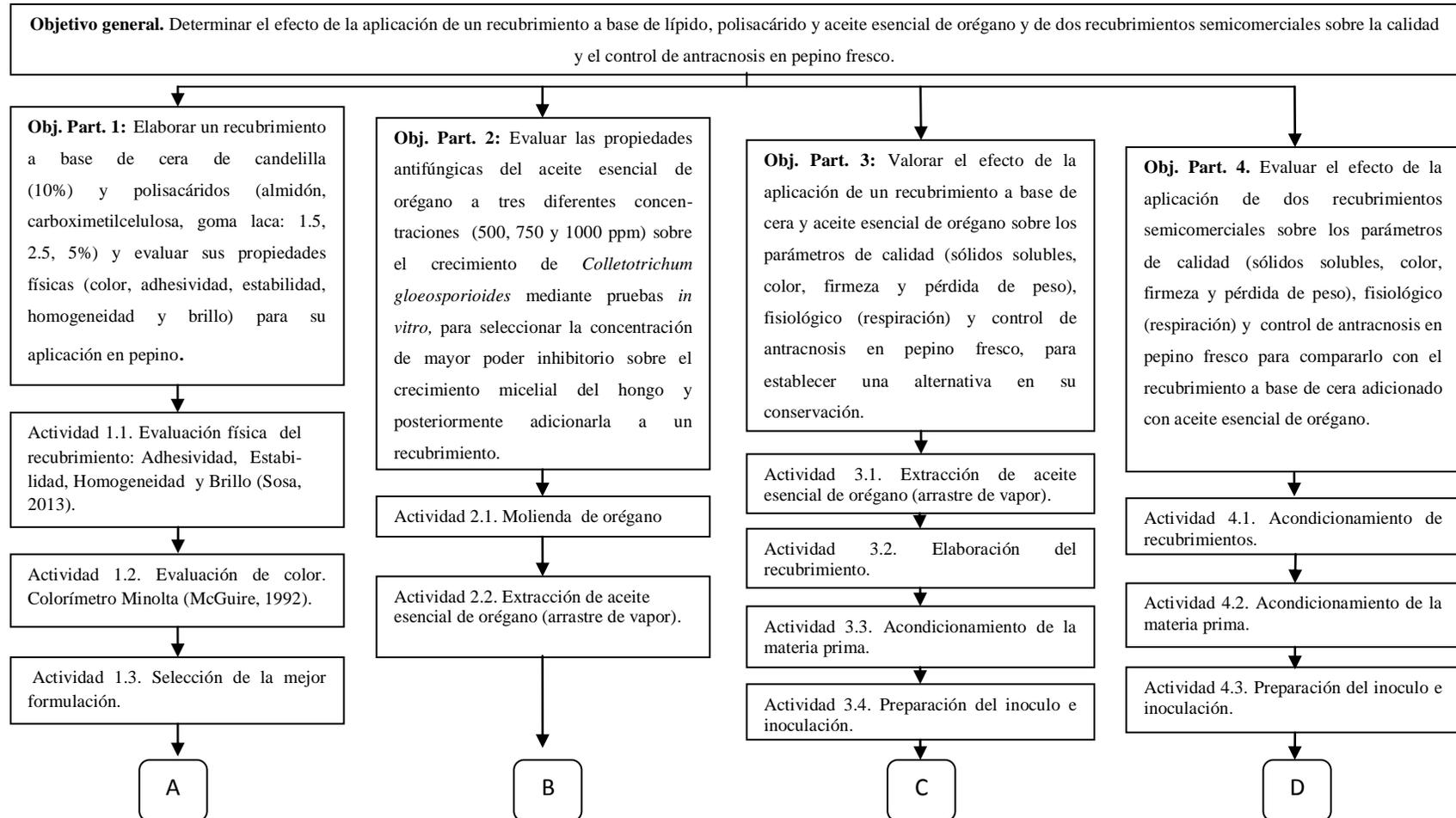
# Materiales y Métodos

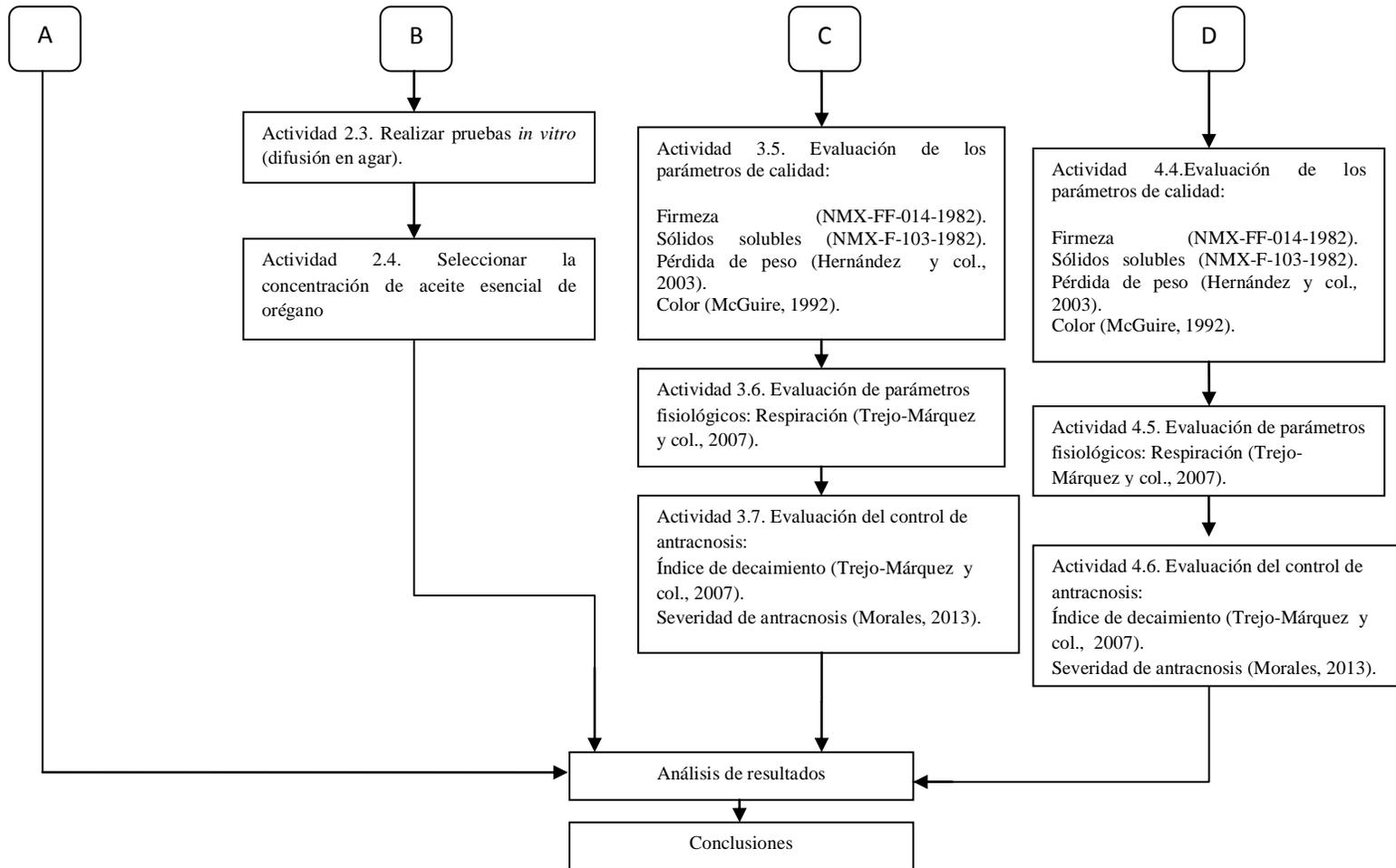
---



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Cuadro metodológico







### 4.2. Materiales biológicos

Los pepinos (*Cucumis sativus L.*) utilizados en este proyecto se adquirieron en la central de abastos de la Ciudad de México y se trasladaron al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, donde se acondicionaron para su posterior estudio.

Como agente antifúngico se utilizó aceite esencial de la planta de orégano (*Lippia graveolens*), que fue adquirida en las bodegas de Atizapán de Zaragoza, Edo. de México, proveniente principalmente de las regiones áridas y semiáridas de los estados de Zacatecas, Chihuahua, Durango y Sinaloa.

### 4.3. Obtención de aceite esencial de orégano

Las plantas de orégano se limpiaron de materia extraña y se pulverizaron con un triturador (marca Oster de 16 velocidades), posteriormente se realizó la extracción de aceite esencial con una mezcla de 100 g de planta por cada 1000 mL de agua, es decir, una relación 1:10 mediante una destilación por arrastre de vapor por 2 horas. El aceite esencial obtenido se almacenó a una temperatura de 0-4°C hasta su utilización.

### 4.4. Elaboración y caracterización de recubrimientos a base de cera de candelilla

Los recubrimientos comestibles se elaboraron a base de cera de candelilla adquirida en Ceras Universales S.A. de C.V.; se utilizaron los siguientes polisacáridos: carboximetilcelulosa, goma laca y almidón, obtenidos en la Droguería Cosmopolita S.A. de C.V.; plastificante glicerol anhidro (marca J.T. Baker) y el surfactante Tween 80 (Hycel de México S.A. de C.V.).

Los recubrimientos se elaboraron a base de cera de candelilla (10%) y polisacáridos (almidón, carboximetilcelulosa, goma laca: 1.5, 2.5, 5%). Las emulsiones aceite-agua donde la cera de candelilla constituyó la fase dispersa (hidrofóbica) fue fundida a 70°C, posteriormente se



adicionó la fase continua que se preparó dispersando a los polisacáridos en agua destilada con agitación constante hasta obtener una dispersión homogénea.

El material estructural del recubrimiento se conformó por la dispersión acuosa de los polisacáridos, diferentes porciones de glicerol como plastificante y tween 80 como emulsificante; para obtener recubrimientos homogéneos, se aplicó agitación constante por 15 minutos y finalmente las emulsiones se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

Estas formulaciones fueron caracterizadas previamente dentro del programa de servicio social Desarrollo y validación de metodologías para el estudio de maduración en frutos, con clave 2013-12/41-2808, en el que se evaluó la aplicación de ceras en pepinos para su conservación en refrigeración (Sosa, 2013). La ejecución de este servicio social fue la base para la selección de los recubrimientos con las mejores propiedades físicas en el pepino estudiadas en este proyecto. Las formulaciones de dichos recubrimientos se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11. Formulaciones de recubrimientos a base de cera de candelilla.**

Cera Candelilla	Polisacárido CMC	Agua	Glicerol	Tween 80	Aceite esencial de orégano
%					
5	2.5	89.7	1.5	1	0.3
7.5	0.5	89.2	1.5	1	0.3
10	1.5	86.2	1	1	0.3

Las propiedades como adhesividad, estabilidad, homogeneidad y brillo fueron evaluadas en el recubrimiento con aceite esencial de orégano haciendo uso de una escala hedónica que se muestra en la Tabla 12. El color fue evaluado mediante un colorímetro CM 600d (marca Minolta) con la finalidad de descartar aquellas formulaciones que modificaran el aspecto físico de los pepinos.



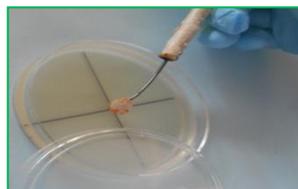
**Tabla 12. Escalas hedónicas para la evaluación del recubrimiento a base de cera.**

Escala	Adhesividad	Estabilidad	Homogeneidad	Brillo
1	Nula	Nula	Nula	Nulo
2	Muy débil	Muy débil	Muy poco	Muy opaco
3	Débil	Débil	Poco	Opaco
4	Muy adhesiva	Muy estable	Homogénea	Brillante
5	Extrema	Extrema	Muy homogénea	Muy brillante

#### 4.5. Evaluación de las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano

El poder antifúngico del aceite esencial de orégano se evaluó mediante la inhibición del crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* por medio de pruebas *in vitro*.

Para llevar a cabo las pruebas *in vitro*, el hongo fue obtenido de la colección del Laboratorio Postcosecha de Productos Vegetales UNAM. Éste se sembró en un medio de Agar-Papa-Dextrosa (PDA BD Bioxon) adicionado con aceite esencial de orégano como inhibidor en tres concentraciones (500, 750 y 1000 ppm). Se colocó un disco agar (0.8 mm de diámetro) infectado con el hongo ya desarrollado, en el centro de las cajas con el medio de cultivo (con aceite esencial) previamente solidificado, el centro fue definido con el origen de un cuadrante marcado en las cajas (Figura 8). Posteriormente las pruebas se incubaron durante 10 días a 25°C. El crecimiento micelial del hongo se evaluó durante este periodo en base al diámetro de las colonias y al control (medio de cultivo sin inhibidor), así como con un seguimiento fotográfico, los resultados se reportaron como el porcentaje (%) de inhibición micelial.



**Figura 8. Siembra de *Colletotrichum gloeosporioides* en pruebas *in vitro*.**



#### 4.6. Aplicación de recubrimientos en pepino

El proceso para la aplicación de los recubrimientos a base de cera de candelilla y los semicomerciales (F1 y F2) proporcionados por GBS Global S.A. de C.V. quienes han generado formulaciones biorgánicas de recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas en postcosecha a base de fitomoléculas activas de plantas del semidesierto contenidas en extractos vegetales, aceite de orégano, gomas y ceras, se muestra en la Figura 9, posteriormente se da la explicación de las etapas que componen este proceso.



Figura 9. Diagrama de proceso para la aplicación de recubrimientos en pepino.

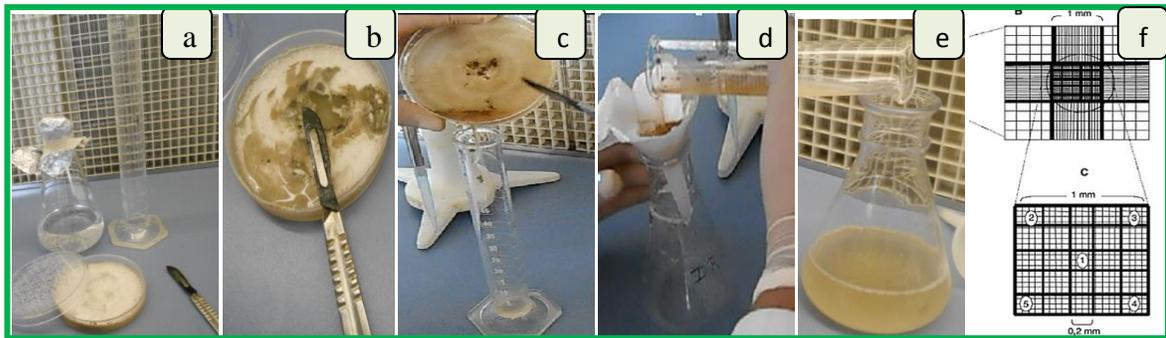


- Selección, lavado y desinfección

La selección del material biológico se realizó eliminando aquellos frutos que presentaron lesiones mecánicas, se aceptaron aquellos con apariencia firme, exentos de hongos y de color homogéneo con un peso promedio de 350 g y longitudes ecuatoriales y longitudinales promedio de 16 y 25 cm. Los pepinos se lavaron para eliminar excesos de suciedad y se desinfectaron por un minuto en agua clorada a 300 ppm, posterior a esto fueron sumergidos por 1 min en agua estéril para eliminar impurezas.

- Inoculación e incubación

El inóculo se preparó con una solución de tween 80 al 0.5% y esporas de *Colletotrichum gloeosporioides* (Figura 10). Para obtener las esporas se realizó la siembra del hongo en 10 cajas Petri, se dejó crecer por 10 días incubándolo a 25°C y finalmente éste se separó del agar con la ayuda de un bisturí y la solución de tween y fue filtrado para realizar el conteo de esporas en una cámara de Neubauer según la metodología de Pérez (2012).



**Figura 10. Procedimiento de preparación del inóculo: a) materiales, b) aplicación de tween c) separación de esporas d) filtrado del inóculo e) obtención del inóculo f) cámara de Neubauer.**

De los inóculos preparados se logró obtener concentraciones de  $70 \times 10^4$  y  $6.5 \times 10^6$  esporas/mL para infectar a los pepinos. Los frutos se infectaron por la aplicación directa de 1 mL de inóculo en el pedúnculo y posteriormente se les aplicó el recubrimiento a base de cera de candelilla y los recubrimientos semicomerciales respectivamente, finalmente se dejaron en incubación por 24 horas a 25 °C.



- Aplicación del recubrimiento a base de cera de candelilla y comerciales.

La aplicación de los recubrimientos se llevó a cabo a 25°C dentro de una zona estéril a las 24h posteriores de que transcurrió la incubación.

Los recubrimientos a base de cera de candelilla se aplicaron a temperatura ambiente (25°C) por frotación directa (2.5 mg de recubrimiento) en la superficie del pepino por 90 segundos, para lograr un espesor homogéneo, mientras que los recubrimientos semicomerciales F1 y F2 se aplicaron por inmersión, con un tiempo de inmersión de 3 minutos y un tiempo de escurrido de 2 minutos. Después de la aplicación de los recubrimientos, los pepinos se depositaron en rejillas desinfectadas para facilitar su secado por una corriente de aire forzado por 20 minutos.

Finalmente los pepinos tratados fueron almacenados en contenedores limpios y desinfectados a 13°C con una humedad relativa superior a 90% para realizar la evaluación de los parámetros de calidad, control de antracnosis (cada 5 días) y fisiológicos (cada 2 días) por 20 días.

### 4.7. Métodos analíticos

#### 4.7.1. Parámetros de calidad en pepino

- ❖ **Firmeza:** En la determinación de firmeza se utilizó un penetrómetro manual (marca TR Fruit Pressure Tester FT327) con punta cilíndrica de 8 mm de diámetro, para medir el esfuerzo necesario para vencer la resistencia que presenta la pulpa al introducir un émbolo de metal (Figura 11). Los resultados se expresaron como la fuerza necesaria para penetrar la pulpa N/mm (NMX-FF-014-1982).



Figura 11. Penetrómetro manual.

- ❖ **Determinación de sólidos solubles:** El contenido de sólidos solubles se determinó por lectura directa colocando una gota de jugo de pepino sobre el prisma de medición mediante un refractómetro de mano Marca Atago PAL-BX/RI (Figura 12) a 20°C. Los resultados se expresaron como °Brix (NMX-F-103-1982).



**Figura 12. Refractómetro de mano.**

- ❖ **Determinación de pérdida peso:** Para su determinación se registraron los cambios de peso de cada muestra en el día correspondiente a la evaluación con respecto al peso inicial de su almacenamiento (Hernández y col., 2003). Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento haciendo uso de una balanza digital modelo Scout Pro (Figura 13).



**Figura 13. Balanza digital.**

- ❖ **Determinación de color:** La determinación del color se llevó a cabo con un colorímetro CM-600d, (Marca Konica Minolta) en el exterior del pepino, se registraron los cambios en luminosidad, tono y croma mediante el sistema Hunter Lab, que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares (Figura 14), L representa la luminosidad desde la reflexión nula ( $L=0$ ) hasta la reflexión difusa perfecta ( $L=100$ ). Los valores L, a y b se utilizaron para calcular el tono (ángulo de Hue) donde Hue: 0=rojo-púrpura, 90=amarillo, 180=azul-verde y 270=azul, el ángulo Hue se calculó a partir de la ecuación  $h^a = \arctan(b/a)$ . El croma indica la intensidad del color o saturación del color, y se calculó por la ecuación  $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$  (McGuire, 1992).



**Figura 14. Colorímetro CM-600d.**

### 4.7.2. Parámetros fisiológicos

- ❖ **Medición de la respiración:** Se evaluó en función de la producción de  $CO_2$ , utilizando un sistema cerrado-estático, la generación de  $CO_2$  se registró mediante un analizador de gas



por infrarrojo marca Nitec (Figura 15). Los resultados se expresan en mg CO<sub>2</sub>/Kg de peso fresco\*hora (Trejo-Márquez y col., 2007).



Figura 15. Analizador de gases.

### 4.7.3. Control de antracnosis

❖ **Índice de decaimiento:** Los síntomas por el deterioro causado por la presencia de hongos se evalúan con la siguiente escala (Trejo-Márquez y col., 2007):

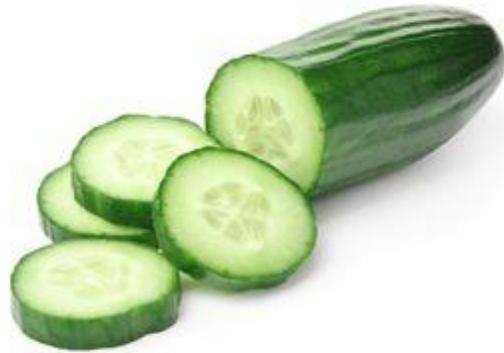
- 1.-No dañado
- 2.- Daño ligero (<25%)
- 3.- Daño moderado (>25 y < 50%)
- 4.-Daño severo (>50 y< 75%)
- 5.-Completamete dañado (75-100%)

Los resultados se expresan de acuerdo al nivel de daño expresado en esta escala.

❖ **Severidad de la enfermedad:** Es una estimación visual en la cual se establecen grados de infección sobre el tejido vegetal enfermo, los resultados se expresan como el área necrosada o enferma de un fruto (Morales, 2013).

### 4.8. Tratamiento de resultados

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente con un paquete estadístico SPSS Statistics 19, donde se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias con la prueba de rango múltiple Duncan con un nivel de significancia (0.05%).



# Resultados y Discusión

---



### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

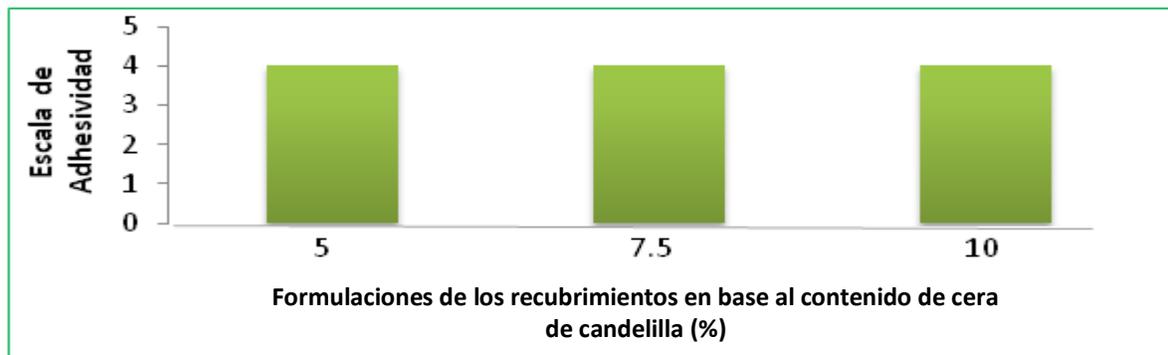
#### 5.1. Caracterización de recubrimientos a base de cera y polisacáridos

##### 5.1.1. Propiedades físicas

Los recubrimientos deben poseer propiedades mecánicas que garanticen la adecuada adhesividad a los alimentos y manipuleo de ellos sin el deterioro de los mismos como una adecuada flexibilidad, fuerza y resistencia. Además de brindar propiedades ópticas (brillo u opacidad) al producto (Baldwin y col., 2012). Por este motivo se realizaron mediciones subjetivas de adhesividad, estabilidad, homogeneidad y brillo en el recubrimiento.

##### ❖ Adhesividad

La adhesión de un recubrimiento se ha definido como un fenómeno físico que puede ser controlado por la fuerzas de humectabilidad debido a fuerzas interfaciales entre polímeros o por enlaces al producirse uniones (Embuscado y Huber, 2009). Esta propiedad fue evaluada en tres formulaciones a base de cera de candelilla como se puede observar en la Figura 16.



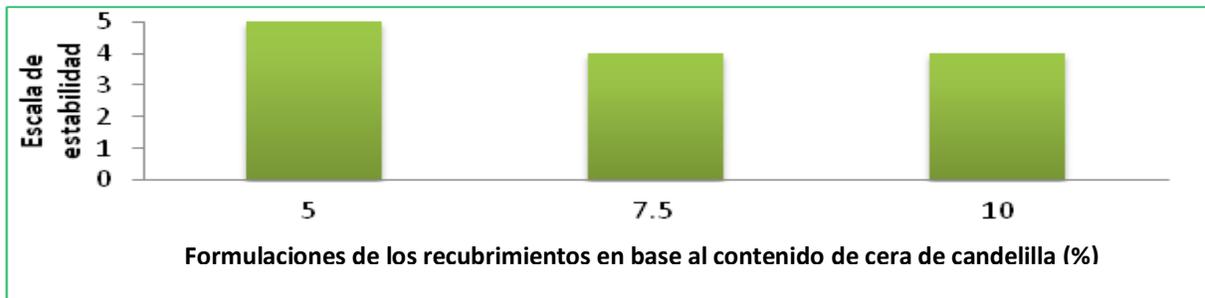
**Figura 16. Evaluación de adhesividad en recubrimientos a base de cera de candelilla.**

La adhesividad de los recubrimientos presentó el mismo comportamiento, obteniendo un valor de 4 dentro de la escala asignada que corresponde a un recubrimiento muy adhesivo, por lo que la variación de 0.5, 1.5 y 2.5% de carboximetilcelulosa (CMC) como material estructural en los respectivos recubrimientos (con 7.5, 10 y 5% de cera) no tuvo efecto en esta propiedad debido a que la naturaleza hidrofílica e hidrofóbica de estos permitió una adecuada adherencia de los componentes de cada recubrimiento, sin importar su polaridad.



### ❖ Estabilidad

Se ha demostrado que las propiedades de la solución del recubrimiento dependen en gran medida del material empleado y especialmente de su grado de cohesión, es decir, de la habilidad de formar numerosos y estables puentes moleculares que impiden una separación de fases (Aguilera, 2011). La estabilidad evaluada en los recubrimientos se muestra en la Figura 17.



**Figura 17. Evaluación de estabilidad en recubrimientos a base de cera de candelilla.**

El recubrimiento con 5% de cera presentó el valor más alto de estabilidad (5) que de acuerdo a la escala empleada se clasificó como extrema, mientras que la estabilidad de los recubrimientos con 7.5 y 10% de cera se designó como muy estable (4), siendo 20% más estable con respecto a las segundas, esto se debe a que este recubrimiento (con 5% de cera) fue el que tuvo el mayor contenido de hidrocoloide (2.5% CMC), que de acuerdo a su carácter hidrofílico actúa como ligante, espesante y estabilizante, además de que requiere un pequeño porcentaje de agua para formar soluciones muy viscosas, ya que tiene capacidad de espesar, gelificar u obtener soluciones estables, por su estructura polimérica y su alto peso molecular, además de que la presencia de grupos aniónicos en su estructura aumenta su polaridad y la solubilidad en agua (Embuscado y Huber, 2009).

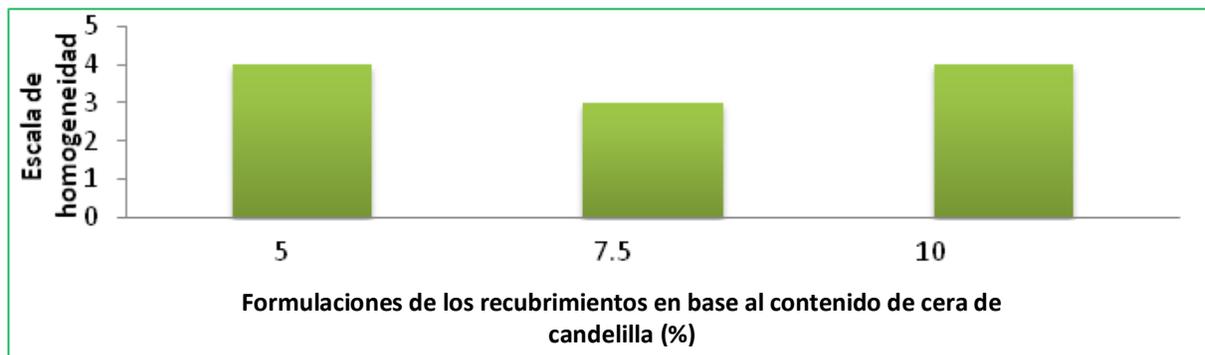
El recubrimiento con la menor cantidad de cera de candelilla (5%) presentó menores moléculas hidrofóbicas definiendo así su grado de interacción con el agua dentro de la emulsión de formación del recubrimiento. La cantidad de cera junto con la adición del plastificante y del agente emulsificante en la elaboración de los recubrimientos permitió generar mezclas homogéneas sin la separación de fases, es decir, la asociación de los componentes se ve reflejada en los niveles de estabilidad mostrados.



Como el recubrimiento debe brindar una buena cobertura en el pepino para mantener una apariencia uniforme y duradera, las formulaciones con 7.5 y 10% de cera fueron seleccionadas como las mejores, ya que la estabilidad extrema registrada en la formulación con 5% de cera puede modificar el aspecto del fruto, es decir, al aumentar su estabilidad su flexibilidad disminuye generando rupturas en el recubrimiento posteriores a su aplicación o debidas a la vibración o fricción durante el transporte del producto (Baldwin y col., 2012).

### ❖ Homogeneidad

Los mecanismos de formación de los recubrimientos incluyen fuerzas intermoleculares como enlaces covalentes (por ejemplo, los enlaces disulfuro) y/o interacciones electrostáticas, hidrófobas, o iónicas. La adición de plastificantes y emulsificantes a los recubrimientos interfieren en las interacciones de los componentes, y en la capacidad de formación del material, además de incrementar el trabajo de adhesión (Aguilera, 2011). La evaluación de la homogeneidad de los recubrimientos evaluados se muestra en la Figura 18.



**Figura 18. Evaluación de homogeneidad en recubrimientos a base de cera de candelilla.**

Los recubrimientos con 5 y 10% de cera de candelilla presentaron el mismo valor para esta propiedad, de acuerdo a la escala utilizada se clasificaron como recubrimientos homogéneos (4), mientras que el recubrimiento con 7.5% de cera se clasificó como poco homogéneo (3), siendo 25% menos homogéneo que los demás recubrimientos.

El recubrimiento con 10% de cera y menor contenido de plastificante (1%) presentó mejores características que los recubrimientos de las formulaciones con 5 y 7.5% de cera (que contuvieron el mismo contenido de glicerol 1.5%).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

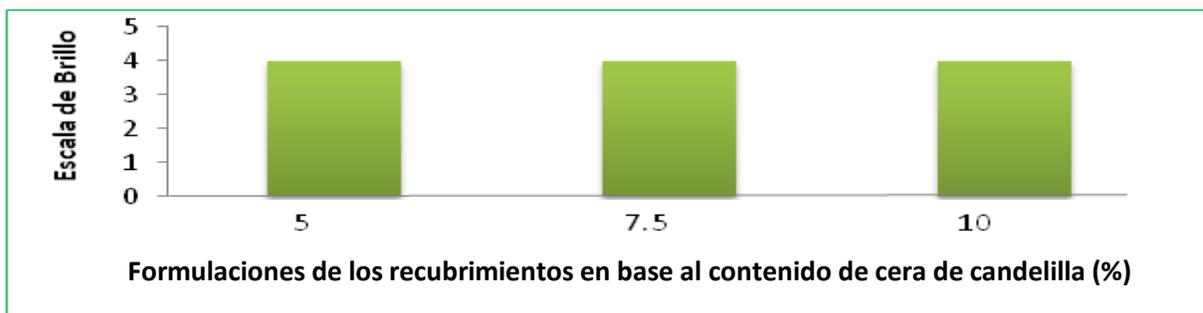
La homogeneidad de los recubrimientos se vio favorecida por la adición de Tween 80 como agente emulsificante y tensoactivo al permitir una adecuada distribución de las sustancias hidrofóbicas en los recubrimientos.

La variación en esta propiedad se atribuye a un cambio en los parámetros de preparación de la emulsión, como la velocidad y el tiempo de agitación y la adición de emulsificantes, a pesar de tener un procedimiento estandarizado, así como a los componentes de las formulaciones. Estos parámetros son factores importantes en la obtención de recubrimientos homogéneos además de que determinan su estabilidad (Falguera y col., 2011).

También, se ha reportado que la falta de adición de plastificantes (tales como glicerol, sorbitol y polietilenglicol) a los recubrimientos impiden formar recubrimientos homogéneos, ya que estos debilitan las interacciones moleculares del polímero incrementando su flexibilidad, favoreciendo la formación de una red estructural más homogénea (Baldwin y col., 2012).

### ❖ Brillo

La apariencia de los recubrimientos es de relevancia, ya que su aceptación comercial depende principalmente de este atributo. Un recubrimiento ideal se caracteriza por ser transparente, brillante y sin color. Una estructura incolora y homogénea libre de irregularidades se correlaciona bien con un recubrimiento transparente y brillante, la aplicación de recubrimientos comestibles mejora las características visuales y táctiles en las superficies del producto (Embuscado y Huber, 2009). El brillo fue evaluado dentro de las propiedades ópticas de los recubrimientos. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 19.



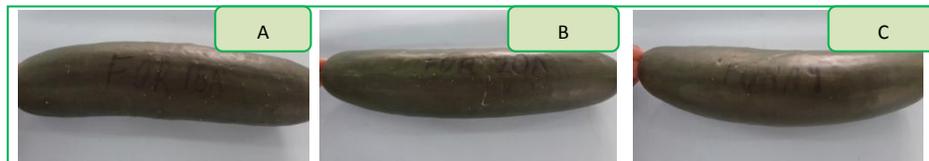
**Figura 19. Evaluación de brillo en recubrimientos a base de cera de candelilla.**



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El brillo de los recubrimientos evaluados no presentó diferencia, de acuerdo a la escala utilizada los recubrimientos se definieron como brillosos (4). El color y brillo de los recubrimientos comestibles varían significativamente dependiendo de la composición química y de la estructura de los materiales utilizados (Knee, 2002).

En esta evaluación se muestra que la composición de los recubrimientos no afectó negativamente a esta propiedad óptica, a pesar de que la cera de candelilla además de aportar brillo es de color café y la carboximetilcelulosa (CMC) en solución produce materiales transparentes. Para corroborar la apariencia física que proporcionan estos recubrimientos, se realizó su aplicación en los pepinos como se muestra en la Figura 20.



**Figura 20. Evaluación de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla en pepinos: A) formulación con 5% de cera, B) formulación con 7.5% de cera, C) formulación con 10% de cera.**

El brillo obtenido por la aplicación de los recubrimientos en los pepinos fue evaluado de acuerdo a la escala establecida para esta propiedad. Al aplicar los recubrimientos de las formulaciones con 7.5 y 10% de cera en los pepinos el brillo obtenido se clasificó como muy brillante (5), mientras que con la aplicación del recubrimiento de la formulación con 5% de cera (Figura 20.A) se clasificó como brillante (4), presentando 20% menos brillo que las otras dos formulaciones.

Baldwin y col. (2012) reportaron que el uso de recubrimientos comestibles a base de cera de candelilla aplicados a manzanas brindaron una apariencia natural, mientras que recubrimientos a base de goma laca y carnauba manifestaron un color blanquecino.

Con la aplicación de estos recubrimientos se corroboró que la combinación de cada elemento constituyente de los recubrimientos permitió mantener una adecuada apariencia de los pepinos, además de que la composición afectó considerablemente a esta propiedad ya que la menor cantidad de cera de candelilla modificó la apariencia de los pepinos en comparación con las demás formulaciones.



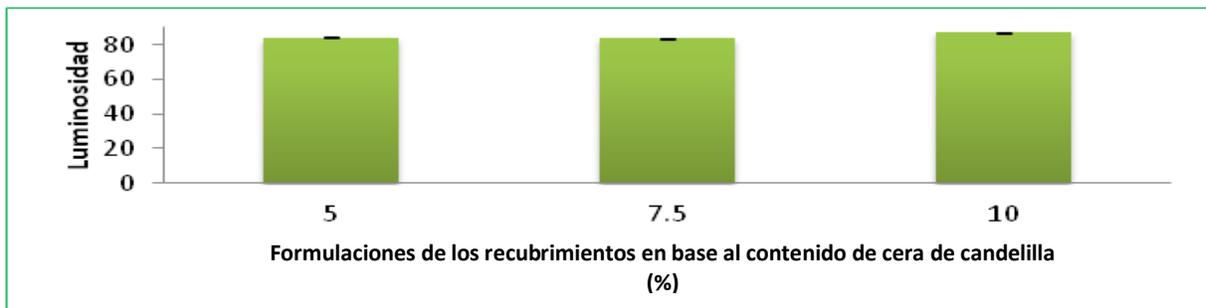
### ❖ Color

El color es una propiedad importante de los recubrimientos porque este puede afectar la aceptación del consumidor, los cambios en luminosidad, croma y tono de los recubrimientos se muestran a continuación.

- **Luminosidad**

La luminosidad es uno de los parámetros más importantes en un recubrimiento ya que está relacionado con las propiedades ópticas como el brillo y la opacidad (Caivano, 1995). En la Figura 21 se observa la evaluación de esta propiedad correspondiente a las tres formulaciones evaluadas.

El recubrimiento con 10% de cera de candelilla presentó el color más claro al tener la mayor luminosidad (L: 87.1). La luminosidad de los recubrimientos presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), ya que los recubrimientos con 5 y 7.5% de cera mostraron un color más oscuro siendo estos 3.1 y 3.8% menos luminosos que el recubrimiento con el mayor contenido de cera.



**Figura 21. Luminosidad (L) de recubrimientos a base de cera de candelilla. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

El aumento de luminosidad de los recubrimientos con 10% de cera se relaciona con su composición, ya que posee un mayor porcentaje de cera de candelilla la cual le proporcionó mejores características, con respecto al contenido de hidrocoloide, se obtuvo mayor luminosidad con un nivel intermedio de este y menor luminosidad con la menor cantidad de este.



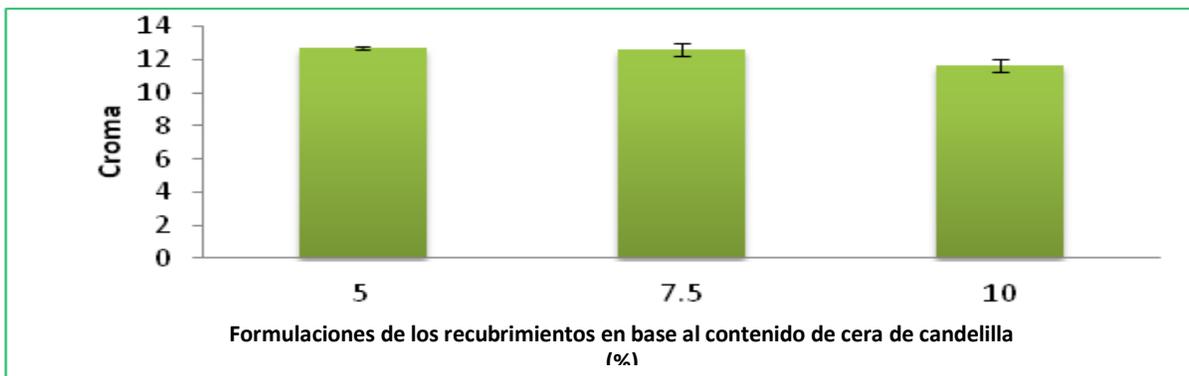
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto mostrado por el polisacárido concuerda por el obtenido por Ghanbarzadeh y Almasi (2011) quienes reportaron que al incrementar el contenido de carboximetilcelulosa (CMC) en películas a base de almidones modificados y CMC los valores de L incrementaron significativamente mejorando sus propiedades ópticas.

La disminución de la luminosidad con respecto al contenido de cera de candelilla fue similar al encontrado por Llovera y col. (2002) citado por Romero y col. (2011), reportando que formulaciones de cera de candelilla con diferentes porciones de lípidos e hidroxipropilmetilcelulosa, mostraron menor brillo y por lo tanto menor luminosidad al disminuir la proporción de cera de candelilla.

- **Croma**

El croma se refiere al aspecto que varía entre un color intenso o de máxima pureza y uno apagado o grisáceo, siempre y cuando pertenezcan al mismo tinte (Caivano, 1995). En la Figura 22 se observa que el recubrimiento con 5% de cera presentó el mayor croma (12.7), siendo este 8% mayor con respecto al croma del recubrimiento con 10% de cera que mostró un croma de 11.7; mientras que el recubrimiento con 7.5% de cera tuvo 0.8% menos croma que el recubrimiento con el 5% de cera, ya que reportó una intensidad del color de 12.6.



**Figura 22. Croma en recubrimientos a base de cera de candelilla. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

Las diferencias observadas fueron ocasionadas por las diversas tonalidades provocadas por los componentes de las formulaciones. El croma de los recubrimientos con 5 y 7.5% de cera presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al croma del recubrimiento con 10% de cera, esto se debió a que la concentración de cera de candelilla proporcionó un color



característico que fue evidente conforme la concentración fue aumentando, es decir, se obtuvieron mayores valores de croma con la menor cantidad de cera.

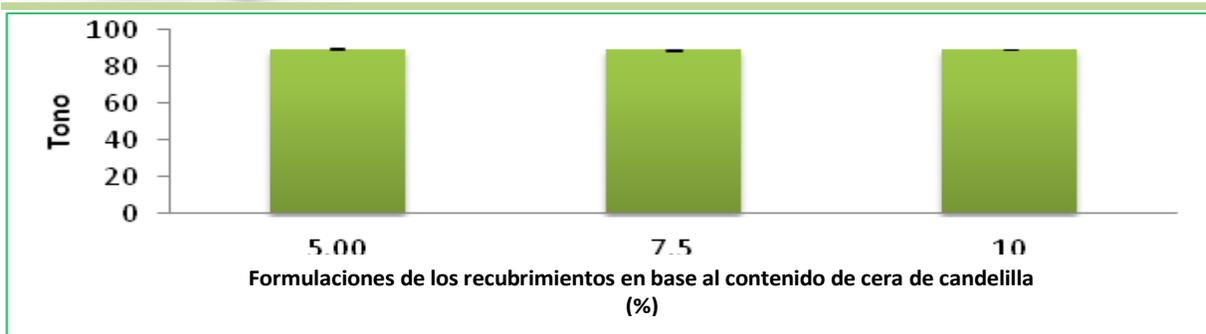
Al ocasionarse una variación en la intensidad del color, la apariencia de los frutos se puede ver afectada debido a que el estímulo del color es el que da respuesta a la aceptación o rechazo de un producto (Cheftel, 1983).

Con respecto a la luminosidad y croma evaluados en los recubrimientos se observó que se obtuvo la mayor luminosidad con el mayor contenido de cera de candelilla, mientras que con este mismo contenido de cera (10%) se obtuvo el menor croma, por lo que el recubrimiento con 10% de cera presentó mejores características con respecto a los demás, los cuales fueron menos luminosos y presentaron los valores más altos de croma que podrían modificar negativamente la apariencia del pepino.

- **Tono (°Hue)**

El tono o matiz es la característica que nos permite diferenciar entre un rojo, verde, amarillo, etc. es lo que comúnmente llamamos color (Navarro, 2007). En la Figura 23 se muestra que el recubrimiento con 10% de cera presentó el mayor tono (89.6 °Hue) y que el recubrimiento con 7.5% de cera el menor valor (89.4°Hue), mientras que el recubrimiento con 5% de cera obtuvo un valor intermedio, por lo que el tono no presentó diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ).

En esta evaluación el mayor tono se registró con el menor contenido de plastificante (glicerol) y la mayor cantidad de cera de candelilla (10%) esto indica que se logró una distribución homogénea entre los componentes presentes en la mezcla que se reflejó en el aumento del tono. La composición de las formulaciones no provocó grandes variaciones en el tono, esto se reflejó al no mostrar diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ), sin embargo, los ligeros cambios de tono corresponden a un color amarillo.



**Figura 23. Tono en recubrimientos a base de cera de candelilla. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

En trabajos con películas comestibles a base de almidones nativos de maíz y yuca se ha reportado que el contenido de plastificante influye en la evaluación del tono, esto se reflejó en formulaciones preparadas sin la adición de plastificante las cuales presentaron menores valores de tono con respecto a las que contenían un valor más alto de este aditivo (Caamal-Herrera y col., 2011).

Las formulaciones de los recubrimientos evaluados presentan la ventaja de mostrar mejores propiedades, ya que la cera de candelilla constituye una barrera al vapor de agua mientras que la carboximetilcelulosa lo es para los gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). Sin embargo, de acuerdo a las propiedades mostradas el recubrimiento con 10% de cera fue elegido como el mejor al presentar una adecuada adhesividad y estabilidad.

Según Olivas y Barbosa Cánovas (citado por Jongen, 2002) cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la emulsión y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. Una alta capacidad de adhesión asegura una larga duración del recubrimiento en la superficie de la fruta.

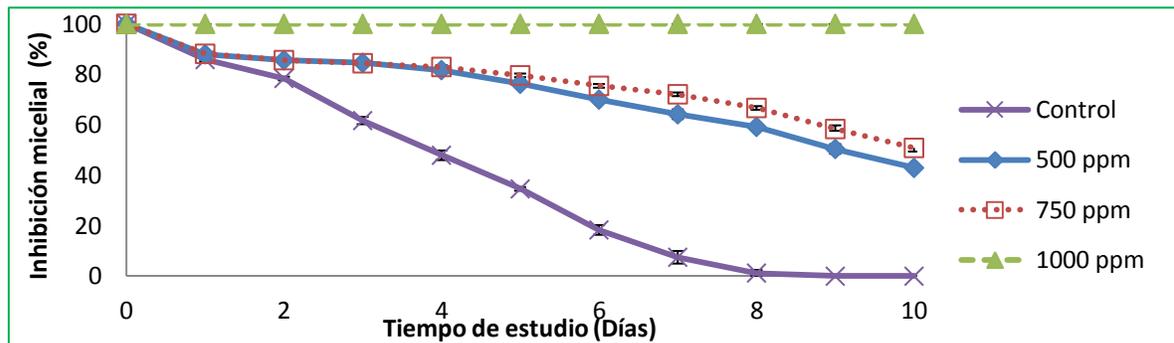
Con respecto a la estabilidad el recubrimiento con 5% de cera presentó las mejores características pero fue descartado por buscar un recubrimiento semi-liquido. Además, la homogeneidad fue un factor importante para descartar el recubrimiento con 7.5% de cera a pesar de que presentó la misma apariencia con respecto al brillo de los demás recubrimientos. Un alto valor de luminosidad así como una baja intensidad de color (Croma) que corresponden a un tono amarillo favorecieron la elección de este recubrimiento (con 10% de cera), el cual fue aplicado para evaluar el control de antracosis.



### 5.2. Evaluación de las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano

#### 5.2.1. Pruebas *in vitro* de las propiedades antifúngicas del aceite esencial de orégano

La contaminación microbiana puede ser prevenida por la incorporación de agentes antimicrobianos los cuales contienen compuestos activos que causan daños irreparables a las células de los microorganismos (Velazquez y col., 2008). El poder antifúngico del aceite esencial de orégano fue evaluado a través del porcentaje de inhibición micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* los resultados obtenidos se muestran en la Figura 24.



**Figura 24. Porcentaje de inhibición del aceite esencial de orégano en pruebas *in vitro* a tres distintas concentraciones (500, 750 y 1000 ppm). Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

La adición de aceite esencial de orégano a 1000 ppm presentó el máximo porcentaje de inhibición (100%) durante los 10 días de evaluación, se observó que el porcentaje de inhibición estuvo en función de la concentración de aceite utilizado.

A partir del 8vo. día la prueba control registró un descenso en el porcentaje de inhibición del 1.25 al 0% para el final de la evaluación, el mismo comportamiento se observó para las concentraciones de 750 y 500 ppm las cuales iniciaron con el 100% de inhibición, registrándose un porcentaje de inhibición del 51 y 43 % respectivamente al día 10, estas últimas concentraciones no mostraron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en su % de inhibición. De acuerdo al análisis estadístico realizado las diferentes concentraciones evaluadas presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el porcentaje de inhibición a partir del día 1. Siendo la concentración más baja de aceite (500 ppm) la que presentó la menor inhibición del hongo.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La actividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano como agente antimicrobiano se debe a que sus principales componentes activos (carvacol y timol) atacan a la pared y a la membrana celular, a enzimas metabólicas y a la síntesis de proteínas; estos son puntos esenciales para el desarrollo celular, por lo tanto si uno es atacado o inactivado la velocidad de crecimiento del microorganismo se ve minimizada (Rodríguez, 2011).

Aligiannis y col. (2001) reportaron que los valores de la concentración mínima inhibitoria (CMI) para los aceites esenciales se ha establecido entre 0.28-1.27 mg/L para bacterias y de 0.65-1.27 mg/L para hongos como *Aspergillus niger*. Mientras que un estudio realizado para probar las concentraciones más bajas de aceites esenciales que causaran el 100% de inhibición contra una variedad de patógenos en postcosecha reportó que el aceite esencial de orégano de la especie *Origanum majorana* inhibió el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en aguacate y mango con concentraciones de 3000 y 2000  $\mu$ /L respectivamente (Combrinck y col., 2011).

Sin embargo, para este estudio la concentración mínima inhibitoria utilizada para contrarrestar el efecto de la antracnosis causada por el ataque de *Colletotrichum gloeosporioides* en pepino fue de 1000 ppm al mostrar una inhibición del 100% en su crecimiento, como se puede ver en la Tabla 13, donde se aprecia la inhibición del aceite esencial de orégano contra el crecimiento del hongo registrado durante diez días.

El crecimiento del hongo tuvo una tendencia a aumentar, pero fue inhibido con la aplicación del aceite de orégano en comparación con el control. También se observó que las concentraciones de 500 y 750 ppm mostraron similitud en el crecimiento micelial del patógeno evaluado a partir del quinto día con respecto a la prueba control y a la concentración de 1000 ppm.

La identificación tradicional y caracterización de especies de *Colletotrichum* se ha basado principalmente en las diferencias morfológicas características tales como color de la colonia, tamaño y forma de conidios, etc. El crecimiento del hongo se caracterizó por la formación de anillos concéntricos con una rápida y abundante esporulación de color naranja y con micelio de color blanco (Photita y col., 2005).



Tabla 13. Apariencia visual de pruebas *in vitro* con *Colletotrichum gloeosporioides* y aceite esencial de orégano a diferentes concentraciones.

Concen- -tración	Día									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Control										
500 ppm										
750 ppm										
1000 ppm										



A pesar de que existen concentraciones de diversos aceites esenciales, ya reportadas con poder antifúngico, la evaluación de las pruebas *in vitro* fue necesaria para corroborar la efectividad del aceite esencial de orégano; así como para establecer la concentración requerida para inhibir el crecimiento del hongo, ya que los componentes activos de los aceites esenciales pueden variar según la especie y composición, ésta puede verse afectada por ciertas variables como la metodología de extracción, condiciones ambientales de cultivo, localización geográfica, etc. Además de que el efecto de la temperatura es muy importante durante la incubación ya que en la mayoría de los casos, el incremento de la temperatura de exposición incrementa la actividad del antimicrobiano (Rodríguez, 2011).

### **5.3. Evaluación de recubrimientos comestibles a base de cera de candelilla adicionados con aceite esencial de orégano para el control de antracnosis en pepino**

#### **5.3.1. Efecto de los parámetros de calidad**

Cuando el consumidor detecta modificaciones en los frutos por la presencia de hongos tiende a eliminar el consumo de estos, por lo tanto, la evaluación de los parámetros de calidad y fisiológicos en los pepinos recubiertos se decidió realizar solo en pepinos sin inocular, considerando que la presencia del hongo tiene una relación directa con la disminución de estos parámetros al necesitar sustratos para su desarrollo y crecimiento. Ya que la calidad del pepino se basa principalmente en la uniformidad de forma, la firmeza, el color verde oscuro de la piel, la ausencia de defectos de crecimiento, pudriciones o amarillamiento (Namesny, 1999).

##### **5.3.1.1. Determinación de firmeza**

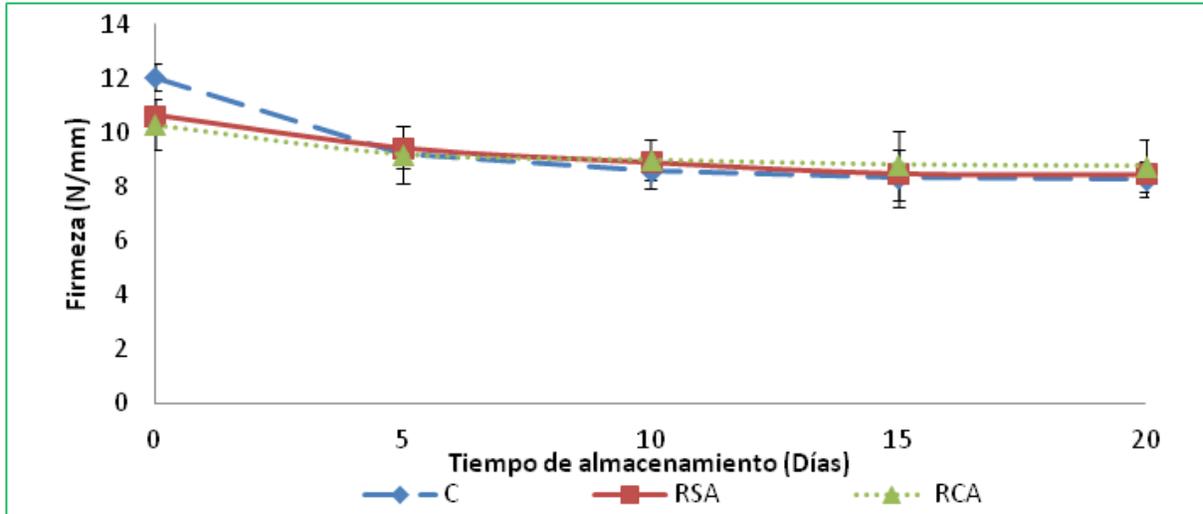
La firmeza es un atributo de la textura de las frutas y vegetales que está relacionada con el punto de cosecha, la calidad para su comercialización y procesamiento. La firmeza está ligada con los cambios físicoquímicos y estructurales del material biológico, así como con los diferentes estados durante el proceso de maduración, es un factor importante para definir la calidad de la fruta y de gran aceptabilidad para el consumidor (Valero y Serrano, 2010).

Es deseable que las frutas, una vez cosechadas, mantengan un alto grado de resistencia mecánica para protegerlas de los daños durante su manipulación posterior a la cosecha. Un pepino firme es signo de frescura, esto permite asegurar un mayor período de



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

almacenamiento y una mejor llegada a su destino (PHTS, 2004). En la Figura 25 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla sobre la evolución de la firmeza en pepinos.



**Figura 25. Efecto de diferentes recubrimientos en la firmeza de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

Los pepinos con los diferentes tratamientos registraron una disminución en la firmeza (Figura 25) con respecto al tiempo de almacenamiento. Al inicio de la evaluación (día 0) se registró una firmeza de 12.04 N/mm en los pepinos sin recubrir (control), siendo esta 14.4 y 11.9% mayor que la firmeza de los pepinos con el recubrimiento con y sin la adición de aceite que registraron una firmeza de 10.3 y 10.6 N/mm respectivamente, por lo que hubo diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en su firmeza de este día, contrario a la firmeza de los pepinos evaluada a partir del día 5 de estudio hasta el final del mismo, donde se registró una disminución de la firmeza del 31.2% para los pepinos control y de 20% para los frutos con el recubrimiento sin la adición de aceite, mientras que en los tratados con el recubrimiento adicionado con aceite (RCA) la firmeza disminuyó a 8.8 N/mm equivalente al 15%.

A lo largo del almacenamiento se observó que los tratamientos evaluados no presentaron una variación significativa en la firmeza de los pepinos con respecto a su control, sin embargo, se observa que la aplicación del recubrimiento adicionado con aceite ayudó a mantener la firmeza al final de la evaluación.



La firmeza de las frutas depende de los componentes estructurales del fruto, las microfibrillas de celulosa y diversas hemicelulosas, xilanos, pectinas y ligninas son responsables de la estructura y rigidez característica de las frutas (Gil, 2010).

La degradación de las pectinas y las hemicelulosas debilita a las paredes celulares y a las fuerzas de cohesión que mantienen unas células unidas a otras con el consiguiente ablandamiento del fruto (Muy y col., 2004). Los resultados obtenidos concuerdan con las observaciones realizadas por Pérez y col. (2003) en melón recubierto con cera comestible, reportando que la firmeza disminuyó en función del tiempo de almacenamiento; por su parte Dávila-Aviña y col. (2012) observaron que la aplicación de recubrimientos a base de cera de carnauba y aceite mineral redujeron significativamente las pérdidas de agua y de firmeza en tomate.

De acuerdo a los resultados los frutos recubiertos con su correspondiente control tuvieron un comportamiento similar en los últimos días de evaluación, por lo que se deduce que la aplicación del recubrimiento con o sin aceite a base de cera mejoró en gran medida a este parámetro al mostrar menores porcentajes de pérdida de firmeza que los frutos control.

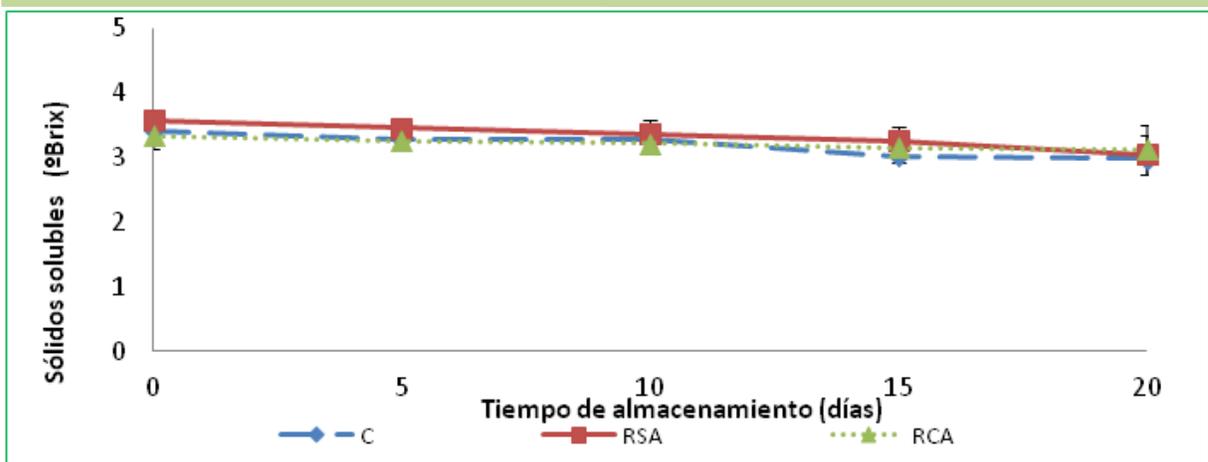
### **5.3.1.2 Determinación de sólidos solubles.**

El momento de la recolección está condicionado por el comportamiento climatérico o no climatérico del producto, paralelo a este momento el fruto lleva a cabo el proceso de maduración en el que los frutos generan cambios químicos en los carbohidratos de la pared celular, que al degradarse incrementan el nivel de azúcares contribuyendo a mejorar la palatabilidad del fruto (Figueroa y col., 2011).

Los sólidos solubles están conformados fundamentalmente por azúcares reductores y no reductores, sales y ácidos orgánicos; Están estrechamente ligados a la maduración del fruto y su concentración se expresa como °Brix (Navarrete, 2009). Los pepinos son frutos no climatéricos, por lo que se considera que el proceso de maduración termina al ser recolectados, caracterizándose por presentar valores bajos de °Brix una vez cosechados (Muy y col., 2011). En la Figura 26 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla sobre el cambio de sólidos solubles en pepinos.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 26. Efecto de diferentes recubrimientos en los sólidos solubles de pepino. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

Los valores de sólidos solubles (Figura 26) oscilaron en un rango de 3-4°Brix en el día cero, el valor más alto fue de 3.6°Brix correspondiente a los frutos con el recubrimiento sin la adición de aceite, seguido de los pepinos control con 3.4°Brix y de los frutos con el recubrimiento adicionado con aceite que presentaron 3.3°Brix. Los sólidos solubles de los frutos control y de los frutos con los recubrimientos con y sin la adición de aceite presentaron diferencia significativas ( $P \leq 0.05$ ) los días 5 y 15.

Se puede observar que los sólidos solubles de los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite y de los pepinos control mantuvieron un comportamiento similar durante el almacenamiento, mientras que los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite presentaron los mayores niveles de °Brix, sin embargo, en el último día de almacenamiento los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite registraron el valor más alto de 3.1°Brix, presentando 3.2% más sólidos solubles que los pepinos con el recubrimiento sin aceite y que los pepinos control en los que se registró la misma disminución de sólidos solubles alcanzando un valor de 3°Brix.

Los valores obtenidos de los sólidos solubles corresponden a los reportados por Cortés y col. (2011) y Muy y col. (2004) (citados por Moreno y col., 2013) quienes reportaron valores de 3.3°brix en pepino fresco *cv. Cohombro*. y valores de 2.5 a 4 de °Brix en frutos de pepino *cv. Conquistador*, encerados manualmente (cera comercial Decco ®).



La aplicación de los recubrimientos tuvo un efecto benéfico en los sólidos solubles de los pepinos, ya que el grupo control perdió más sólidos solubles (11.8%) debido a la falta de una barrera de protección que disminuyera la liberación o utilización de compuestos solubles para continuar con el proceso de transpiración, el cual continua durante el proceso evolutivo del fruto y está relacionado con la degradación oxidativa de los azúcares (Gil, 2010), mientras que los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite registraron un descenso del 6% con respecto a los valores de sólidos solubles iniciales.

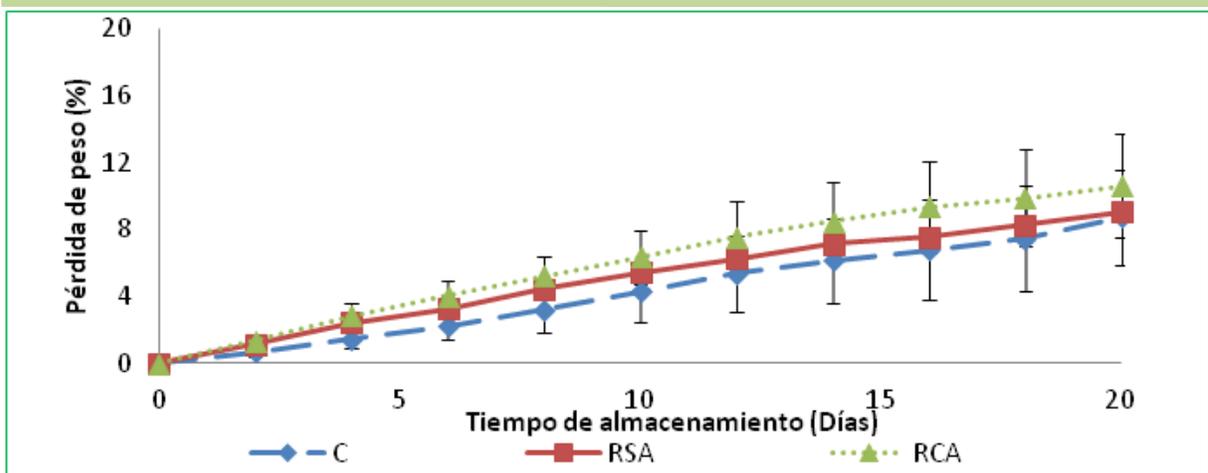
### 5.3.1.3. Pérdida de peso

La pérdida de agua es una de las causas más importantes del deterioro durante el almacenamiento. Esta pérdida de agua de los tejidos vivos se conoce como transpiración la cual debe ser reducida al mínimo para evitar la pérdida de peso, el encogimiento y el marchitamiento del producto (Hardenburg y col., 1988). Diversos autores consideran que los síntomas de pérdida de agua en frutas y hortalizas llegan a ser evidentes cuando pierden entre 5 y 10% de su peso debido a la transpiración y a las características estructurales de los tejidos (Muy y col., 2011).

En la Figura 27 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla sobre la pérdida de peso de pepinos, iniciando con una pérdida nula (0%) para todos los pepinos evaluados en el primer día de almacenamiento. Los pepinos presentaron pérdidas de peso en un rango de 8 a 11%; Los pepinos sin recubrimiento registraron pérdidas de peso superiores al 5% a partir del día 12, mientras que los pepinos tratados con los recubrimientos con y sin la adición de aceite registraron dicha pérdida de peso a partir del día 8 y 10 respectivamente.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 27. Efecto de diferentes recubrimientos en la pérdida de peso de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

La pérdida de peso de los pepinos recubiertos y sin recubrir no registró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) durante el tiempo de almacenamiento. Se observó que los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite presentaron la mayor pérdida de peso al final del almacenamiento con un valor de 10.6%, superando en un 18% al grupo control en el día 20 en el que se alcanzó una pérdida del 8.7%.

Se ha reportado que el mecanismo principal de la pérdida de humedad en frutas frescas y vegetales, es por difusión del vapor de agua, debido a un gradiente de presión entre el interior y exterior del fruto. Los recubrimientos sobre la superficie de los frutos actúan como barreras a la difusión del vapor de agua, lo que se traduce en menores tasas de pérdida de humedad (Mafttoonazad y Ramaswamy, 2005).

Los valores de pérdida de peso se relacionan con diversos estudios donde su valor se incrementa durante el período de estudio, sin embargo, los valores obtenidos con la aplicación de recubrimientos se contradicen al registrar mayores pérdidas de peso en los frutos con recubrimiento, ya que se ha observado que el uso de recubrimientos comestibles disminuye estas pérdidas (Dávila-Aviña y col., 2012).

La alta resistencia al agua de los recubrimientos a base de lípidos debido a su naturaleza hidrofóbica se ha demostrado en la aplicación de éstos en diversos frutos (Aguilera, 2011). Ochoa y col. (2011) reportaron que el uso de cera de candelilla en manzanas Golden Delicious



extendió y mejoró la calidad de vida de éstas hasta por 8 semanas sin afectar los parámetros de calidad, mientras que Mafttoonazad y Ramaswamy (2005) reportaron disminuciones de hasta el 50% en la pérdida de humedad para aguacate con recubrimientos a base de metilcelulosa.

Sin embargo, los frutos tratados con los recubrimientos comestibles adicionados o no con aceite esencial de Orégano tuvieron mayores pérdidas de peso en comparación con sus controles, estas pérdidas de peso obtenidas en los pepinos se atribuye a la formación de una inadecuada barrera en la superficie del fruto con la que se debió bloquear los poros de la epidermis para restringir el transporte de vapor de agua al exterior del pepino, concordando con Pérez y col. (2003) quienes reportan que la efectividad de un recubrimiento depende de su composición, concentración y aplicación.

Además de que no todos los productos pierden agua con la misma intensidad cuando se almacenan bajo condiciones semejantes (humedad relativa alta). La cantidad pérdida difiere según sea el tipo de tejido que protege la superficie expuesta y según sea el área por unidad de volumen (Hardenburg y col., 1988).

También se ha reportado que pérdidas de humedad del 3 al 6% son suficientes para producir un marcado desmejoramiento de la calidad en muchos productos y muy pocos pueden perder hasta el 10% o más y resultar aún comerciales (Hardenburg y col., 1988). En este caso se considera que los pepinos con pérdidas menores o iguales al 10% aún son comerciales al no registrarse síntomas de ablandamiento ni marchitamiento asociados con las pérdidas de humedad.

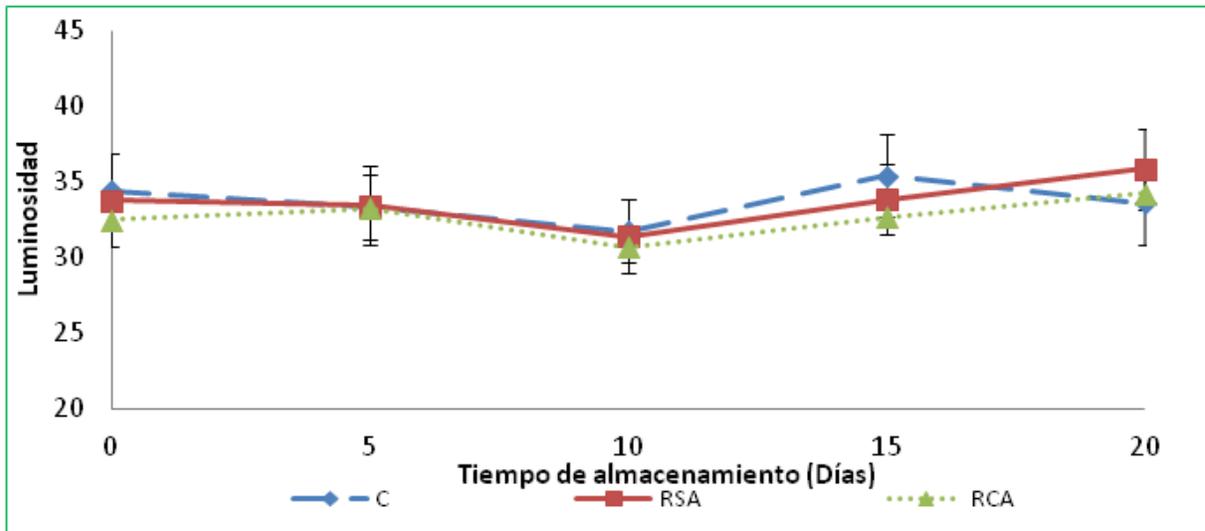
#### **5.3.1.4. Color**

El color es el cambio más obvio que se presenta en muchos frutos y es a menudo, el principal criterio utilizado por los consumidores para determinar si un fruto está maduro o no. Los cambios de color durante la maduración de la mayoría de los frutos, son producto, principalmente, de la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos tales como carotenoides y antocianinas (Knee, 2002). Debido a que los recubrimientos en frutos pueden crear una atmósfera modificada en la superficie de los mismos, se pueden generar cambios negativos en el color de éstos, afectando su calidad (Figuroa y col., 2011).



- **Luminosidad**

La luminosidad es un parámetro que nos permite describir objetivamente los cambios de color en los frutos (González y Guzmán, 2011). En la Figura 28 se puede observar los cambios ocasionados en la luminosidad de pepinos por la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla.



**Figura 28. Efecto de diferentes recubrimientos en la luminosidad de pepino. Donde control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

La aplicación de los recubrimientos en los pepinos (Figura 28) disminuyó su luminosidad en el día cero, registrándose el valor más alto de L (34.4) para los pepinos sin recubrir; la aplicación del recubrimiento sin la adición de aceite (RSA) redujo la luminosidad de los pepinos en un 1.7%, mientras que la aplicación del recubrimiento con la adición de aceite (RCA) la disminuyó en un 5.5%, obteniendo un valor de L de 32.5. Estadísticamente se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la luminosidad evaluada los días 0, 15 y 20 de los pepinos con y sin recubrimiento.

A partir del 10 de almacenamiento se registró un aumento de luminosidad de los pepinos, sin embargo, en el último día de evaluación (día 20) la luminosidad de los pepinos sin recubrir disminuyó en 6.1% con respecto a luminosidad de los pepinos tratados con el recubrimiento sin la adición de aceite que obtuvo la mayor luminosidad correspondiente a 35.8, mientras que



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la luminosidad de los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite disminuyó en un 4.5%.

La aplicación de los recubrimientos en los pepinos mejoró notablemente la luminosidad de los pepinos al final del almacenamiento, registrándose un aumento de la luminosidad del 5.6% para los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite y de 5% para los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite, con respecto al primer día de evaluación, sin embargo, el grupo control presentó una disminución del 2.3%.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Maftoonazad y Ramaswamy (2005) quienes evaluaron un recubrimiento a base de metilcelulosa en aguacate, encontrando valores de luminosidad más altos en aguacates recubiertos con respecto a su control, y con los obtenidos por Dávila-Aviña y col. (2012) quienes evaluaron los cambios en luminosidad ocasionados por el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de carnauba y aceite mineral en tomates, y registraron valores de L más altos con el recubrimiento de aceite mineral seguido por el de cera de carnauba en comparación con los frutos testigos.

La disminución de los valores de L mostrados en los pepinos sin recubrir se asocia a la pérdida de brillo en los frutos, ya que el valor de L va desde una reflexión nula ( $L=0$ ) a una reflexión difusa perfecta (González y Guzmán, 2011).

- **Croma**

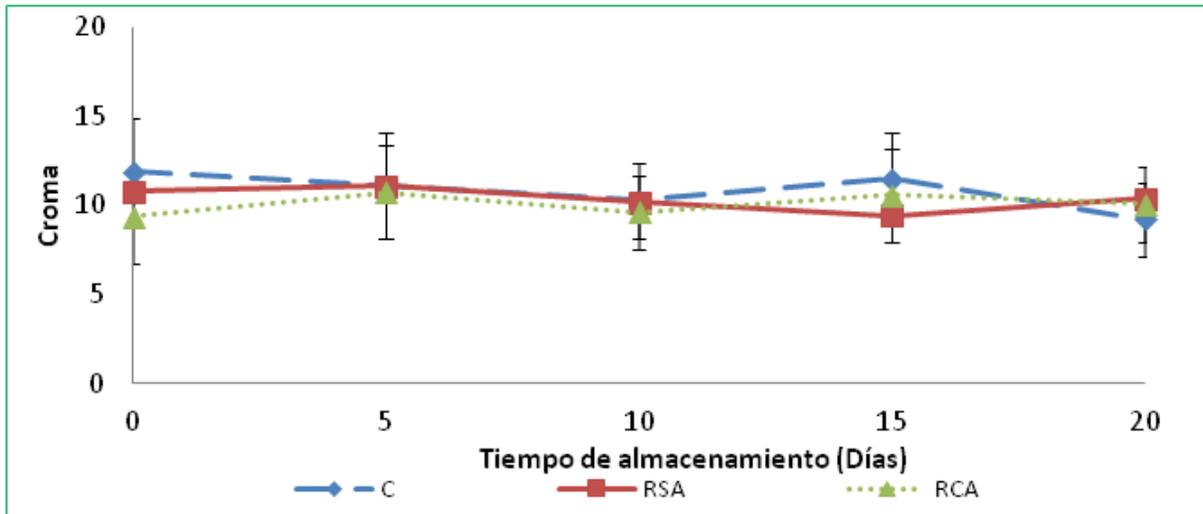
El croma representa la saturación del color (Caivano, 1995). En la Figura 29 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla en la cromaticidad de pepinos.

La aplicación de los recubrimientos disminuyó los valores de croma de los pepinos (Figura 29) al inicio de la evaluación, efecto semejante al descrito con la evaluación de la luminosidad, los pepinos sin recubrimiento presentaron el mayor valor de croma correspondiente a 11.9 en el día cero, seguido de los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite que presentaron una disminución del croma del 9.3% y de los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite con 21% menos croma, presentando diferencia



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el croma de los pepinos con y sin recubrimiento evaluado los días 0 y 15.



**Figura 29. Efecto de diferentes recubrimientos en la cromaticidad de pepino. Donde control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

En el día 15 se observó un ligero aumento en los valores de croma, sin embargo, para el último día de evaluación el croma de los pepinos sin recubrimiento y el de los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite disminuyó 22.7 y 3.7% respectivamente, de acuerdo a sus valores iniciales, el croma de los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite también disminuyó en un 6%, a pesar de que los valores de croma disminuyeron para el día 20 los pepinos tratados con el recubrimiento sin la adición de aceite registraron el croma más alto en este día correspondiente a 10.4 indicando la presencia de un color más fuerte.

El descenso del croma en los pepinos sin recubrir (Controles) coincide con los resultados mostrados en pimientos campana (Verdes) por Ochoa-Reyes y col., (2013) quienes evaluaron tres recubrimientos comestibles: goma arábica-cera de candelilla, pectina-cera de candelilla y goma xantana-cera de candelilla en los cambios de color del pimiento, y reportaron que los frutos sin tratamiento sufrieron grandes cambios en su coloración concluyendo que estos recubrimientos permiten mantener las características del fruto.

Se observó que los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite mostraron un croma más alto al final de almacenamiento, a pesar de que los valores de croma descendieron con

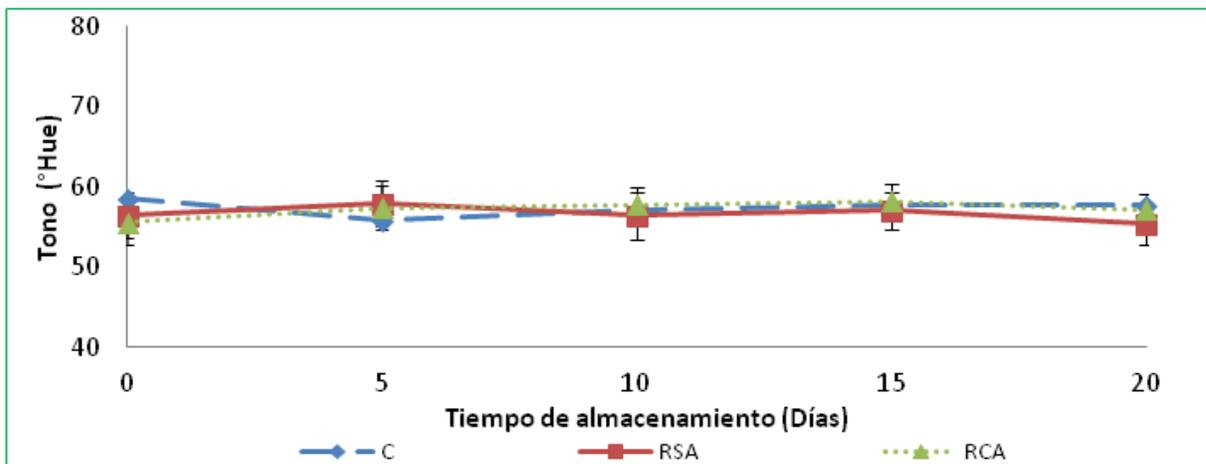


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

respecto a los valores iniciales por lo que se deduce que la aplicación del recubrimiento adicionado con aceite modificó su apariencia al obtener colores menos intensos. Estos resultados son contrarios a los obtenidos por Salvador y col. (1999) y Aguilar (2005) citados por Figueroa y col. (2011) quienes reportaron que el uso de un recubrimiento simple de quitosán mostró un efecto benéfico en la conservación de la clorofila de las superficies de los aguacates, mejorando la calidad organoléptica y la apariencia visual.

- **Tono**

El color define principalmente el valor estético de un alimento, determinando las expectativas de los consumidores como el sabor (Gil, 2010). En la Figura 30 se puede observar el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla en la tonalidad ( $^{\circ}$ Hue) de pepinos.



**Figura 30. Efecto de diferentes recubrimientos en la tonalidad de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

En el primer día de almacenamiento (Figura 30) se registraron valores de ángulo de tono en un rango de 55 a 59  $^{\circ}$ Hue, en el que los frutos control registraron un valor de 58.5 $^{\circ}$ Hue superando en un 5% y en un 3.6% al tono de los pepinos tratados con los recubrimientos con y sin la adición de aceite. El tono evaluado de los pepinos con y sin recubrimiento registró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) únicamente en el día 15.

Durante el almacenamiento se observó un ligero incremento en los valores del ángulo de tono, sin embargo, se registró un descenso en los valores de tono de los pepinos sin recubrir y de los tratados con el recubrimientos sin la adición de aceite al final del almacenamiento con



respecto a sus valores iniciales, obteniendo una disminución del 1.4% y 1.8% respectivamente, sin embargo, los frutos con el recubrimiento con la adición de aceite esencial registraron un aumento del 2.8%.

Los cambios de tono presentados en los frutos recubiertos está relacionado con el efecto del recubrimiento al crear una atmosfera modificada dentro de la fruta, donde la presencia de CO<sub>2</sub> en la atmosfera de almacenamiento es un factor importante en la prevención de la degradación de la clorofila que puede ser una característica del inicio de la senescencia y muerte de los tejidos (Velázquez y col., 2008).

Se ha demostrado que los recubrimientos también pueden ayudar a retardar los cambios de color, ya sea por su naturaleza funcional en retardar la respiración o como portador de sustancias que favorecen o impiden los cambios de color, además de mejorar el aspecto del fruto (Baldwin y col., 2012).

### 5.3.2. Efecto de los parámetros fisiológicos

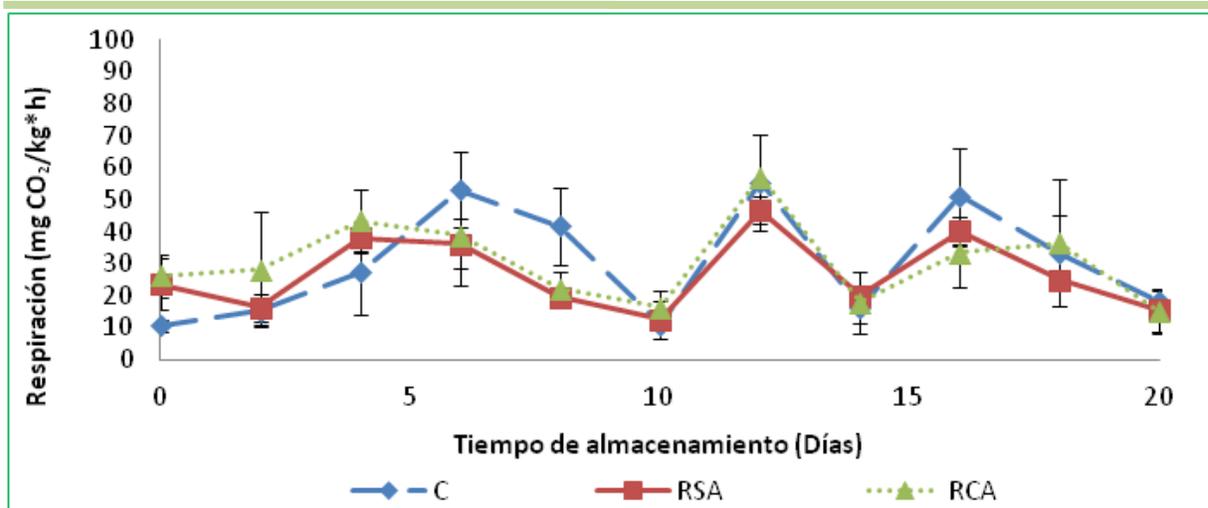
El pepino al igual que todas las frutas y hortalizas, continúa sus procesos bioquímicos y fisiológicos durante la maduración y posteriormente la senescencia. Algunos de estos procesos incluyen a la velocidad de respiración que es un aspecto importante para mantener su calidad postcosecha (PHTS, 2004).

#### 1.3.2.1. Respiración

La respiración es un proceso metabólico que provee energía a los procesos bioquímicos de la planta, en el cual las células transforman los materiales orgánicos del fruto (carbohidratos, proteínas y lípidos) en productos más simples con desprendimiento de energía, consumo de oxígeno (O<sub>2</sub>) y formación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Dentro de los factores más importantes que afectan la velocidad de respiración y en consecuencia la aparición e intensidad de la senescencia son la temperatura y la composición de la atmósfera de almacenamiento (Ullua, 2007). En la Figura 31 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de candelilla sobre la velocidad de respiración de pepinos.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 31. Efecto de diferentes recubrimientos en la respiración de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

La modificación causada en la superficie de los pepinos al aplicar los recubrimientos (Figura 31) se observó al inicio del almacenamiento (día cero), registrando una mayor respiración en los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite (26.1 mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora), seguida de la respiración de los pepinos tratados con el recubrimiento sin la adición de aceite (23.7mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora), mientras que los pepinos sin recubrimiento registraron la respiración más baja correspondiente a 10.6 mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora, registrándose diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la respiración de estos tratamientos en este día (día 0) y en el día 8.

Al final del almacenamiento (día 20) los pepinos sin recubrimiento presentaron mayor respiración, superando en un 17.7% y en un 15% a la respiración de los frutos tratados con los recubrimientos con y sin la adición de aceite respectivamente, siendo estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ).

Finalmente, los pepinos tratados con los recubrimientos con y sin la adición de aceite presentaron una disminución del 42.5% y del 35% en su respiración con respecto a los valores obtenidos en el día cero, por su parte la respiración de los pepinos sin recubrir aumento en un 41.3%.

Estos resultados coinciden con los descritos por Maftoonazad y col. (2007) quienes evaluaron el efecto de un recubrimiento a base de pectina en aguacates y observaron que las muestras sin



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

recubrir registraron un aumento en la respiración con respecto a las muestras recubiertas las cuales presentaron menores valores de respiración ( $\text{mg CO}_2/\text{Kg}\cdot\text{h}$ ).

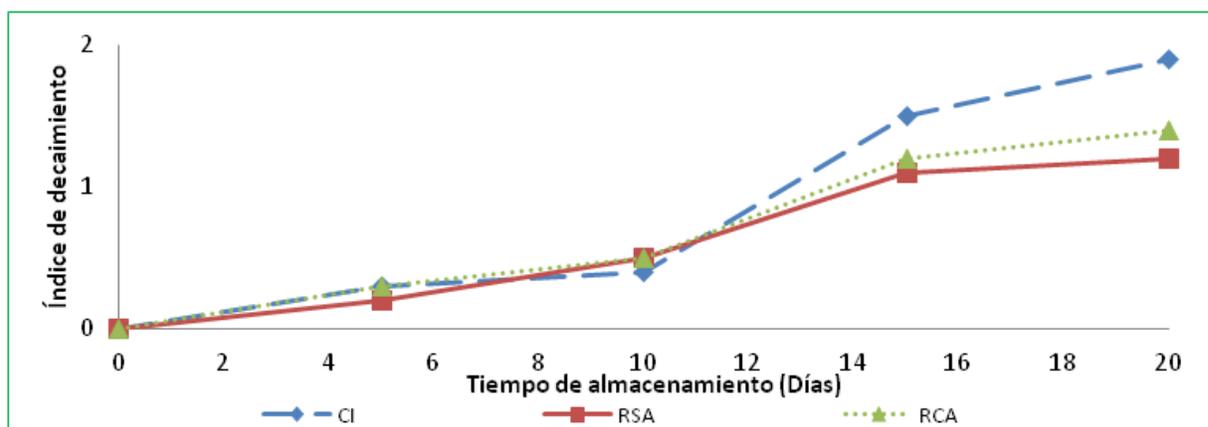
La aplicación del recubrimiento a base de cera de candelilla permitió reducir la velocidad de respiración en los tratamientos, por lo que resulta viable para reducir los procesos bioquímicos del pepino, debido a los cambios ocasionados en la atmosfera interna del fruto la cual fue modificada al aplicar el recubrimiento en la superficie del fruto.

### 5.3.3. Control de Antracnosis

La antracnosis se manifiesta con una diversidad de daños y síntomas en diferentes frutales tropicales y subtropicales por el ataque de *Colletotrichum gloeosporioides*, sus síntomas son diversos y pueden manifestarse como lesiones redondas y hundidas o bien como manchas superficiales de color café que pueden abarcar grandes extensiones en el fruto (Bogantes-Arias y Mora-Newcomer, 2013).

#### 5.3.3.1. Índice de decaimiento

El índice de decaimiento se evaluó mediante la observación de cada uno de los frutos infectados con el fin de identificar los diferentes niveles de daño ocasionados por la enfermedad, en la Figura 32 se observa que el control infectado mostró mayor índice de decaimiento al final del almacenamiento.



**Figura 32. Cambios en el índice de decaimiento de pepinos inoculados con *Colletotrichum gloeosporioides* tratados con un recubrimiento a base de cera de candelilla. Donde: control infectado (CI), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA).**



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos al inicio del almacenamiento los pepinos infectados no presentaron índice de decaimiento, sin embargo, éste sostuvo un progresivo aumento a partir del día 5 en el que el índice más alto (0.3) fue para los pepinos sin recubrimiento y para los frutos con el recubrimiento adicionado con aceite.

En el día 10 correspondiente a la mitad de la evaluación los pepinos recubiertos presentaron un índice de decaimiento 20% mayor en comparación con el de los pepinos sin recubrir. A partir del día 15 se puede observar que el índice de decaimiento de los pepinos control superó a los índices obtenidos en los pepinos recubiertos, aumentando en un 26.3 y 36.8% con respecto a los índices de decaimiento de los pepinos tratados con los recubrimientos con y sin la adición de aceite registrados en el día 20.

Estos resultados coinciden con los mostrados por Valencia-Chamorro y col. (2009) quienes evaluaron recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilcelulosa-cera de abeja y goma laca adicionados con benzoato de sodio, propionato de sodio y sorbato de potasio en naranjas inoculadas con *P. digitatum* o *P. italicum* y encontraron que la incidencia y severidad causada por estos hongos incremento con el tiempo de almacenamiento.

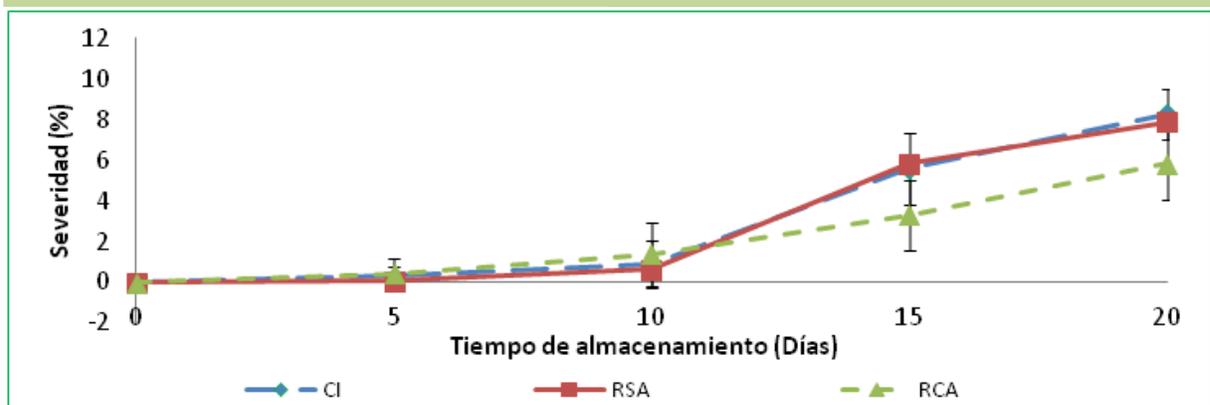
Los resultados indican que la presencia de hongo ocasiona daños significativos a la calidad de los pepinos, estos daños junto con la falta de manejo en postcosecha de esta enfermedad afectan la aceptación del fruto en los mercados, por lo que la aplicación del recubrimiento representa una alternativa para disminuir pérdidas postcosecha.

### 5.3.3.2. Severidad de la enfermedad

La severidad está definida como la porción del tejido de plantas o frutos afectado por la enfermedad, expresado como porcentaje del área total (French y Hebert, 1980). En la Figura 33 se muestra el efecto de la aplicación del recubrimiento sobre la severidad de antracnosis en pepinos la cual va en aumento con el tiempo de almacenamiento.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 33. Severidad de antracnosis en pepinos tratados con un recubrimiento a base de cera de candelilla. Donde: control infectado (CI), recubrimiento sin adición de aceite (RSA), recubrimiento con adición de aceite (RCA). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

La severidad de la enfermedad incrementó a partir del quinto día. Los pepinos con el recubrimiento adicionado con aceite esencial registraron el porcentaje de severidad más alto en el día 5, mientras que los pepinos sin recubrir y los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite presentaron menores porcentajes de severidad correspondientes al 0.3 y 0.08% respectivamente. La severidad de los pepinos con el recubrimiento sin la adición de aceite y la de los pepinos sin recubrir presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la severidad de los pepinos tratados los recubrimientos adicionados con aceite los días 15 y 20. Sin embargo, a partir del día 15 se registró una menor severidad en los frutos con el recubrimiento adicionado con aceite, obteniendo la menor severidad correspondiente a 6% al final del almacenamiento, mientras que la mayor severidad se obtuvo en los pepinos sin recubrimiento (8.3%) seguida de la registrada en los pepinos con el recubrimiento sin adición de aceite con 8%.

Estos resultados coinciden con los mostrados por Maqbool y col. (2011) quienes evaluaron el poder antifúngico de goma arábica adicionada con aceite de limón y de canela en el control postcosecha de la antracnosis en banano y papaya causada por *Colletotrichum musae* y *Colletotrichum gloeosporioides*, los cuales mostraron que la aplicación de goma arábica sin la adición de aceite tuvo una severidad similar a la obtenida en los frutos control.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El impacto del daño causado por el hongo expresado como índice de decaimiento y severidad no sólo estuvo determinado por la capacidad patogénica del hongo, sino también por características tales como: el porcentaje de germinación, tasa de germinación, crecimiento micelial y esporulación que forman parte de la habilidad que tiene una población de persistir y adaptarse exitosamente en el tiempo a diferentes condiciones (Gutiérrez y col., 2001).

En la Tabla 14 se muestran las pruebas *in vivo* de la aplicación de recubrimientos comestibles adicionados o no con aceite esencial de Orégano en pepinos inoculados con *Colletotrichum gloeosporioides* en la que se pueden observar los síntomas más marcados causados por el hongo a partir del día 10.

Se puede observar la menor severidad de la enfermedad registrada en los frutos con el recubrimiento adicionado con aceite con lo que se comprueba su poder antifúngico contra el ataque del hongo, además de verificar visualmente el mayor índice de decaimiento y el mayor porcentaje de severidad en los pepinos sin recubrir (Controles infectados).



Tabla 14. Cambios de la apariencia visual en pepinos recubiertos a base de cera de candelilla e inoculados con *Colletotrichum gloeosporioides*.

Tratamiento	Días				
	0	5	10	15	20
Control infectado (CI)					
Recubrimiento sin adición de aceite esencial de orégano (RSA)					
Recubrimiento con adición de aceite esencial de orégano (RCA)					



### 5.4. Evaluación de recubrimientos semicomerciales en el control de antracnosis en pepino

#### 5.4.1. Efecto de los parámetros de calidad

La aplicación de recubrimientos comestibles ha desempeñado un papel importante en la conservación de frutas y hortalizas protegiéndolas de daños físicos y microbiológicos (Falguera y col., 2011). A continuación se describen los cambios en los parámetros de calidad, producidos por la aplicación de recubrimientos semicomerciales.

##### 5.4.1.1. Determinación de firmeza

Se ha reportado que diversas características del fruto afectan su calidad y susceptibilidad a daños mecánicos, entre estas se encuentra la pérdida de firmeza y la turgencia (Viñas y col., 2013). El ablandamiento excesivo de la fruta es uno de los factores principales responsables de las limitaciones del tiempo de conservación, almacenamiento y comercialización (Jongen, 2002). En la Figura 34 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales sobre los cambios de la firmeza de pepino la cual disminuyó con el tiempo de almacenamiento.

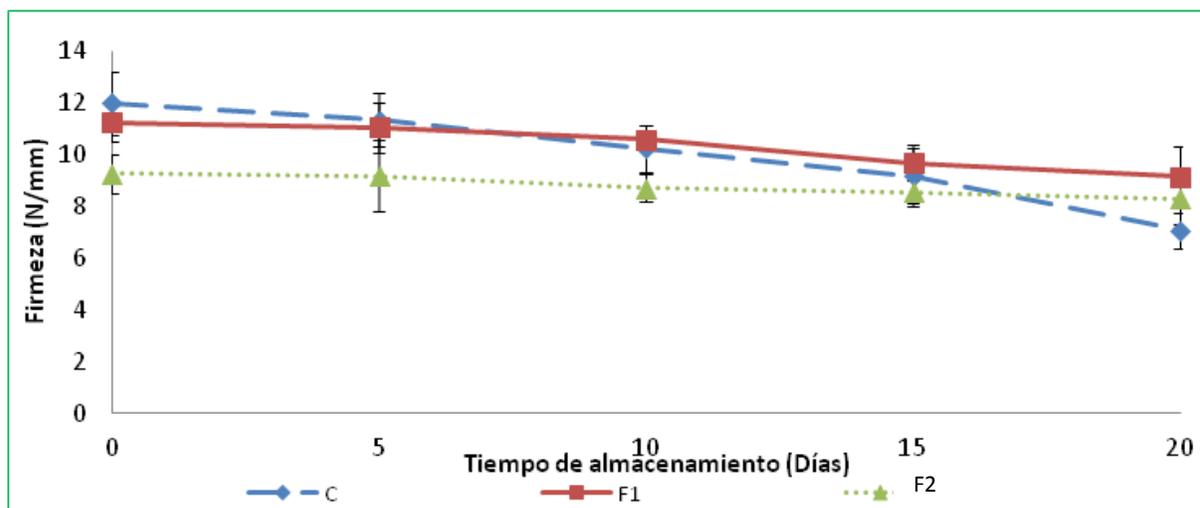


Figura 34. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la firmeza de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al inicio del almacenamiento los pepinos sin recubrir presentaron mayor firmeza correspondiente a 12 N/mm, mientras que la firmeza de los pepinos recubiertos con F1 y F2 se mantuvo 6.6 y 23.3% por debajo de la firmeza registrada en el pepinos sin recubrir.

Durante el almacenamiento (13°C) la firmeza de los pepinos recubiertos con F2 presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la de los pepinos sin recubrir y a la de los recubiertos con F1 los días 0, 5 y 10, en el día 15, la firmeza de los pepinos sin recubrimiento (Control) presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la de los recubiertos con F2, sin embargo, la firmeza de los pepinos sin recubrir y de los recubiertos con F1 no presentó diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ), mientras que en el día 20 la firmeza de los pepinos recubiertos con ambos recubrimientos presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la de los pepinos sin recubrir que disminuyó hasta 7.1 N/mm.

Con respecto al primer día de evaluación la firmeza de los pepinos sin recubrir disminuyó en un 40.8%, mientras que la firmeza de pepinos recubiertos con F1 y F2 disminuyó en un 18.8% y en un 9.8% respectivamente, en base a esto se dedujo que el recubrimiento F2 permitió mantener una adecuada firmeza en el pepino durante su almacenamiento, y que las diferencias registradas en la firmeza de los pepinos sin recubrimiento y en la de los pepinos recubiertos con F1 se relacionan con variaciones en su maduración fisiológica, ya que el momento de la recolección es crucial en los cambios ocasionados en la firmeza, es decir, aunque un fruto este muy firme, es propenso a daños mecánicos por estar muy turgente (Viñas y col., 2013). Además de que estas pérdidas se relacionan con la senescencia del producto, a pesar de que los recubrimientos permitieron mantener características similares como el color, se mostró una degradación progresiva de las paredes celulares con el consecuente ablandamiento de la pulpa.

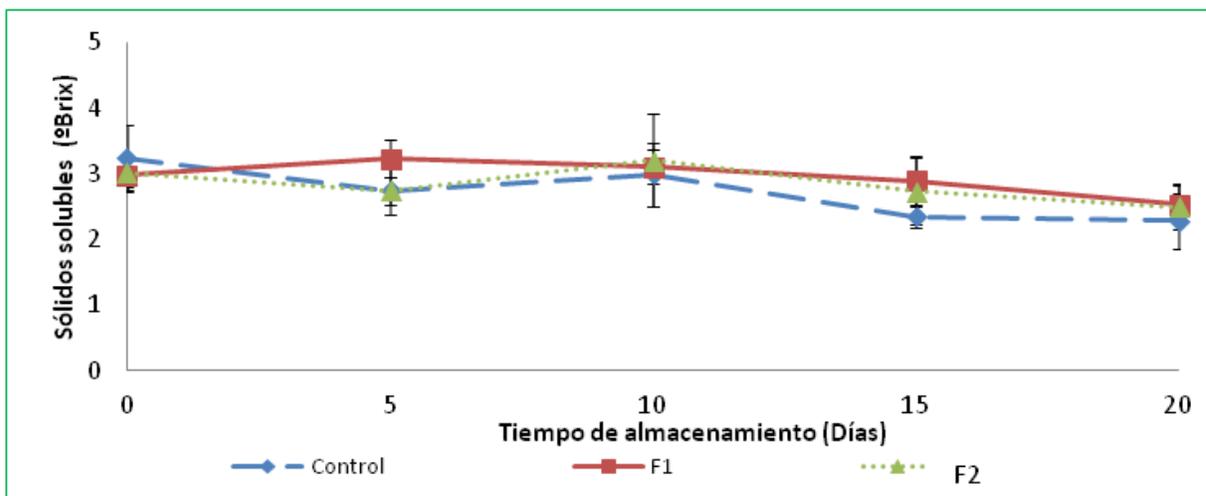
La pérdida de firmeza registrada en los pepinos se relaciona con los resultados obtenidos por Báez-Sañudo y col., (2002) quienes evaluaron el efecto de ceras comestibles sobre el mantenimiento de la calidad de melones cantaloupe, y registraron una disminución en la firmeza de la pulpa con el tiempo de almacenamiento; también concuerdan con los obtenidos por Muy y col., (2004) quienes reportaron que el uso de cera comercial Britex® retrasó de manera significativa la pérdida de firmeza en mangos (*Mangifera indica* L.) comparada con la



firmeza de los mangos sin encerar, lo que indicó que la retención de agua en los frutos encerados se relacionó positivamente con la firmeza.

### 5.4.1.2. Determinación de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles varía según la variedad de vegetal, grado de madurez, técnica de cultivo empleada, etc. (Oña y Serrano, 2014). En la Figura 35 se muestran los cambios en los sólidos solubles de los pepinos tratados con recubrimientos semicomerciales.



**Figura 35. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en los sólidos solubles de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

Al inicio de la evaluación el mayor nivel de sólidos solubles se registró en los pepinos sin recubrimiento correspondiente a 3.2°Brix, superando en un 6.3% a los sólidos solubles de los pepinos recubiertos que presentaron 3°Brix. Como se puede observar en la Figura 35, en el día 5 los sólidos solubles de los pepinos recubiertos con F1 registraron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con los sólidos solubles de los pepinos sin recubrir y con los sólidos solubles de los pepinos recubiertos con F2. A partir del décimo día se registró un descenso de los sólidos solubles de pepinos con y sin recubrimiento, presentándose diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los valores de sólidos solubles de los pepinos sin recubrimiento y de los recubiertos en el día 15, efecto contrario se registró en los sólidos solubles de los pepinos con y sin



recubrimientos los días 0, 10 y 20 en los que no se presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ).

La aplicación de los ambos recubrimientos permitió reducir en un 16.6% la pérdida de sólidos solubles al final de la evaluación, mientras que los pepinos sin recubrir perdieron 28.1%. Por lo tanto la aplicación de estos recubrimientos favoreció a este parámetro permitiendo mantener ligeramente el contenido de sólidos solubles, lo que indicó que se produjo un retraso en la senescencia de los pepinos.

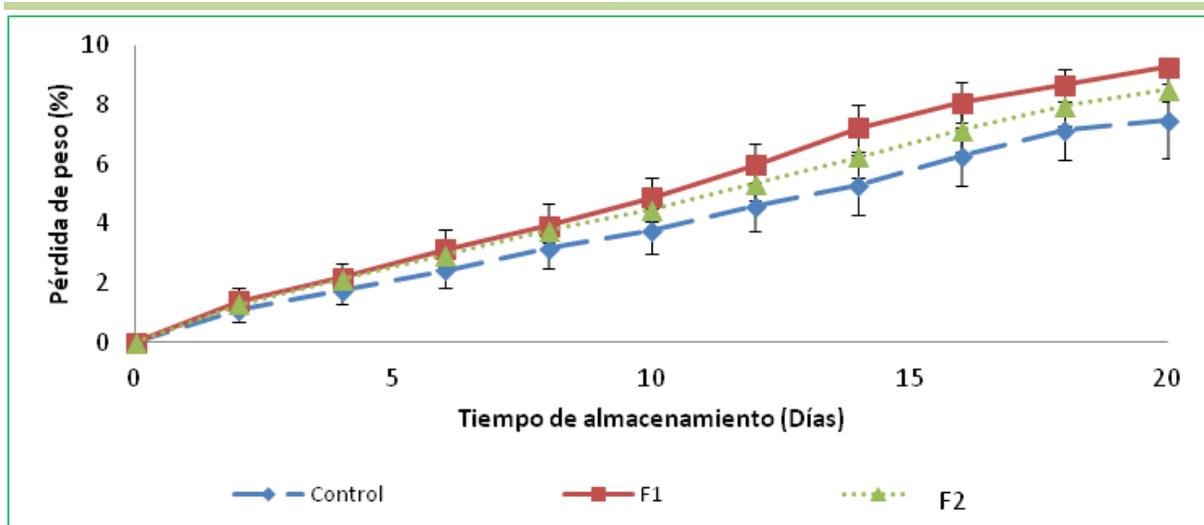
Estos resultados concuerdan con los reportados por Ochoa-Reyes y col., (2013) quienes evaluaron los cambio de sólidos solubles en pimiento verde con tres diferentes recubrimientos a base de: goma arábica, pectina y goma xantana, con cera de candelilla como fase hidrofóbica, aceite de jojoba como plastificante y extractos crudos como compuestos bioactivos y registraron que los pimientos testigo alcanzaron valores más bajos en °Brix que los recubiertos. Atribuyendo que el aumento en los sólidos solubles de los pimientos testigos se debió a que estos maduraron y envejecieron con mayor velocidad por las pérdidas de agua consumiendo con mayor rapidez sus reservas (azúcares y ácidos orgánicos).

### 5.4.1.3. Pérdida de peso

La pérdida de agua genera disminuciones en el peso que varían con el tipo de producto. La mayoría de los productos frescos contienen de 65 a 85% de agua cuando se cosechan, sin embargo después de su cosecha, el suministro de agua se rompe y la pérdida de agua continúa. Un estudio en manzanas almacenadas a 20°C y a una humedad relativa del 60%, reveló que el 97% de la pérdida de peso fue debido a la transpiración, en comparación con aproximadamente el 3% de pérdida de peso de la respiración, por lo que el control de pérdidas de agua fue uno de los objetivos principales de la aplicación de recubrimientos para la preservación de los productos frescos (Baldwin y col., 2012). En la Figura 36 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales sobre la pérdida de peso de pepinos.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 36. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la pérdida de peso de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

El aumento de la pérdida de peso registrada con la aplicación de los recubrimientos en los pepinos concordó con el aumento de pérdida de peso registrada por Tovar-Gomez y col., (2011) en guanábana (*Annona muricata* L.) recubierta con tres emulsiones a base de ceras y con la registrada por Domínguez y col., (2003) en limón mexicano (*Citrus aurantifolia*. Swingle) con diferentes recubrimientos (goma de mezquite, candelilla, aceite mineral y emulsificantes), la cual aumento conforme avanzó el tiempo de almacenamiento.

La pérdida de peso registrada en los pepinos alcanzo un rango de 7 a 10% al final del almacenamiento, la pérdida de peso de los pepinos sin recubrir y la registrada en los pepinos recubiertos registró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en los días 14, 16, 18 y 20. En la Figura 36 se muestra que la mayor pérdida de peso se registró en los pepinos recubiertos con F1 (9.3%), mientras que la menor pérdida de peso fue de 7.5% correspondiente a los pepinos sin recubrimiento, es decir, los pepinos sin recubrimiento y los recubiertos con F2 presentaron 19.4 y 8.6% menor pérdida de peso que los recubiertos con F1.

Estos resultados concuerdan con los registrados por Hernández y col., (2003) en limones persa almacenados a 5°C y recubiertos con esteres de sacarosa (SemperFresh®), donde los frutos control (sin recubrir) perdieron menos peso que los tratados con los recubrimientos



atribuyendo esta pérdida de peso a la deshidratación de los frutos desde los primeros días de almacenamiento como consecuencia de la transpiración.

Por lo que la aplicación de estos recubrimientos no permitió controlar adecuadamente la pérdida de peso, al obtener mayores pérdidas en los pepinos recubiertos, atribuyendo este efecto a una ineficaz barrera contra la humedad por parte de los recubrimientos. Sin embargo, se ha reportado que el efecto de un recubrimiento puede variar según sea su composición ya que proporcionan una barrera semipermeable a  $O_2$  y  $CO_2$  y al vapor de agua ayudando a mantener la integridad estructural del producto (Rodríguez-Felix y col., 2007).

#### 5.4.1.4. Color

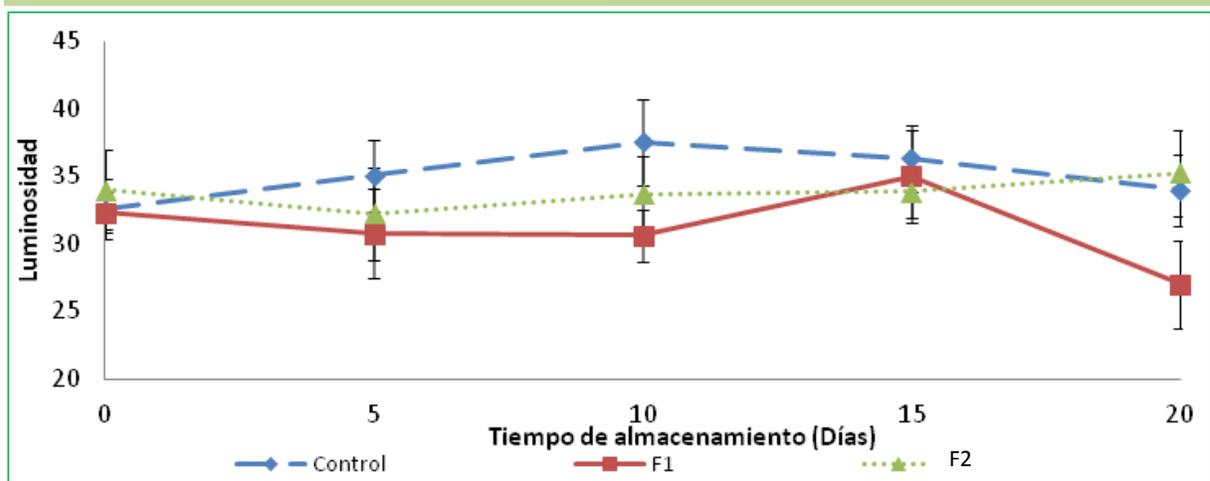
El color se considera uno de los factores externos más importantes de la calidad de frutas y verduras, ya que la apariencia influye en gran medida en los consumidores (Valero y Serrano, 2010). Se ha reportado que algunos recubrimientos han logrado suprimir el amarillamiento en manzanas, cítricos y espárragos debido a la formación de una atmósfera modificada en la fruta, además de que algunos de los componentes de los recubrimientos pueden influir en su decoloración (Baldwin y col., 2012).

- **Luminosidad**

Luminosidad es un parámetro que nos indica que cuando toda la energía radiante en el espectro visible se refleja en un objeto, este parece ser blanco, si la absorción es completa, los resultados serán un objeto negro. También puede entenderse como la medida en que el tono se diluye con negro (Askar y Treptow, 1993). En la Figura 37 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales sobre los cambios en la luminosidad de pepinos.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 37. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la luminosidad de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

La aplicación del recubrimiento no generó cambios en la luminosidad de los pepinos al inicio del almacenamiento, obteniendo valores de L entre 32 y 34, sin presentar diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ), sin embargo, la luminosidad de los pepinos sin recubrimiento presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la luminosidad de los pepinos recubiertos con F1 y F2 los días 5 y 15, mientras que en el día 10 la luminosidad de todos los pepinos fue estadísticamente diferente, contrario a la evaluada al día 20 en el que la luminosidad de los pepinos con el recubrimiento F2 fue estadísticamente diferente a la de los demás frutos.

Se observó que al final del almacenamiento los pepinos con el recubrimiento F2 presentaron el valor más alto de L correspondiente a 35.3, es decir, la luminosidad de los pepinos con este recubrimiento presentó un aumento del 3.7% con respecto a la luminosidad registrada en el día cero, este efecto también se presentó en los pepinos control en los que la luminosidad aumentó en un 4.1%, mientras que la luminosidad de los pepinos con el recubrimiento F1 obtuvo un descenso del 16.40%.

La disminución de la luminosidad con la aplicación de recubrimientos ha sido expuesta por Tovar-Gómez y col. (2011) reportando que los valores de luminosidad y  $^{\circ}$ Hue en guanábana recubierta con de ceras (Carnauba Tipo III, carnauba con aceites siliconados y candelilla) y tratada con 1-metilciclopropeno disminuyeron al final del almacenamiento, indicando que esta disminución fue ocasionada por un oscurecimiento de la cáscara. Sin embargo, el aumento de

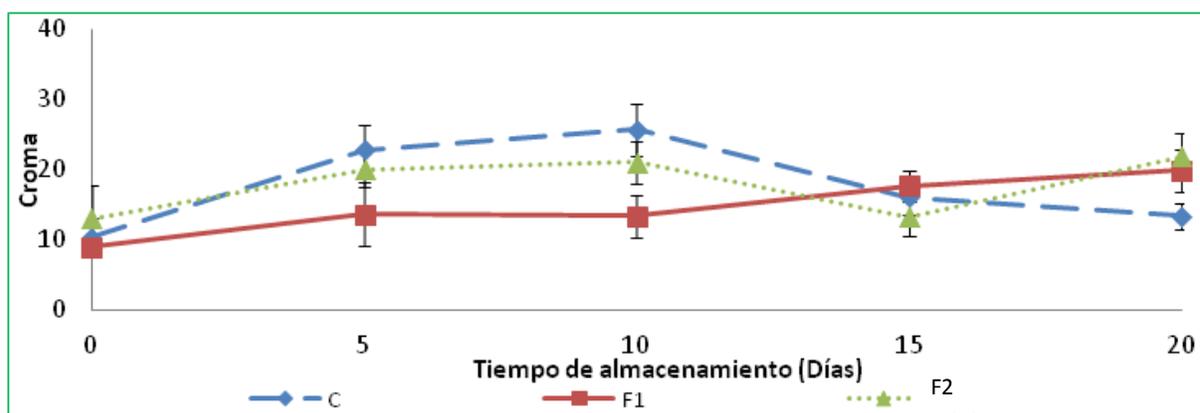


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

luminosidad de los pepinos sin recubrimiento y de los recubiertos con F2, concuerda con Asgar y col., (2013) quienes reportaron que la luminosidad y °Hue de Chiles (*Capsicum annuum* L.) recubiertos con extractos de propóleo verde de Brazil y aceite de canela, incrementaron progresivamente durante el almacenamiento en todos los tratamientos.

- **Croma**

La saturación o croma representa la intensidad de la fuerza del color, es decir, colores vivos u opacos (Askar y Treptow, 1993). En la Figura 38 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales sobre la cromaticidad de pepinos con recubrimientos semicomerciales.



**Figura 38. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en el croma de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

Las modificaciones en el croma de los pepinos con y sin recubrimiento se registraron a partir del quinto día de evaluación, presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) a partir de este día hasta el final del almacenamiento. En el primer día de evaluación los pepinos recubiertos con F2 presentaron el mayor valor de croma correspondiente a 13, por su parte, el menor valor fue para los pepinos recubiertos con F1 registrandó un croma de 9, mientras que los pepinos sin recubrir obtuvieron un valor intermedio de 10.4.

Como se puede observar en la Figura 38 los valores de croma ascendieron al final del almacenamiento; registrándose aumentos del croma del 50% para los pepinos recubiertos con F1, 40.1% en el croma de los pepinos recubiertos con F2 y 23% en el de los pepinos sin



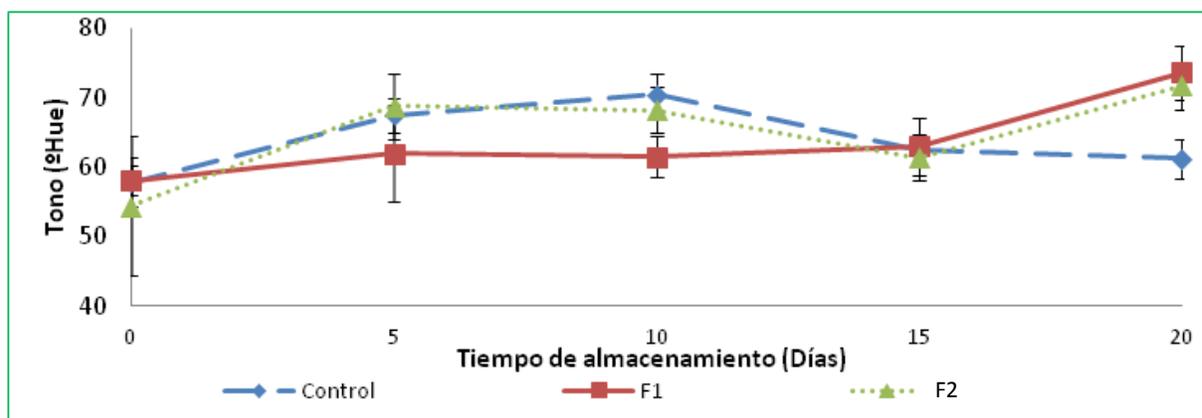
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

recubrir. El aumento en los valores de croma se relaciona positivamente con el uso de los recubrimientos ya que los mayores valores nos indican un tono de color más vivo, es decir, se relacionan con un verde oscuro más intenso, característico del pepino.

Este aumento en los valores de croma coincide por el registrado por Dávila-Aviña y col., (2012) quienes evaluaron los cambios en color ocasionados por el efecto de la aplicación de recubrimientos a base de cera de carnauba y aceite mineral en tomates, reportando que los valores de croma aumentaron durante el periodo de almacenamiento, alcanzando los valores de croma más altos al final del experimento en los tomates control y los recubiertos con cera, mientras que los valores de croma más bajos se registraron en los tomates recubrimientos con aceite mineral.

- **Tono**

El tono representa el tipo de color ( $^{\circ}$ Hue o matiz), es decir, un color rojo, azul o verde, dependiendo de la longitud de onda dominante (Askar y Treptow, 1993). En la Figura 39 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales sobre la tonalidad de pepinos.



**Figura 39. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en el tono de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

En el primer día de almacenamiento el tono de los pepinos sin recubrir y el de los recubiertos con F1 fue similar, correspondiente a  $58^{\circ}$ Hue, presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con el tono de los pepinos recubiertos con F2, el cual fue 6% menor equivalente a  $54.5^{\circ}$ Hue.



En los días 5 y 10 el tono de los pepinos recubiertos con F1 fue significativamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) al tono de los pepinos sin recubrir y al registrado en los pepinos recubiertos con F2, finalmente en los días 15 y 20 los valores de tono registrados fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Los valores de tono incrementaron durante el tiempo de almacenamiento, registrándose un aumento del 24% en los pepinos recubiertos con F2, 21.2% en los recubiertos con F1 y 5.4% en los pepinos sin recubrir.

Estos resultados concuerdan con el trabajo de Rodríguez-Felix y col., (2007) en el que se evaluó el efecto de una cera comestible (Semperfresh®) en la calidad de los cladodios de dos variedades de nopal; en el que los valores de ángulo de tono ( $^{\circ}$ Hue) de los cladodios de la variedad COPENA F-1 tratados con esta cera fueron mayores al resto de los tratamientos, indicando que la cera mantuvo mejor el color verde de los cladodios, además de que los valores de  $^{\circ}$ Hue más bajos se observaron en los cladodios testigos.

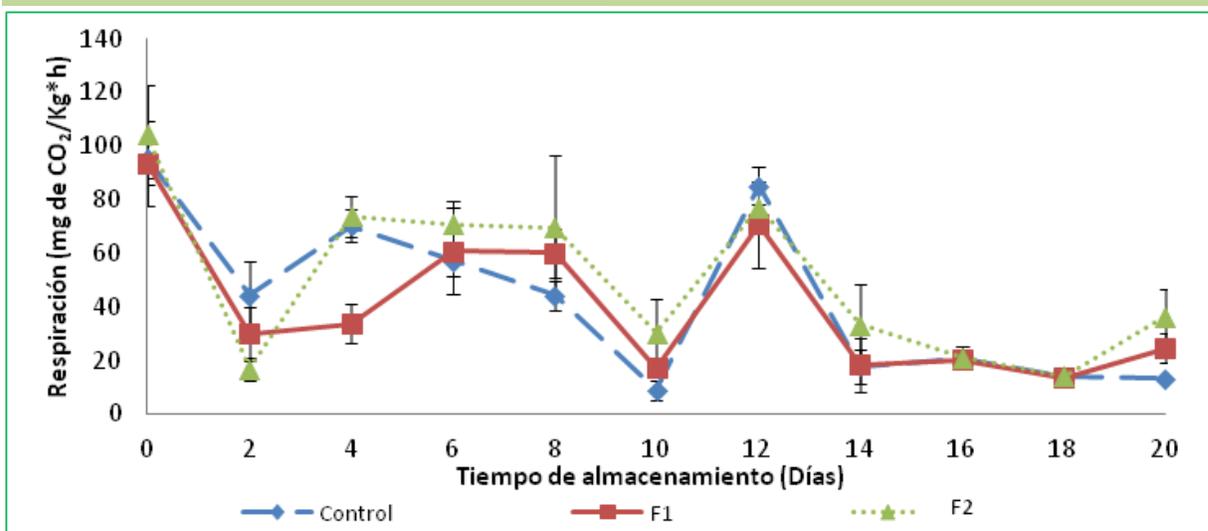
### **5.4.2. Efecto de los parámetros fisiológicos**

#### **5.4.2.1. Respiración**

La respiración continúa incluso después de la cosecha. Las frutas y verduras frescas continúan respirando y realizando funciones metabólicas porque han sido separadas de su fuente de alimentación. La continua actividad respiratoria conduce a la senescencia la cual aumenta las pérdidas de agua, causando pérdidas en la calidad del producto, las cuales se han disminuido con el uso de recubrimientos con los que se busca mantener la frescura del producto (Knee, 2002). En la Figura 40 se muestra el efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales sobre la velocidad de respiración de pepinos.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 40. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la respiración de pepinos. Donde: control (C), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

Al inicio de la experimentación se registró una tasa de respiración entre 93 y 104 mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora, la cual disminuyó en un rango de 16 a 44 mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora en el segundo día de almacenamiento, en el que la respiración de los pepinos con y sin recubrimiento presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). La respiración de los diferentes pepinos recubiertos no registró diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en los días 0, 6, 16 y 18). Sin embargo, la respiración de los pepinos recubiertos con F2 presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la respiración de los pepinos sin recubrir y a la de los pepinos recubiertos con F1 los días 10, 14 y 20, para los demás días todos los valores de respiración fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

En la Figura 40 se muestra un descenso en los niveles de respiración característico de los frutos no climatéricos como el pepino, en los que no se muestra un incremento en la tasa respiratoria durante el proceso de maduración, por el contrario muestran una progresiva y lenta tasa respiratoria (Kurt, 2003).

En el día 20 los pepinos recubiertos con F2 registraron una respiración de 36.4 mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora, superando en un 26.4 y en un 60.7% a la respiración registrada en los pepinos con el recubrimiento F1 y a la de los pepinos control, la cual fue la más baja correspondiente a 13.1 mg CO<sub>2</sub>/Kg\*hora. De acuerdo a los valores iniciales la respiración de los pepinos sin



recubrir disminuyó en un 86.3%, mientras que la de los pepinos con el recubrimiento F1 disminuyó en un 73.7% y la de los recubiertos con F2 disminuyó en un 68%. Con la disminución en la respiración de los pepinos con ambos recubrimientos, se observó que la aplicación de los recubrimientos permitió disminuir ligeramente el desarrollo del pepino (senescencia), ya que las menores tasas de respiración se obtuvieron en los pepinos sin recubrir.

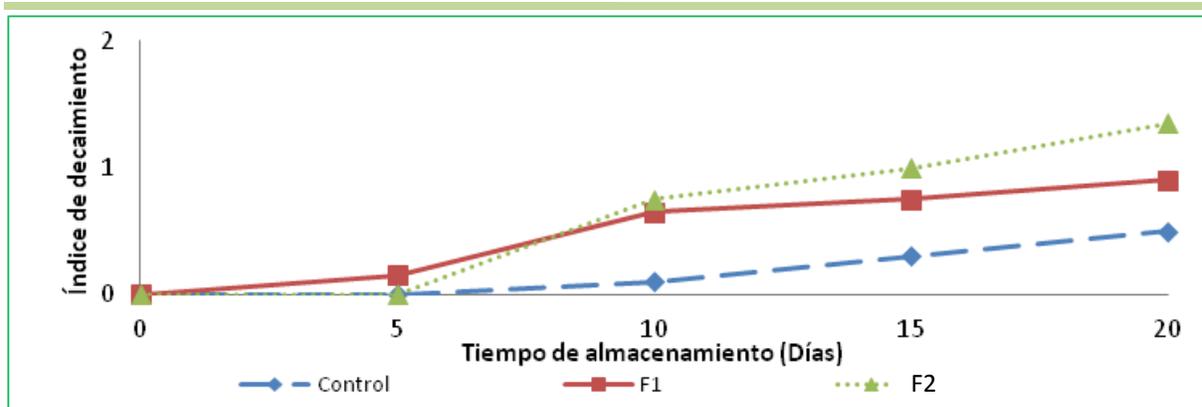
Estos resultados coinciden con los expuestos por Tomás y col. (2005) en guayabas con recubrimientos a base de cera de candelilla-aceite mineral y goma de mezquite, en las que se obtuvo una positiva reducción de la respiración con la aplicación del recubrimiento, Esta disminución en la velocidad de respiración, se atribuyó a la composición química del recubrimiento a base de cera, y a este mismo al formar una barrera en la superficie del fruto que modificó la difusión contra los gases y el vapor de agua, efecto que también se vio reflejado en la pérdida de peso.

### 5.4.3. Control de Antracnosis

La antracnosis es la enfermedad devastadora causada por especies de *Colletotrichum*, encontrada en forma de pudrición en pre-cosecha o postcosecha (Asgar y col., 2013).

#### 5.4.3.1. Índice de decaimiento

Las frutas y verduras contienen una amplia gama de ácidos orgánicos y una alta actividad de agua que las hacen ser buenos sustratos para el deterioro microbiológico, aunque el deterioro por el ataque de hongos no origina un riesgo a la salud, ya que los productos son generalmente rechazados, sí generan considerables pérdidas económicas (Jongen, 2002). En la Figura 41 se muestran los índices de decaimiento causados en pepinos infectados con *Colletotrichum gloeosporioides*.



**Figura 41. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en el índice de decaimiento de pepinos. Donde: control infectado (Control), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2).**

El índice de decaimiento se mantuvo en constante aumento, a partir del quinto día de evaluación, los pepinos control y los recubiertos con F1 registraron un índice de 0.15, mientras que en el décimo día los pepinos control y los pepinos recubiertos con F2 presentaron índices de decaimiento de 0.1 y 0.75 respectivamente. En el día 20 (Final del almacenamiento) los pepinos recubiertos con F2 presentaron un índice de decaimiento de 1.4, siendo 28.6 y 64.3% mayor a los índices de decaimiento obtenidos en los pepinos recubiertos con F1 y en los pepinos control, respectivamente.

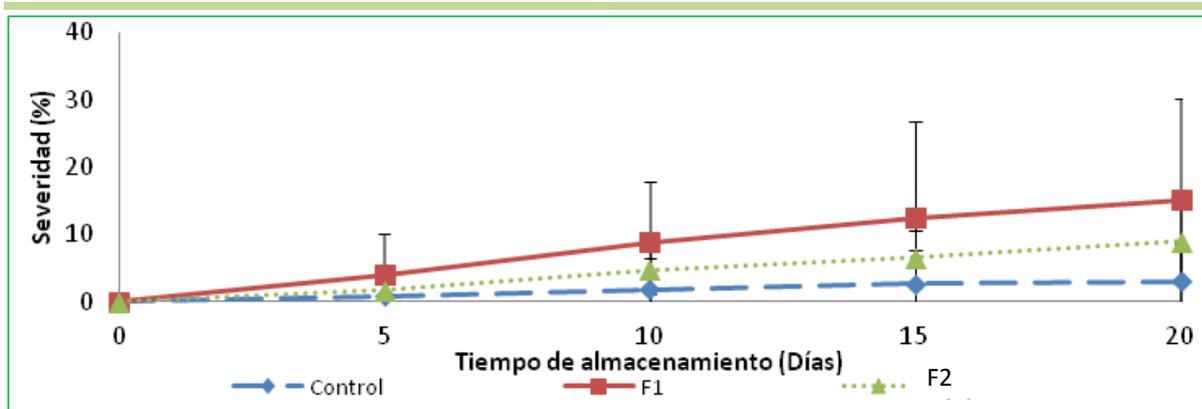
Se ha reportado que la presencia de un patógeno en la superficie de un fruto y su penetración en el no asegura de que la enfermedad se desarrolle. El índice de decaimiento puede aumentar por la condensación de la humedad sobre la superficie de la fruta fresca o vegetal, en este sentido, la susceptibilidad de muchas frutas a la descomposición por hongos aumenta. Aunque en muchos casos, el aumento del índice de decaimiento se atribuye a la humedad mantenida dentro de las heridas. Las esporas de hongos comúnmente utilizan esta humedad para su germinación previa a su penetración en los tejidos (Valero y Serrano, 2010).

### 5.4.3.2. Severidad de la enfermedad

La severidad de la enfermedad (Antracnosis) personifica los cambios adversos de calidad que se producen en los pepinos. En la Figura 42 se muestran la severidad de antracnosis causada en pepinos infectados con *Colletotrichum gloeosporioides*.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 42. Efecto de la aplicación de recubrimientos semicomerciales en la severidad de pepinos. Donde: control infectado (Control), recubrimiento semicomercial 1 (F1), recubrimiento semicomercial 2 (F2). Las barras de error verticales representan  $\pm$  desviación estándar.**

El ataque del hongo fue notable a partir del quinto día, mismo día en el que se registró un aumento de la severidad hasta el final del almacenamiento en todos los pepinos evaluados, registrándose un mayor porcentaje de severidad en los pepinos infectados y recubiertos con F1 y un menor porcentaje de severidad en los pepinos infectados sin recubrimiento (Control) que alcanzaron una severidad de 3% al final del almacenamiento.

La severidad registrada en los pepinos con el recubrimiento F1 al final del almacenamiento fue de 15.1%, superando en un 40.4% y 80% a la severidad registrada en los frutos recubiertos con F2 y a la de los pepinos sin recubrir, respectivamente. Los días 10, 15 y 20, la severidad registrada en los pepinos control presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la severidad registrada en los pepinos recubiertos con F1, sin embargo, la severidad registrada en los pepinos control fue estadísticamente similar a la registrada en los pepinos recubiertos con F2.

Los resultados obtenidos en índice de decaimiento y severidad de antracnosis son contrarios a los presentados por Asgar y col. (2013) en Chile (*Capsicum annum* L.) inoculado con *Colletotrichum capsici* y recubierto con extractos de propóleo verde de Brasil y aceite de canela, donde los mayores valores de estos dos parámetros se obtuvieron en los chiles control. Pero concuerdan con los obtenidos por Maqbool y Chinnan, (2010) quienes evaluaron un recubrimiento a base de goma arábiga y quitosano en plátano inoculado con *Colletotrichum musae*, reportando que el índice de decaimiento y la severidad aumentaron con el paso del



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

tiempo, y registraron que los primeros síntomas de antracnosis se encontraron en los frutos control.

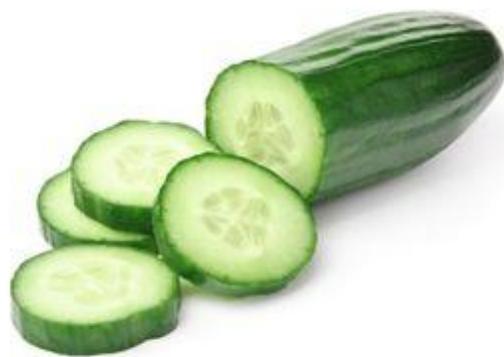
La aplicación de los recubrimientos F1 y F2 permitió controlar ligeramente el desarrollo de la antracnosis en el pepino, esto se refleja en los valores de índice de decaimiento y severidad obtenidos en los pepinos recubiertos los cuales fueron superiores a los registrados en los pepinos control. Este efecto se atribuye al desarrollo de los hongos, el cual depende de diversas condiciones siendo el principal factor la temperatura, seguido de la humedad relativa, la presencia de nutrientes disponibles, un valor de pH adecuado y otras condiciones ambientales, ya que la germinación de las esporas y el crecimiento del micelio es estrictamente dependiente de la temperatura, que se considera el factor de limitante para el desarrollo de la enfermedad (Valero y Serrano, 2010).

En la Tabla 15 se muestran los síntomas causados por el ataque del hongo y la aplicación de los recubrimientos semicomerciales. Los síntomas de daños son por lo general los anillos circulares de color marrón que llegan a transformarse a negro (Asgar y col., 2013).



Tabla 15. Cambios de la apariencia visual de pepinos con recubrimientos semicomerciales e inoculados con *Colletotrichum gloeosporioides*.

Trata- miento	Día				
	0	5	10	15	20
Control					
Recubri- miento F1					
Recubri- miento F2					



Conclusiones

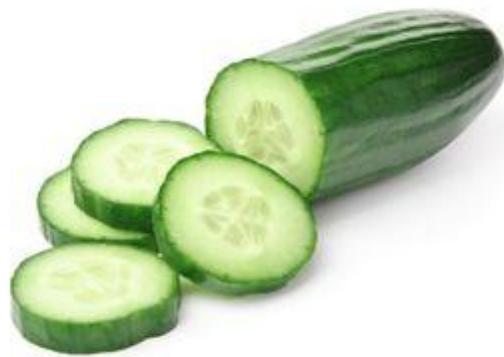
---



### 6. CONCLUSIONES

Con base en los resultados anteriores, se concluyó lo siguiente:

- La aplicación del recubrimiento a base de cera de candelilla (10%), mejoró notablemente la apariencia física de los pepinos. Además de presentar propiedades adecuadas como brillo, color, adhesividad, estabilidad, y homogeneidad permitiendo una adecuada adherencia en la superficie de los pepinos.
- El poder antifúngico del aceite esencial de orégano contra *Colletotrichum gloeosporioides* logró inhibir el crecimiento micelial desde un 43% a un 100%, siendo la concentración de 1000 ppm de aceite la que inhibió por completo el crecimiento del hongo.
- La aplicación de los recubrimientos a base de cera de candelilla en los pepinos permitió mantener significativamente la firmeza de los mismos, los sólidos solubles y los valores de luminosidad, croma y tono. Con la aplicación de estos recubrimientos también se logró reducir los procesos bioquímicos del pepino al reducir su respiración, comprobando que los recubrimientos a base de cera de candelilla son una alternativa de conservación para pepinos frescos.
- La aplicación de los recubrimientos semicomerciales logró mantener significativamente los valores de firmeza, sólidos solubles y color de los pepinos así como la disminución en su respiración y pérdida de peso, por lo que la aplicación de recubrimientos en pepino es adecuada para prolongar la conservación de los pepinos.
- La combinación del aceite esencial de orégano con el recubrimiento a base de cera de candelilla causó un efecto sinérgico en la disminución de los valores de severidad e índice de decaimiento sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, mientras que el efecto observado con la aplicación de los recubrimientos semicomerciales fue contrario al registrar un aumento en estos parámetros.



# Recomendaciones

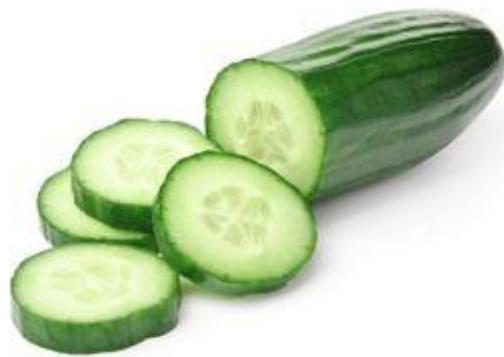
---



### 7. RECOMENDACIONES

Para continuar con esta misma línea de investigación se recomienda:

- Evaluar propiedades de barrera o permeabilidad de los recubrimientos a los gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ), principalmente para el recubrimiento a base de cera de candelilla adicionado con aceite esencial de orégano.
- Evaluar nuevas concentraciones de cera de candelilla que permitan disminuir la difusión de los gases como el  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  ayudando principalmente a minimizar las pérdidas de peso.
- Realizar pruebas *in vitro* del aceite esencial de orégano para establecer su papel como agente antifúngico contra otros hongos.
- Estudiar el efecto antimicrobiano de diferentes aceites esenciales sobre la inhibición del crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*
- Evaluar la interacción del recubrimiento adicionado con aceite esencial de orégano en algún otro fruto que sea susceptible al ataque de *Colletotrichum gloeosporioides*.
- Evaluar nuevos tiempos de aplicación del recubrimiento en este mismo fruto para evaluar los cambios en los parámetros de calidad y estableciendo estándares de uso.
- Evaluar distintas concentraciones de aceite esencial de orégano en pruebas *in vivo*.



# Referencias

---

**8. REFERENCIAS**

1. Aguilera, J. M. (2011). Food Engineering Interfaces. Food engineering series. Springer Science Business Media, United States of America.
2. Ainsworth, G. C. (1971). Ainsworth y Biby's dictionary of the fungi. 6ta. ed. CMI, England.
3. Aligiannis N., Kalpoutzakis E., Mitaku S. (2001). Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. Journal of Agricultural and Food Chemistry, (49):4168-4170.
4. Alleyne, V., Hagenmaier, R. D., (2000). Candelilla-shellac: an alternative formulation for coating apples. Hort Science, 35(4): 691-693.
5. Altenhofen, M., Krause, A. C., Guenter, T. (2009). Alginate and pectin composite films crosslinked with  $Ca^{+2}$  ions: Effect of the plasticizer concentration. Carbohydrate Polymers, 77 (4):736-742.
6. Asgar, A., Ling, C. W., Noosheen, Z., Kying, O. M. (2013). Efficacy of propolis and cinnamon oil coating in controlling post-harvest anthracnose and quality of chilly (*Capsicum annum* L) during cold storage. Food Bioprocessing Technology, 6 (12):3295-3644.
7. Askar A., Treptow H. (1993). Quality Assurance in tropical fruit processing. Springer Laboratory, Berlín.
8. ASVID: Asesorías e inversiones. (2009). Recopilación logística, nuevos materiales, envases y cadena de frío en el sector frutícola. Informe para el consejo nacional de innovación para la competitividad. Consultado el 10 de Febrero de 2014. Disponible en: <[http://www.bligoo.com/media/users/3/181209/files/18813/frutic\\_doc2\\_frio.pdf](http://www.bligoo.com/media/users/3/181209/files/18813/frutic_doc2_frio.pdf)>.
9. Báez-Sañudo, R., Saucedo, V. C., Pérez, R. B., Bringas, T. E., Mendoza, W. A. M. (2002). Efecto de la aplicación de cera comestible y agua caliente en la conservación de melón reticulado. Revista Fitotecnica Mexicana, 25(4): 375-379.
10. Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., Bai, J. (2012). Edible coatings and films to improve food quality. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, United States of America.
11. Barreiro, M., Montañez, V. C. (2000). El pepino de Sinaloa, calidad y exportación. Revista Claridades Agropecuarias, 198 (93): 3-5.



## REFERENCIAS

12. Bernhardt, E., Dodson, J., Watterson, Jon. (1998). Cucurbit diseases a practical guide for seedsmen, growers & agricultural advisors. Petosced Company Pathologists, United States of America.
13. Bogantes-Arias, A., Mora-Newcomer, E. (2013). Incidencia y severidad de la antracnosis en líneas e híbridos de papaya (*Carica papaya*). *Agronomía Mesoamericana*, 24(2):411-417.
14. Bolivar, K., Sanabria, M. E., Rodríguez, D., Camacaro, M., Ulacio, D., Cumana, L. J., Crescente, O. (2009). Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo *in vitro* del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz, & Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. *Revista UDO Agrícola*, 9 (1): 175-181.
15. Boesso, O. V., Molina, G., Chiumarelli, M., Pastore, M. G., Dupas, H. M. (2014). Properties of cassava starch-based edible coating containing essential oils. *Journal of Food Science*, 79 (2):189-194.
16. Bósquez, M. E., Vemon, E. J. (2005). Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de goma de mezquite y candelilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4:157-164.
17. Caamal-Herrera, I. O., Pereira-Pacheco, F., Madera-Santana, T. (2011). Caracterización óptica y mecánica de películas comestibles a base de mezclas binarias de almidones de *Phaseolus lunatus* L, *Manihot esculenta* Crantz y *Zea mays* L. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1):101-109.
18. Cagri, A., Ustunol, Z., Ryser, T. E. (2004) Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67(4):833-848.
19. Caivano, J. L. (1995). Sistemas de orden del color, investigaciones en ciencia y técnica. Facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. Serie difusión No. 12, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
20. Carnide, V., Barroso, M. R. (2006). Las cucurbitáceas: bases para su mejora genética. *Revista Horticultura Internacional*, 53: 16-21.
21. Cheftel, J. C. (1983). Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos. Vol. 2. Acribia, Zaragoza-España.



## REFERENCIAS

22. Chupp, C. (2006). Manual of vegetable plant diseases. Discovery Publishing House. New Delhi-India.
23. Combrinck, S., Regnier, T., Kamatou, G. P. P. (2011). *In vitro* activity of eighteen essential oils and some major components against common postharvest fungal pathogens of fruit. *Industrial Crops and Products*, 33:344-349.
24. CONABIO: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (2013). Sistema de información de organismos vivos modificados. Consultado el 10 de Octubre de 2013. Disponible en:  
<[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21650\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21650_sg7.pdf)>.
25. Cubero, N., Monferrer, A., Villalta, J. (2002). Aditivos alimentarios, Tecnología de alimentos, Mundi Prensa, Madrid-España.
26. CVCA: Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2010). Monografía del pepino, Consultado el 20 de Noviembre de 2013. Disponible en:  
<<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20PEPINO2010.PDF>>.
27. Dávila-Aviña, J. E., Villa-Rodríguez, J. A., Villegas-Ochoa, M. A., Tortoledo-Ortiz, O., Olivas, I. G., Ayala-Zavala, J. F., González-Aguilar, G. A. (2012). Effect of edible coatings on bioactive compounds and antioxidant capacity of tomatoes at different maturity stages. *Journal of Food Scientists and Technologists*. DOI 10.1007/s13197-012-0771-3.
28. Domínguez, E., Cortés, V., Ávila, R. M. (2003). Aumento de la vida postcosecha del limón mexicano producido en Apatzingán, Michoacán mediante recubrimientos naturales, *Revista Iberoamericana de Tecnología postcosecha*, 5(2): 128-133.
29. Durango, M. A., Soares, F., Arteaga, M. R. (2011). Filmes y revestimientos comestibles como empaques activos biodegradables en la conservación de alimentos, *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1): 122-128.
30. Embuscado, M. E., Huber, K. C. (2009). Edible films and coatings for food applications, Springer Science Business Media. United States of America.



## REFERENCIAS

31. Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, A. J., Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*, 22:292-303.
32. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Statistics (2014). Consultado el 15 de Mayo de 2014. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
33. Fennema, O. R., Parkin, L. K., Damodaran, S. (2010). *Química de los alimentos*. Acribia. Zaragoza-España.
34. Figueroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R. M., Narváez, G. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva al uso del propóleo en su formulación, *Revista Colombiana de Ciencias Agroindustriales*, 3(2):386-400.
35. Figueroa, M. J., Salinas, K. F. (1981). *Manuales para educación agropecuaria Cucurbitáceas: Producción vegetal*. Trillas. México.
36. French, R. E., Herbert, T. T. (1980). *Métodos de investigación fitopatológica*. Libros y materiales educativos No. 43. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica.
37. Friedrich, S., Heimo, S. (1999). *El pequeño souci-Fachmann-Kraut: Tablas de composición de alimentos*, 2da ed. Acribia. Zaragoza-España.
38. Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethylcellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48:44-49.
39. Gil, H. A. (2010). *Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos*. 2da ed. Medica panamericana. Madrid-España.
40. Gómez, T. B., Montes de Oca M. (2011). Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación postcosecha de guanábana, *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1):53-61.
41. González O. M. G., Guzmán, M. L. (2011). Efecto de películas comestibles formuladas a base de alginato de sodio y grenetina en la vida útil del mango cortado listo para consumir. Tesis de ingeniero en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México.



## REFERENCIAS

42. Gutiérrez A. Nieto A. D., Téliz O. D., Zavaleta M. E., Vaquera H. H., Martínez D. T., Delgadillo S. F. (2001). Características de crecimiento, germinación, esporulación y patogenicidad de asilamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Obtenidos de frutos de mango (*Mangifera indica* L.). Revista Mexicana de Fitopatología, 19(1):90-93.
43. Hardenburg, R. E., Watada, A. E., Wang, C. Y. (1988). Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. IICA. Centro de Investigación y Desarrollo. San José-Costa Rica
44. Hernández (2014). Asistencia técnica agrícola [Fotografía]. Consultado el 25 de Julio de 2014. Disponible en:  
<[http://www.agro-tecnologia-tropical.com/cultivo\\_del\\_pepino.html](http://www.agro-tecnologia-tropical.com/cultivo_del_pepino.html)>
45. Hernández, H. M., Hernández, B. P., De la Cruz, M. J., García, G. S., Vargas, O. M. (2003). Efecto de un recubrimiento comestible en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) almacenado a 5°C. Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache (ITSAT): 1-15.
46. Hernández, L. N., Bautista, S., Velázquez, G. (2007). Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas, Revista Fitotecnia Mexicana, 30(2):119-123.
47. Infoagro (2014). El cultivo del pepino [Fotografías]. Consultado el 25 de Julio de 2014. Disponible en: <<http://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm>>
48. Infocenter (2009). Estrategia e innovación tecnológica de producción y mejora genética de semillas [Fotografías]. Fundación para la Innovación Agraria. Chile: 131-135.
49. Jaime-Green, M., Lucero-Flores, J. M., Sánchez-Verdugo, C. (2012). Inteligencia de mercado de pepino. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Baja California Sur, México.
50. Jongen, W. (2002). Fruit and vegetable processing improving quality. CRC Press. United States of America.
51. Knee, M. (2002). Fruit quality and its biological basis. Acribia. Zaragoza-España.



## REFERENCIAS

52. Kurt M. K. (2003) Nociones del Manejo de postcosecha. Departamento de mejoramiento y recursos genéticos. Centro Internacional de la Papa 48. La victoria, Lima-Perú.
53. Lizárraga, I. P., Alas, A. F. A. (2004). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Foro internacional: Agronegocios de frutas tropicales. San Salvador-El Salvador.
54. Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S., Moalemiyan, M., Kushalappa, A. C. (2007). Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. Carbohydrate Polymers, 68:341-349.
55. Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf life extension of avocados using methylcellulose-based coating. Journal Horticulture, 38:617-624.
56. Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P. G., Mohamed, M. T. M., Siddiqui, Y., Zahid, N. (2011). Postharvest application of gum Arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. Postharvest Biology and Technology, 62(1):71-76.
57. Maqbool, M., Chinnan, M. S. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. Crop Protection, 21(1):211-224.
58. McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. HortScience, 27(12): 1254-1255.
59. Molina R. R., Saucedo P. S., De León Z. M., Jasso D., Aguilar C. (2011). Pasado, presente y futuro de la candelilla, Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(6):17-18.
60. Montes-Belmont, R., Cruz-Cruz, V., Martínez-Martínez, G., Sandoval-García, G., García-Licona, R., Zilch-Dominguez, S., Bravo-Luna, L., Carvajal-Moreno, A. (2000). Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. Revista Mexicana de Fitopatología, 18:125-131.
61. Morales G. N. (2013). Como medir el nivel de daño de una enfermedad en las plantas. Universidad Rafael Landívar, Sede Escuintla Guatemala.
62. Moreno, V. D., Cruz, R. W., García, L. E., Ibañez, M. A., Barrios, D. J. M., Barrios, D. B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(6):909-920.



## REFERENCIAS

63. Mulkay, T., Paumier, A., González, I., Paz, N., López, O., Nogueira, A., Fajardo, M. (2012). Actividad antifúngica de productos naturales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* causante de la antracnosis en frutales tropicales, Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical: 2-5.
64. Muy, R. D., Siller, C. J., Díaz, P. J., Valdéz, T. B. (2004). Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad de mango. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2): 201-209.
65. Muy, R. D., Siller, C. J., Díaz, P. J., Valdéz, T. B. (2011). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad postcosecha de pepino de mesa. *Panorama Mundo Alimentario*. México.
66. Namesny, V. A. (1999). Post-recolección de hortalizas. *Compendios de horticultura*. Ediciones de horticultura Vol. 1. Barcelona, España.
67. Navarrete, G. K. (2009). Aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina para preservar la calidad de la zarzamora (*Rubus fruticosus*) almacenada en refrigeración lista para consumir. Tesis de ingeniero en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México
68. Navarro, L. J. (2007). *Fundamentos del diseño*. Temas para la introducción a los fundamentos del diseño. Universitat Jaume I. España.
69. Nieto B. M. (2009). Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings [Fotografías]. Springer Science Business Media. United States of America.
70. NMX-FF-014-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de la resistencia a la penetración. Consultado el 12 de Septiembre de 2013. Disponible en:  
<<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-014-1982.PDF>>.
71. NMX-F-103-1982. Alimentos. Frutas y derivados. Determinación de Grados °Brix. Consultado el 12 de Septiembre de 2013. Disponible en:  
<<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-103-1982.PDF>>.
72. NMX-FF-023-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano fruta fresca, Pepino (*Cucumis Sativus*) Especificaciones, Dirección General De Normas.



## REFERENCIAS

- Consultado el 12 de Septiembre de 2013. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-023-1982.PDF>.
73. NUTRIDIETA. El pepino [Fotografías]. Consultado el 28 de Julio de 2014. Disponible en: <http://www.nutridieta.com/dieta-del-pepino/>.
74. Ochoa-Reyes, E., Martínez-Vazquez, G., Saucedo-Pompa, S., Montañez, J., Rojas-Molina, R., León-Zapata, M. A., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar, N. C. (2013). Improvement of shelf life quality of green bell peppers using edible coating formulations. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2(6): 2448-2451.
75. Ochoa, E., Saucedo-Pompa, S., Rojas Molina, De la Garza, H., Charles-Rodríguez, A. V., Aguilar, N. (2011). Evaluation of Candelilla wax-based edible coating to prolong the shelf-life quality and safety of apples. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6 (1):92-98.
76. Oliveira, R., Moral, J., Bouhmidi, K., Trapero, A. (2005) Caracterización morfológica y cultural de aislados de *Colletotrichum* spp. causantes de la Antracnosis del olivo. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 31:531-548.
77. Oña, B. C. M., Serrano, P. D. (2014). Control de procesos y seguridad e higiene. Fabricación de conservas vegetales. IC editorial. España.
78. PHTS: Postharvest Handling Technical Series. (2004). Cucumber, postharvest care and market preparation. Technical bulletin, 28:2-12.
79. Pérez, M. G. (2012). Extracción de compuestos activos de plantas para su aplicación en recubrimientos comestibles para controlar podredumbre gris en la fresa. Tesis de ingeniero en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México
80. Pérez, B., Bringas, E., Saucedo, C., Nuñez. V. M., Báez-Sañudo, R. (2003). Efecto del uso de cera comestible en las características físico-químicas de melón cantaloupe. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 5(2): 140-147.
81. Pérez-Gago, M. B., González-Aguilar, G. A., Olivas, G. I. (2010). Edible coatings for fruit and vegetables. *Journal for Reviews in Postharvest Biology and Technology*, 3(4):1-14.



## REFERENCIAS

82. Photita, W., Taylor, W. J. P., Ford, R., Hyde, D. K. Lumyong, S. (2005). Morphological and molecular characterization of *Colletotrichum* species from herbaceous plants in Thailand. *Fungal Diversity*, 18:117-133.
83. Quintero, C. J., Falguera, V., Muñoz, H. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5: 93-118.
84. Rodríguez, S. E. N. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Revista Ra Ximhai*, 7(1):153-170.
85. Romero Bastida C.A., Zamudio Flores P. B., Bello Pérez L.A. (2011). Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: efecto sobre la actividad antibacteriana, micro-estructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3):445-453.
86. Rodríguez-Félix A., Villegas-Ochoa M. A., Fortiz-Hernández J. (2007). Efecto de cubiertas comestibles en la calidad de nopal verdura (*Opuntia* sp) durante el almacenamiento refrigerado. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9:22-42.
87. SIAP: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2013). Consulta De Atlas agroalimentario 2013. Consultado el 4 de Septiembre de 2013. Disponible en: <<http://www.siap.gob.mx/atlas2013/index.html>>.
88. SIAP: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2014). Consulta De Indicadores De Producción Nacional De Pepino. Consultado el 15 de Mayo de 2014. Disponible en: <<http://www.siap.gob.mx/agrresumen-nacional-por-cultivo/>>.
89. Snowdon, L. A. (1991). A colour atlas of Post-Harvest diseases and disorders of fruits and vegetables Vol. 2. Manson Publishing. United States of America.
90. Sosa C. D. D. (2013) Informe de servicio social. Desarrollo y validacion de metodologías para el estudio de la maduración de frutos. Clave 2013-12/41-2808.
91. Tomás, S. A., Bosquez-Molina, E., Stolik, S., Sánchez, F. (2005). Effects of mesquite gum-candelilla wax based edible coatings on the quality of guava fruit (*Psidium guajava* L.). *Journal de Physique IV France*, 125: 889-892.



## REFERENCIAS

92. Tovar-Gómez, B., Mata-Montes de Oca, M., García-Galindo, H. S., Montalvo-González, E. (2011). Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación postcosecha de guanábana. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1):53-61.
93. Trejo-Márquez, M.A., Ramos-López, K., Pérez, G. C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria vesca* L.) almacenada en refrigeración, V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena-España: 231-232.
94. Ullua, J. A. (2007). Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos. Universidad Autónoma de Nayarit, Mexico.
95. Valencia-Chamorro, S. A., Pérez-Gago, M. B., Del Río, M. A., Palou, L. (2009). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored 'Valencia' oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 54:72-79.
96. Valero, D., Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC press. United States of America.
97. Vargas O. W. (1987). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Tecnología del manejo de postcosecha de frutas y hortalizas, Colombia.
98. Velazquez V. M., Bautista S., Niurka A. (2008). Estrategias de control de *Rhizopus stolonifer*, agente causal de pudriciones postcosecha en productos agrícolas. *Revista Mexicana de fitopatología*, 26(1):49-55.
99. Villada, S. H., Acosta, A. H., Velasco, J. R. (2007) Biopolímeros naturales en empaques biodegradables. *Revista Temas Agrarios*, 12(2):5-13.
100. Viñas, A. M. I., Usall, R. J., Echeverria, C. G., Graell, S. J., Lara, A. I., Recasens, G. D. I. (2013). Poscosecha de pera, manzana y melocotón. Universitat de Lleida, España.
101. Zitter, A. T., Hopkins, L. D., Thomas, E. C. (2004). Plagas y enfermedades de las cucurbitáceas. The American Phytopathological. Mundi-Prensa. México.