



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**EVALUACIÓN POSTCOSECHA DE LA APLICACIÓN DE
RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO ADICIONADOS CON ACEITE
ESENCIAL DE ORÉGANO EN JITOMATES VAR. KENTON**

Idónea Comunicación de Resultados

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA

Ing. Selene Carmen Haide Rives Castillo

COMITÉ TUTORAL:

Director:

Dr. Rey Gutiérrez Tolentino

Co-Director:

Dra. Silvia Bautista Baños

Asesor:

M. en C. Daniel Ruíz Juárez

Ciudad de México, Septiembre del 2017.

COMITÉ TUTORAL

Director:

Dr. Rey Gutiérrez Tolentino

Departamento de Producción Agrícola y Animal

División de Ciencias Biológicas de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana

Xochimilco

Ciudad de México.

Co-Directora:

Dra. Silvia Bautista Baños

Departamento Interacciones Planta-Insecto

Laboratorio de Tecnología Postcosecha de Productos Agrícolas

Instituto Politécnico Nacional

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos

Yautepec, Morelos.

Asesor:

M. en C. Daniel Ruíz Juárez

Departamento de Producción Agrícola y Animal

División de Ciencias Biológicas de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana

Xochimilco

Ciudad de México.

Dedicada a...

*Mi Madre Yolanda Andrea Castillo fuente inagotable de amor y comprensión,
ejemplo de fuerza e inspiración.*

*A mi Padre Hector Manuel Rives que me ha dado la oportunidad, fortaleza y
confianza de luchar por cada uno de mis sueños.*

*A mis hermanos: Sara por todo su apoyo a lo largo de mi vida, Zyanya por todos los
consejos, risas y regaños, Aaron por darme ánimo cuando más creí perder el camino y
confiar en mi, a mi Romy mi niña de los ojos hermosos que siempre me impulsa a ser
mejor en todo momento...*

*A José Alejandro, por tomar mi mano y aventurarse conmigo en este vuelo, por creer
en mí desde el principio, por sostenerme cuando más lo necesite, por soportar los malos
días y alentarme en los momentos más lúgubres, pero sobre todo por siempre estar a mi
lado.*

Este logro es también de ustedes...

Gracias totales, los amo!! ...

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACyT), por la beca 706180 otorgada para mis estudios de Maestría sin la cual no hubiera sido posible cumplir este sueño.

Agradezco infinitamente a la Dra. Silvia Bautista Baños por abrirme las puertas para poder realizar mi investigación, los consejos, el tiempo, la dedicación y el esfuerzo que me brindó durante todo este tiempo, no hay palabras suficientes para agradecerle todo lo que hizo por mí y todo lo que aprendí en este tiempo.

Al Dr. Fidel Payán Zelaya por confiar en mí y darme las bases para continuar en el camino de la investigación, por sus palabras de aliento y su incondicional atención.

A mi comité tutorial, Dr. Rey Gutiérrez Tolentino y al M. en C. Daniel Ruíz Juárez.

Especial agradecimiento a la M. en C. Eva Segundo Pedraza, por todos los consejos, tiempo, apoyo y aliento en los momentos más difíciles de la maestría.

Al equipo de investigación del laboratorio de Tecnología postcosecha de productos agrícolas del CEPROBI, la M. en C. Mónica Hernández López, Dra. Rosa Isela Ventura Aguilar, Dra. Laura Barrena Necha y Dra. Zormy Nacary Correa Pacheco por sus consejos y apoyo.

A mis compañeros del laboratorio de tecnología postcosecha de productos agrícolas en CEPROBI (Alejandra, Verónica, María Elena, Mónica Cortés, María Luisa y Adrián) por hacer amena mi estancia aquí y brindarme su amistad.

Un especial agradecimiento para Lupita Abarca, gracias por todo el apoyo, las risas, la confianza, el aprendizaje, la ayuda y la alegría que me brindas, pero sobre todo gracias por tu amistad.

Agradezco enormemente a mis mejores amigas en el mundo, Miriam Tabaco y Esmeralda Romero por ser parte de este sueño por siempre apoyarme, alentarme y hacerme sentir la mejor todo el tiempo, las adoro.

Carmen Alemán gracias por que no solo eres una amiga eres parte de mi familia, este camino no hubiese sido el mismo sin todas las veces que dejaste el cansancio para escucharme.

;; MIL GRACIAS!!

ÍNDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Jitomate	5
2.2 Importancia socioeconómica del jitomate	5
2.2.1 Producción internacional de jitomate	5
2.2.2 Producción de jitomate en México	6
2.2.3 Producción de jitomate en Morelos	7
2.3 Índice postcosecha	8
2.4 Pérdidas postcosecha en México	8
2.4.1 Factores abióticos	9
2.4.2 Factores bióticos	10
2.4.2.1 Enfermedades fúngicas	10
2.4.3 Manejo postcosecha	10
2.5 Tecnologías de conservación postcosecha del jitomate	12
2.5.1 Tratamientos físicos	12
2.5.1.1 Refrigeración	12
2.5.1.2 Tratamientos térmicos	12
2.5.1.3 Atmósferas controladas	13
2.5.2 Tratamientos químicos	14
2.5.3 Tratamientos naturales	14
2.5.3.1 Ceras naturales	14

2.5.3.2 Aceites naturales	15
2.5.3.3 Aceite esencial de orégano	16
2.6 Quitosano	17
2.6.1 Quitosano como recubrimiento comestible	18
2.7 Recubrimientos comestibles a base de quitosano y aceites esenciales	22
III. OBJETIVOS	23
3.1 Objetivo general	23
3.2 Objetivos específicos	23
IV. HIPÓTESIS	23
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1 Obtención del jitomate	24
5.2 Obtención del Aceite Esencial de Orégano (AEO) y quitosano	24
5.3 Preparación de los recubrimientos	25
5.4 Aplicación de los recubrimientos y almacenamiento	26
5.5 Diseño experimental	26
5.5.1 Variables evaluadas	26
5.5.1.1 Variables de Calidad	27
5.5.1.1.1 Color	27
5.5.1.1.2 Firmeza (N)	27
5.5.1.1.3 Sólidos Solubles Totales (SST, % °Bx)	28
5.5.1.1.4 pH	28
5.5.1.1.5 Acidez Titulable (%)	29
5.5.1.1.6 Carotenoides	30
5.5.1.2 Variables fisiológicas	31
5.5.1.2.1 Respiración y producción de etileno	31

5.5.1.3 Evaluaciones microbiológicas	32
5.5.1.3.1 Identificación de microorganismos	33
5.5.1.4 Evaluaciones fitopatológicas	34
5.5.1.4.1 Aislamiento, identificación y frecuencia	34
5.5.1.4.2 Índice de severidad	34
5.5.1.4.3 Incidencia (%)	34
5.5.1.4 Evaluación sensorial	34
5.6 Análisis estadístico	36
VI. RESULTADOS	37
6.1 Variables de calidad	37
6.1.1 Color	37
6.1.2 Firmeza	41
6.1.3 Sólidos Solubles Totales (SST)	42
6.1.4 pH	44
6.1.5 Acidez titulable	45
6.1.6 Contenido de carotenoides	47
6.2 Evaluaciones fisiológicas	48
6.2.1 Producción de CO ₂	48
6.2.2 Producción de etileno	50
6.2.3 Pérdida de peso	51
6.3 Análisis microbiológico	53
6.3.1 Aislamiento e identificación de microorganismos fitopatógenos	55
6.3.2 Índice de severidad de la enfermedad	55
6.3.3 Incidencia de la enfermedad	56
6.3.4 Frecuencia de fitopatógenos	57

6.4 Sensorial	58
VII. DISCUSIÓN	60
VIII. CONCLUSIÓN	64
IX. BIBLIOGRAFÍA	65
X. ANEXOS	77
Anexo 1: Prueba Sensorial	78
Anexo 2: Artículo listo para ser enviado a revista Chapingo-serie-horticultura	79
Anexo 3: Constancia de participación en congreso AMIDIQ 2017	95
Anexo 4: Análisis químico del aceite esencial de orégano	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de jitomate en el mundo por año.	5
Figura 2. Porcentaje de producción de jitomate en el continente Americano.	6
Figura 3. Índice de madurez de cosecha, para frutos de jitomate.	8
Figura 4. Diagrama de flujo del manejo postcosecha del jitomate para exportación.	11
Figura 5. Estructura molecular del quitosano.	17
Figura 6. Invernaderos para la producción de jitomate ubicados en la carretera México-Tepoztlán	24
Figura 7. Tabla de maduración de fruto de jitomate con respecto al color en seis etapas.	24
Figura. 8. Preparación de la solución de quitosano al 1%: (a) pesado del quitosano, (b) adición de 1% de ácido acético, (c) homogenización de la solución a temperatura ambiente, (d) ajuste de pH y (e) estabilización de pH.	25
Figura. 7. Elaboración de los recubrimientos: (a) calentamiento a 70 °C de la solución de quitosano, (b) adición de la cera de abeja, (c) homogenización a 13,500 rpm (d) adición de las concentraciones de aceite esencial de orégano y (e) homogenización final.	25
Figura. 10. Aplicación de los recubrimientos: (a) lavado, (b) etiquetado, (c) inmersión en el recubrimiento, (d) secado y (e) almacenamiento.	26
Figura 11. Colorímetro Kónica-Minolta, Sensing.	27
Figura 12. Medición de la firmeza: (a) colocación del fruto en el penetrómetro y (b) aplicación de fuerza.	28
Figura 13. Medición de SST: (a) toma del jugo de los frutos con pipeta, (b) colocación de la gota sobre el sensor del refractómetro y (c) lectura.	28
Figura 14. Lectura del pH en el pH-metro Navih F-51 (Horiba)	29
Figura 15. Medición de la acidez titulable: (a) obtención del peso de la muestra, (b) homogenización, (c), filtrado, (d), titulación con NaOH, 1 N y (e) cambio de coloración de la solución con la aplicación de pH 8.1.	30

Figura 16. Extracción de carotenoides: (a) Pesado de la muestra, (b) adición de 10 mL de hexano/acetona/etanol, (c), macerado y (d) recuperación de la muestra en tubos eppendorf, (e) centrifugación a 6500 rpp, (f) recuperación de la fase hexánica, (g) vaciado de la fase hexánica en celdas de cuarzo y (h) lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.	31
Figura 17..Obtención de CO ₂ y etileno: (a) contenedores cerrados con frutos, (b) obtención de los gases, (c) almacenamiento de los gases en tubos vancoutainer, (d) jeringa Nipro Medical Corporation para inyección en cromatógrafo y (e) inyección de los gases en el cromatógrafo.	32
Figura 18. Toma de peso con balanza	32
Figura 19. Preparación de diluciones: (a) solución peptonada, (b) muestra de tratamientos suspendidos en agua peptonada y (c) elaboración de diluciones de 10 ¹ hasta 10 ⁶ .	33
Figura 20.Análisis microbiológico: (a) vaciado de 100 m L de la dilución bacteriana, (b) esparcimiento de la dilución sobre la superficie de la caja Petri con asa de Drigalsky, (c) incubación de las cajas y (d,) conteo de UFC en las cajas Petri con medio PDA y AST.	34
Figura 21. Evaluación sensorial: (a) aleatorización de frutos, (b) vasos rotulados con número de tres dígitos y aleatorización de frutos dentro de los vasos rotulados.	35
Figura 22. Muestras para su evaluación sensorial.	35
Figura 23. Mesa de evaluación (a) y panelistas (b1 y b2).	36
Figura 24. Desarrollo del color °Hue de jitomates verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	37
Figura 25. Desarrollo del color °Hue de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), y almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	38
Figura 26. Luminosidad de jitomates verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	38

Figura 27. Luminosidad de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	39
Figura 28. . Cromo de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	40
Figura 29. Cromo de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	40
Figura 30. Firmeza (N) de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación)	41
Figura 31. Firmeza (N) de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	42
Figura 32. Contenido de SST en jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	43
Figura 33. Sólidos Solubles Totales (SST) de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	43
Figura 34. pH de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano (Q) adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	44
Figura 35. pH de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente	45

(periodo de aclimatación).

Figura 36. Porcentaje de acidez titulable verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	46
Figura 37. Porcentaje de acidez titulable de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	46
Figura 38. Contenido de carotenoides de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	47
Figura 39. Contenido de carotenoides de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).	48
Figura 40. Producción de CO ₂ de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).	49
Figura 41. Producción de CO ₂ de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).	50
Figura 42. Producción de etileno de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).	50
Figura 43. Producción de etileno de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).	51
Figura 44. Pérdida de peso de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de	52

aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

Figura 45. Pérdida de peso de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación). 53

Figura 46. Géneros de hongos fitopatógenos aislados e identificados en jitomates del estado de madurez rojo, en los cuatro tratamientos evaluados. (A) *Fusarium* spp., (B) *Cladosporium* spp., (C) *Geotrichum* spp. y (D) *Alternaria* spp. 55

Figura 47. Incidencia (%) de la enfermedad en jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano, cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento 57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Países productores de jitomate fresco en el 2014	6
Cuadro 2. Productos de exportación en México durante 2012	7
Cuadro 3. Principales productos químicos usados postcosecha en jitomate en México.	14
Cuadro 4. Efecto del quitosano en la maduración y calidad de algunos productos hortifrutícolas	20
Cuadro 5. Microorganismos presentes en jitomate verde-pintón, tratados y no tratados con cubiertas de quitosano y diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), después de 16 días de almacenamiento	53
Cuadro 6. Presencia de microorganismos en jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano y diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), después de 16 días de almacenamiento.	54
Cuadro 7. Índice de severidad de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento.	56
Cuadro 8. Frecuencia de fitopatógenos aislados de jitomates cosechados en estado de madurez rojo tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento	57
Cuadro 9. Prueba sensorial en jitomates verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenado a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).	58
Cuadro 10. Prueba sensorial en jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación)	59

RESUMEN

En 2016, México fue el principal país exportador de jitomate ya que aportó aproximadamente el 18% de la producción mundial. Con el objetivo principal de mantener la calidad y controlar la incidencia de microorganismos patógenos durante el almacenamiento, destaca la aplicación de recubrimientos a base de compuestos naturales, dentro de los que se incluye al quitosano, la cera de abeja y los aceites esenciales como el de orégano.

Se evaluó el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles a base de quitosano 1%, ácido acético 1%, cera de abeja 0.1%, glicerol 0.3% y aceite esencial de orégano en diferentes concentraciones: 0.005, 0.01 y 0.03%, en el proceso de maduración de jitomates var. 'Kenton'. Las variables que se evaluaron fueron: 1. Calidad: color, firmeza, SST, pH, acidez y contenido de carotenoides; 2. Fisiológicas: producción de CO₂ y etileno y pérdida de peso, 3. Microbiológicas: severidad e incidencia de la enfermedad, identificación y frecuencia de microorganismos. y 4. Análisis sensorial (color, aroma y sabor). Los experimentos se realizaron en jitomates de dos estados de madurez verde-pintón y rojo-maduro. Los frutos se almacenaron durante 12 días a 10 °C ± 2 °C, más seis a ocho días adicionales de aclimatación a temperatura ambiente (25 °C ± 2 °C). El diseño experimental fue completamente al azar, se realizó un ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Los resultados mostraron que el recubrimiento de quitosano 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% de aceite esencial de orégano (AEO) retrasaron la maduración; el color °Hue mostró una disminución normal en los jitomates verde-pintón de 70° a 48°, mientras que en los rojo-maduro el color fue constante (°40). La mayor firmeza (20N), se obtuvo en los jitomates de ambas etapas de madurez, tratados con quitosano 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.3% AEO. El contenido de SST, pH y acidez fueron constantes durante ambos periodos de almacenamiento y en ambos estados de madurez. Respecto a los carotenoides, se observó un incremento notable de hasta 24 $\mu\text{L g}^{-1}$, en los jitomates rojo-maduro. La producción de CO₂ varió de 18 a 25 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ mientras que, la de

etileno varió pero fue nula en ambos estados de madurez. La pérdida de peso se incrementó con los días de almacenamiento. No se desarrollaron microorganismos patógenos en los jitomates verde-pintón; sin embargo, en los rojo-maduro y sin recubrimiento, se registró el mayor número de UFC (>200 UFC). Con el tratamiento quitosano 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.3% AEO se registro el menor número de UFC (31 UFC). Con este recubrimiento se tuvo el mayor control (63%) de hongos fitopatógenos. Los principales hongos aislados fueron de los géneros *Alternaria*, *Botrytis* y *Fusarium*, también se identificó una posible bacteria del género *Stenotrophomona*. De la prueba sensorial, los jitomates verde-pintón tratados con el recubrimiento quitosano 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.3% AEO, obtuvieron el puntaje más alto respecto a las categorías de color y sabor, mientras que, los frutos rojo-maduro, sin recubrimiento, tuvieron el puntaje mayor respecto al color, aroma y sabor.

La aplicación de recubrimientos en jitomates independientemente de su estado de madurez, es una alternativa viable para el control de microorganismos patógenos durante el almacenamiento, ya que, en general en este estudio, no se observaron efectos negativos en su proceso de maduración, ni en su calidad sensorial.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las hortalizas, son los cultivos con mayor demanda para su consumo en fresco (FAOSTAT, 2015). A nivel mundial entre los productos hortícolas con mayor demanda se encuentra la familia de las Solanaceas, la cual ocupan la mitad de la producción hortícola mundial (FAOSTAT, 2015). En particular el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los frutos con mayor demanda; sin embargo, son productos altamente perecederos, por lo que si no se llevan a cabo buenas prácticas de conservación, particularmente durante la cosecha, almacenamiento y transporte, su vida de anaquel es más corta con la consecuente maduración rápida, pérdida de la calidad y la presencia de pudriciones causadas por microorganismos (Bautista-Baños *et al.*, 2008). Para minimizar esto, es necesario estar en armonía con el medioambiente, las prácticas de manejo postcosecha están direccionadas en el uso de películas comestibles biodegradables y en el uso potencial de las plantas, de las cuales se pueden obtener principios activos y extractos con propiedades antimicrobianas (Ramos-García *et al.*, 2012).

Actualmente, se han realizado múltiples investigaciones con extractos vegetales y aceites esenciales que sirven como agentes antimicrobianos (Bautista-Baños *et al.*, 2003; Sivakumar y Bautista-Baños, 2014). Los aceites esenciales son considerados una alternativa importante para el manejo de enfermedades en la agricultura, debido a su reconocida actividad antimicrobiana sobre diversos microorganismos de importancia económica (Rojas-Fernández *et al.*, 2014). Por ejemplo, García-Camarillo *et al.* (2006) reportaron el efecto inhibitorio de los aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y orégano (*Origanum vulgare* L.) sobre *Aspergillus flavus*. Otro aceite esencial con actividad antibacteriana y antifúngica ha sido el aceite esencial de té limón (*Cymbopogon citratus*) que se reportó con efecto inhibitorio sobre fitopatógenos como *Pectobacterium carotovorum*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *A. niger* (Mi-Ran *et al.*, 2009). Por su parte, Ramos-García *et al.* (2010) mencionaron la actividad antimicrobiana de diversos aceites en diferentes productos hortofrutícolas entre los que se incluye al orégano. En general, la utilización de aceites en concentraciones mínimas no genera alteraciones en los productos hortícolas y además, en su mayoría se

consideran compuestos GRAS (Generalmente Considerado como Seguros, por sus siglas en inglés) (Bakkali *et al.*, 2008).

Adicionalmente, el uso de recubrimientos a base de quitosano; compuesto natural no tóxico y biodegradable, también se ha experimentado en numerosos productos hortofrutícolas, ya que en numerosos estudios, se reporta su efectividad como un polímero que favorece la formación de cubiertas y como agente antimicrobiano (Bautista-Baños *et al.*, 2006).

El uso de recubrimientos comestibles biodegradables tiene como objetivo principal proporcionar a los productores y exportadores de jitomate otras alternativas de conservación que sean amigables con el medio ambiente y con los consumidores, mediante la reducción del uso de agroquímicos, los cuales comúnmente se utilizan para alargar la vida de anaquel de la mayoría de las hortalizas. Por lo que, en ésta investigación se tuvo como objetivo principal evaluar la aplicación de recubrimientos biodegradables a base de quitosano adicionados con aceite esencial de orégano, en la vida postcosecha de frutos de jitomate var. 'Kenton', en dos estados de madurez.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Jitomate

La palabra jitomate deriva de los vocablos náhuatl (*xictli* = ombligo) y (*tomatl* = tomate) que significa tomate de ombligo (Moreno, 2010). El jitomate es originario de la región Sur Central del Perú y por su amplia adaptación puede cultivarse en diversos ambientes secos y húmedos (Bai y Lindhound, 2007). Moreno (2010) menciona que la domesticación del género *Lycopersicum* ocurrió en México por evidencias históricas, culturales, lingüísticas y etnobotánicas. Los registros históricos señalan que fue en el año de 1523 cuando se encontró en forma domesticada en México y después se llevó y distribuyó por Europa.

2.2 Importancia socioeconómica del jitomate

2.2.1 Producción Internacional de jitomate

A nivel mundial la producción de jitomate ha estado en constante aumento (Figura 1), según lo reporta FAOSTAT (2014) la producción de jitomate aumentó 7.31 millones de toneladas anuales.

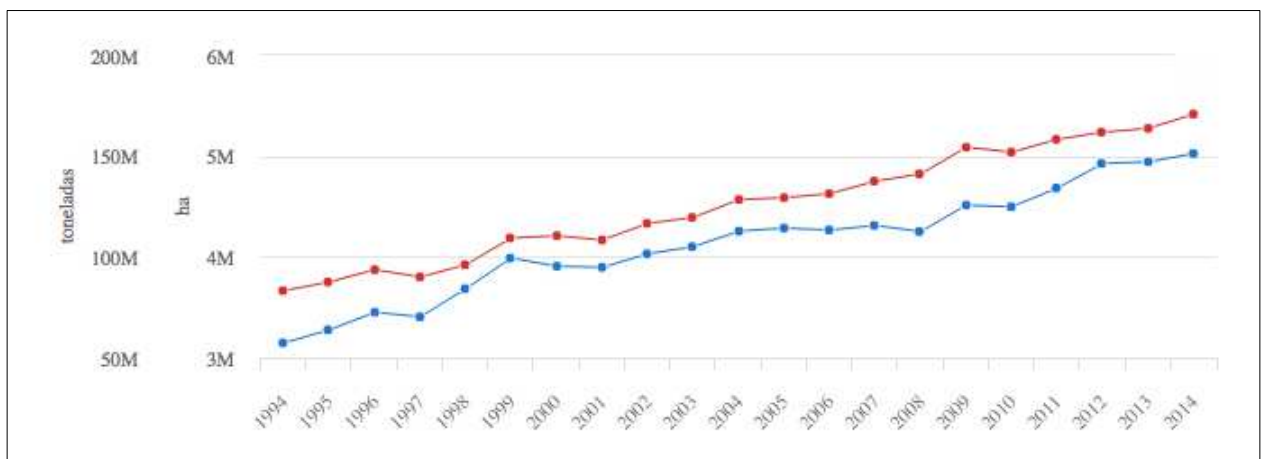


Figura 1. Producción de jitomate en el mundo por año

Fuente: FAOSTAT (2014).

En los últimos 12 años, el continente Americano ha ocupado el tercer lugar en producción de jitomate a nivel mundial (Figura 2), lo que representa un total de 18.7% del total de la producción mundial.

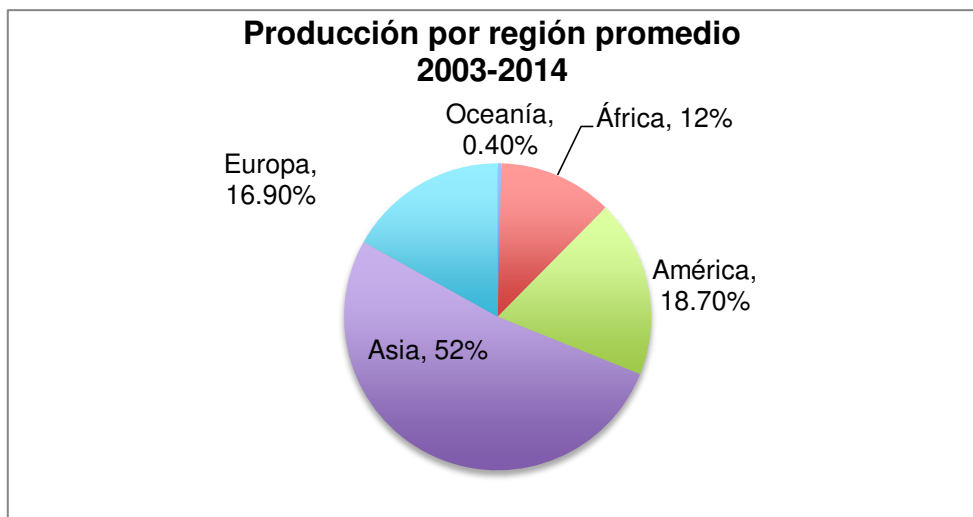


Figura 2. Porcentaje de producción de jitomate en el continente Americano
Fuente: FAOSTAT (2014).

En el año 2014, los diez países con mayor producción de jitomate a nivel mundial fueron China, E.U.A., India, Turquía, Egipto, Italia, Irán, España, Brasil y México (Cuadro 1) de la cual México aportó el 3% (SAGARPA, 2010).

Cuadro 1. Países productores de jitomate fresco en el 2014

País	Producción Toneladas (t)
China	31, 244, 788.57
Estados Unidos de América	12, 534, 539.86
India	10, 011, 538.57
Turquía	9, 472, 727.62
Egipto	7, 369, 800.95
Italia	6, 263,649.86
Irán	4, 26, 867
España	3, 930, 714.48
Brasil	3, 482, 583.57
* México	2, 781, 874.86

Fuente: FAOSTAT (2014).

2.2.2 Producción de jitomate en México

Los organismos de la FAOSTAT y SAGARPA (2015) indican que México obtuvo el primer lugar en exportación de jitomate, y aportó el 18% de la producción mundial, con un total de 2.8 millones de t con un valor de 20 mil millones de pesos. Esto hace que actualmente el cultivo del jitomate sea el principal producto agrícola de mayor

importancia económica para México, anteponiéndose al maíz. En el Cuadro 2, se enlistan los principales productos de origen agrícola que se exportan de México a otros países.

Cuadro 2. Productos de exportación en México durante 2012.

Producto	Producción en toneladas (t)
Cebada	2,403,606
Jitomate	1,472,390
Azúcar refinada	813,420
Maíz	772,906
Chiles, pimientos, frescos	767,860
Hortalizas	672,613
Limonos y limas	625,234
Trigo	6,112,499
Sandías	563,091
Pepinos y pepinillos	540,334
Aguacates	494,481
Bebidas, no alcohólicas	417,060

Fuente: FAOSTAT (2013), SAGARPA (2013).

En México el principal productor de jitomate es el estado de Sinaloa, cuya producción representa el 36.6% del total nacional, el segundo lugar lo ocupa Baja California, con 11.2%, seguido por los estados de Michoacán, Jalisco, Zacatecas y San Luis Potosí con 8.8%, 6.1%, 5.5% y 5.1%, respectivamente (SIAP, 2016). Regionalmente, a todo lo largo del territorio nacional se distribuye la producción de esta hortaliza; sin embargo, la zona productora de mayor importancia es la noroeste (FND, 2014).

2.2.3 Producción de jitomate en el estado de Morelos

El SIAP (2016) reportó que Morelos, México ocupó el segundo lugar en producción de jitomate de temporal y representó el 26.1% de la superficie sembrada a nivel nacional y el 20.71% del valor de la producción de este cultivo en el país. Además, aportó el 4.5% de la producción nacional (SIAP, 2015) y dió como ganancia neta al estado un total de 478.1 millones de pesos (SAGARPA, 2015). Esto hace al cultivo del jitomate el más rentable de la región y una de las principales fuentes de ingresos para las familias Morelenses.

2.3 Índice de cosecha del jitomate

La cosecha del jitomate es muy importante ya que de ésta depende en gran parte de la calidad final del fruto. El momento más adecuado de cosecha está dado por las preferencias del mercado, el tiempo que demora el producto en llegar desde el campo al consumidor y del objetivo de la producción (Moreno, 2010).

El fruto del jitomate es climatérico, es decir, sigue madurando una vez que ha sido cosechado. De acuerdo a la Norma NMX-FF-031-1997, el momento de cosecha tiende a acercarse lo más posible al estado de madurez verde-maduro o verde-pintón debido a que la tecnología postcosecha para el mercado nacional es todavía precaria y por lo tanto al cosechar en estados incipientes de madurez permitirá un margen adecuado para la manipulación durante la cosecha, embalaje, transporte, anaquel y llegada al consumidor sin problemas graves de sobre madurez (Hernández *et al.*, 2011).

SAGARPA (2010) especifica las características de color de fruto, grado de madurez, siendo estas: verde-maduro, quebrado, tronado, rosa, rosa claro y rojo (Figura 3).

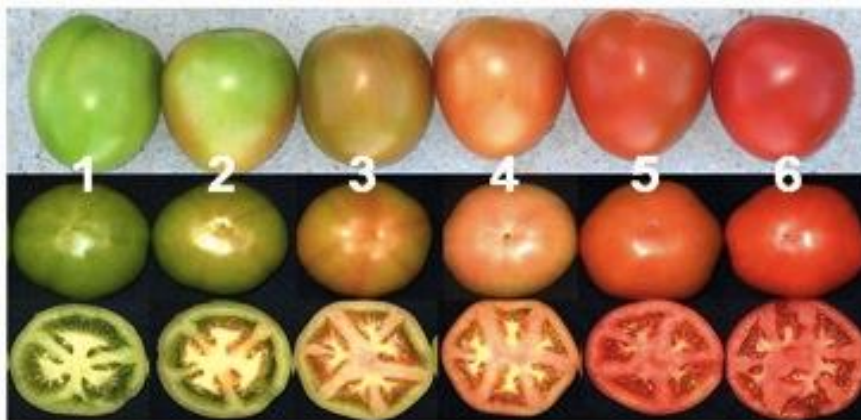


Figura 3. Índice de madurez de cosecha, para frutos de jitomate
Fuente: SAGARPA (2010).

2.4 Pérdidas postcosecha de jitomate en México

En un estudio realizado por la SEDESOL (2014) menciona que en México se pierde aproximadamente el 29% de jitomate del total de la producción. Las principales razones de esto se asocian con la discriminación de frutos, por no alcanzar la calidad requerida

del mercado internacional principalmente y en ocasiones del mercado nacional (Ramos-García, 2012).

También las enfermedades postcosecha se han identificado como una de las mayores causas de pérdidas postcosecha. En países en desarrollo se ha reportado hasta 40% de los productos hortofrutícolas se pierden (Gustavsson *et al.*, 2011). En España, Sanidad Vegetal señaló que el 53% de las pérdidas de jitomate durante la postcosecha se debieron a la interacción de hongos fitopatógenos y el 7% por bacterias en frutos de jitomate (SAVES, 2015).

2.4.1 Factores abióticos

El factor abiótico que afecta la calidad del jitomate durante la etapa postcosecha es principalmente la temperatura de almacenamiento. En relación a la temperatura baja, para el jitomate se consideran aquellas por debajo de 12-13 °C. La razón es que ésta hortaliza es sensible al daño por frío y por ello las temperaturas deben manejarse cuidadosamente después de la cosecha. Debido a que los períodos de enfriamiento para el fruto de jitomate son acumulativos, los efectos del frío en el fruto pueden presentarse desde el campo, durante el transporte y el almacenamiento (FAO, 2012).

Los frutos que se mantienen por debajo de 10 °C pueden ser susceptibles a podredumbres causadas por hongos del género *Alternaria* sp., durante la subsecuente maduración (FAO, 2012). Los frutos totalmente maduros (rojos), se pueden enfriar de 2-5 °C por 7 días. De otra manera el color se vuelve pálido, se ablandan excesivamente y pierden el aroma y el sabor característicos. En relación a las temperaturas altas, los frutos de jitomate que se almacenan a una temperatura por encima de 25 °C sufren daños, y se producen alteraciones en la maduración con alteraciones en el color (los frutos se tornan de color amarillo o naranja en vez de rojo). Igualmente, el desarrollo del licopeno (pigmento rojo) se detiene, aunque la síntesis de carotenoides (amarillos y naranjas) continúa. Ocasionalmente éste efecto puede revertirse alternando temperaturas de conservación entre 18-24 °C (FAO, 2012). Por lo que la temperatura

óptima para su maduración está en el rango de 18 a 21 °C, con una humedad relativa del 85-88%.

2.4.2 Factores bióticos

El daño por frío (temperaturas inferiores a los 12 °C) así como las grietas o heridas de la superficie del fruto causadas en la cosecha y manejo, pueden inducir interacción de microorganismos, la colonización y la infección en el fruto de jitomate (Ronco *et al.*, 2008).

Entre los microorganismos que causan enfermedades destacan los siguientes géneros de hongos y bacterias: *Rhizopus* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Stenotrophomona* spp., *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. y *Pectobacterium* spp. (Ronco *et al.*, 2008).

2.4.2.1 Enfermedades fúngicas

Durante la cosecha y cadena postcosecha el jitomate es susceptible al ataque de hongos fitopatógenos que ocasionan pudriciones severas. Las enfermedades fúngicas aumentan cuando la humedad y la temperatura se incrementan (Álvarez y Delgadillo, 2004). Los principales hongos que causan enfermedades fúngicas son *Geotrichum candidum* causante de la pudrición ácida fúngica; *Colletotrichum gloeosporioides* causante de la antracnosis; *Botrytis cinerea* causante de la podredumbre gris, *Cladosporium fulvum* causante de cladosporiosis; *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* originaria de la podredumbre del fruto “Buckeye”, *Alternaria alternata*, del moho negro, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* y *Rhizopus stolonifer* de la pudrición del fruto (SEMINIS, 2015).

2.4.3 Manejo postcosecha del jitomate

Durante la etapa postcosecha, el jitomate se somete a una serie de prácticas de acondicionamientos, las cuales dependerán de su destino (COFUPRO, 2008).

En general, para el mercado nacional, después de la recolección, los frutos se depositan en contenedores específicos de cosecha, hechos de madera ('huacales') o en cajas de cartón y se transportan a diferentes mercados para su venta y ser inmediatamente comercializados. Para los frutos de exportación la cadena postcosecha es más larga y complicada ya que después de la cosecha, los frutos se llevan a una empacadora, donde se realiza el lavado del fruto, encerado, selección y donde se aplican los criterios de peso, color, tamaño y textura. Por último, se lleva a cabo el empaque y almacenamiento bajo una temperatura controlada (Navarro, 2011) (FAO, 2015) (Figura 4).

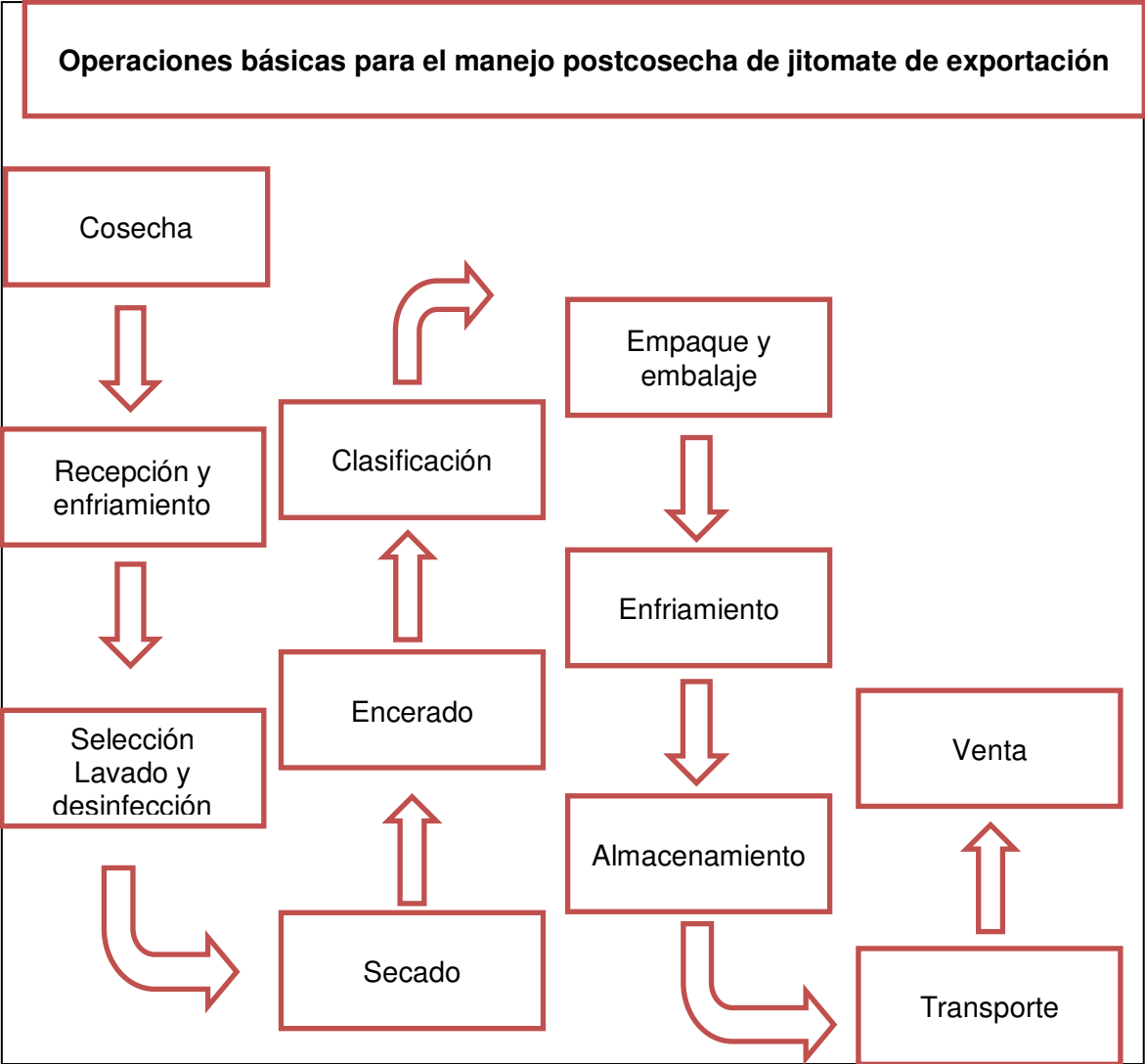


Figura 4. Diagrama de flujo del manejo postcosecha del jitomate para exportación
Fuente: Baez-Sañudo *et al.*, 2013.

2.5 Tecnologías de conservación postcosecha del jitomate

Para conservar la calidad e inocuidad de los frutos de jitomate, actualmente, se emplean diversos métodos de preservación postcosecha, entre los que se encuentra la aplicación de tratamientos físicos, químicos y en experimentación, los tratamientos naturales que incluyen compuestos naturales, no tóxicos y biodegradables (Ruíz *et al.*, 2012).

2.5.1 Tratamientos físicos

2.5.1.1 Refrigeración

La refrigeración es una técnica en la cual la temperatura del fruto se reduce por debajo de la temperatura del medio ambiente hasta un rango de 1-4 °C; el calor se retira del fruto para reducir su temperatura, actuando sobre los procesos fisiológicos del fruto (respiración, maduración) y de los microorganismos, lo que alarga la vida útil del alimento (Brennan y Grandison, 2012).

Esta técnica es de las más utilizadas para reducir la maduración y daños causados por hongos y bacterias (Siripatrawan y Assatarakil, 2009). En el caso del fruto de jitomate, se pueden presentar daños por frío cuando se almacenan por un tiempo mayor a dos semanas en temperaturas inferiores a los 10°C, proceso que puede afectar sus propiedades sensoriales. Igualmente, puede causar la formación de áreas blandas y oscurecimiento de semillas, e incrementar la susceptibilidad de los frutos a ciertos microorganismos (Notario-Medellín y Sosa-Morales, 2012).

2.5.1.2 Tratamientos térmicos

Para reducir el riesgo que generan los daños por refrigeración, se puede hacer uso en conjunto de otras técnicas de conservación, como los tratamientos térmicos. Éste tipo de técnica está catalogada como tratamiento físico amigables con el medio ambiente, su mecanismo de acción se basa en que retarda el proceso de maduración y controla la actividad de los microorganismos presentes en las hortalizas, por tal motivo es de gran eficiencia en el control de ataques microbianos (Sosa-Morales *et al.*, 2011).

Dentro de los tratamientos térmicos postcosecha más utilizados, se encuentra la inmersión en agua caliente (shock térmico con agua caliente a temperaturas superiores a los 40°C), exposición al aire caliente (45°C o más) o los tratamientos con vapor (similar a la exposición a corriente de aire, pero con el uso de aire saturado) (Sosa-Morales *et al.*, 2011).

Akbudak y Akbudak (2007) compararon el efecto de la inmersión de jitomates var. “cherry” en agua caliente a 54 °C durante 5 min, previo al empacado en atmósferas controladas, sobre algunas variables de calidad (pérdida de peso, sólidos solubles totales, firmeza, acidez titulable y carotenos). Los autores observaron que los frutos tratados con agua caliente y bajo O₂, tuvieron menor pérdida de peso durante todo su almacenamiento. Por su parte Soto-Zamora *et al.* (2004) realizaron tratamientos con aire caliente a 34 y 38 °C y temperaturas de almacenamiento de 4 y 20 °C, durante 34 h en la var. “rhapsody” y por más de cuatro semanas. Estos tratamientos no previnieron el daño por frío a 4 °C, mientras que los que se sometieron a 38 °C presentaron mayor cantidad de licopeno.

2.5.1.3 Atmosferas controladas

Las atmósferas controladas alargan la vida del fruto de jitomate en anaquel, además permiten realizar la cosecha de los frutos en estados de madurez más avanzada, sin afectar la calidad de los frutos (FAO, 2012). Sin embargo, el uso de atmósferas controladas no está generalizado principalmente por aspectos económicos, ya que aumenta el costo en alrededor del 40%, debido a que el almacén refrigerado, debe ser impermeable a los gases y adecuarse para el almacenamiento en atmósfera controlada.

Las atmósferas controladas se han aplicado en jitomates, principalmente en la var “cherry”. Notario-Medellín y Sosa-Morales (2012), quienes reportaron la aplicación de concentraciones de O₂ de 3% y de N₂ de 97% en jitomate verde-maduro, logrando conservarlos hasta por seis semanas a 13 °C. En otra combinación de O₂ al 4%, CO₂ al 2% y CO al 5%, jitomates del mismo estado de madurez que el anterior, pudieron almacenarse a 13 °C durante siete semanas bajo éstas condiciones y extender su vida de anaquel a 20 °C durante dos semanas posteriores (FAO, 2010).

2.5.2 Tratamientos químicos

Los principales tratamientos químicos utilizados para el control de microorganismos en el jitomate, son el hipoclorito de sodio, sulfato de estreptomicina, ácido peroxiácetico, dióxido de cloro y la kasugamicina (NATTWG, 2008), entre otros. Los productos químicos como la estreptomicina o que contienen cobre, se aplican durante la floración ya que previenen las enfermedades causadas por bacterias en jitomate durante la postcosecha (Ruíz *et al.*, 2012). Al respecto, Herrero (1992) señala que el hipoclorito de sodio es efectivo sobre todas las bacterias y esporas de hongos, además, su efectividad biológica se aplica a un amplio intervalo de temperaturas. Por su parte Mahovic *et al.* (2006) recomiendan el uso de cloro a una concentración de 150 - 200 ppm con un pH de 6.5 a 7.5, para su mejor eficiencia en el control de patógenos postcosecha.

El Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California, emite el siguiente cuadro con las recomendaciones de uso de sanitizadores para jitomate en postcosecha (Cuadro 3).

Cuadro 3. Principales productos químicos usados postcosecha en jitomate en México

Organismo	Cloro Libre	Dióxido de cloro	Ozono
	pH 6-7	pH 6-7	pH 6-7
	(mg.min L⁻¹)	(mg.min L⁻¹)	(mg.min L⁻¹)
Bacterias	0.0034 – 0.005	0.4 – 0.75	0 – 0.2
Hongos	1.1 – 2.5	0.2 – 6.7	0.1 0.2

Fuente: CESVEBC (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California), 2008.

2.5.3 Tratamientos naturales

2.5.3.1 Ceras naturales

En la elaboración de recubrimientos comestibles se han utilizado diferentes ceras entre las que destacan la cera de abeja, ácidos grasos, cera de candelilla, carbanuba y gomas para las formulaciones de los recubrimientos comestibles y mejorar el aspecto de los productos hortofrutícolas (Ramos-García, 2012).

La cera de abeja está constituida principalmente por lípidos y flavonoides, los cuales son compuestos que tienen efectos antimicrobianos (All-Walli, 2005), que originan alteraciones en la membrana de los patógenos e inhiben su metabolismo. Al respecto, Ramos-García *et al.* (2012) aplicaron un recubrimiento a base de quitosano 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de limón 0.1% y ácido acético 1% en jitomates en estado de madurez veteado; mediante el cual se obtuvo un efecto antibacterial sobre *Escherichia coli* DH5 α además, se observó una notable disminución en la pérdida de peso, reportándose también que en general los atributos de calidad se mantuvieron durante el almacenamiento. Por su parte, Fagundes *et al.* (2014) elaboraron un recubrimiento comestible con cera de abeja e hidroxipropil-metilcelulosa (HPMC) para su aplicación en aguacate “Hass” el cual no afectó sus atributos de calidad durante el almacenamiento, mientras que, Villegas y Albarracin (2016) probaron éste mismo recubrimiento pero en moras de castilla, para evaluar su efecto en la conservación de la fruta, logrando aumentar la vida útil de esta fruta por 14 días a 4 °C.

2.5.3.2 Aceites esenciales

Los aceites esenciales son líquidos aromáticos aceitosos, obtenidos a partir de material vegetal (flores, brotes, hojas, ramas, cortezas, hierbas, madera, frutos y raíces) (Burt, 2004). Los aceites se obtienen mediante expresión, fermentación, extracción o destilación de vapor (Van de Braak y Leijten, 1999). Se estima que en el mundo se conocen cerca de 3000 aceites esenciales, de los cuales solo 300 son de importancia comercial, destinados principalmente a la industria de sabores y fragancias (Rodríguez *et al.*, 2007).

Los aceites esenciales que se extraen de plantas son ricos en compuestos biológicamente activos, tales como terpenoides, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos, que confieren propiedades medicinales, antibacterianas y antifúngicas como una alternativa al sistema convencional de plaguicidas (Sotelo-Boyás *et al.*, 2015). Ramos-García *et al.* (2012) reportaron la actividad bacteriológica de diversos aceites esenciales en frutos de jitomate debido a la configuración estructural de sus componentes y sus grupos funcionales. La hidrofobicidad de los aceites esenciales, les

permite incorporarse a la membrana bacteriana ocasionando trastornos en su estructura y permeabilidad, dando lugar a la fuga de iones y otros compuestos (Bosquez-Molina *et al.*, 2009).

2.5.3.3 Aceite esencial de orégano (AEO)

El orégano es una planta aromática que se cultiva en varias regiones del mundo, cuyo valor comercial se debe a sus características como especie, condimento y propiedades medicinales. De mayor importancia industrial y farmacéutica es su aceite esencial, el cual se emplea como fragancia en jabones, perfumes, cosméticos, saborizantes, entre otros (Koksal *et al.*, 2010) además, posee propiedades antibacteriales, antifúngicas, antiparasitarias, antimicrobianas y antioxidantes (Rivero *et al.*, 2011). Motivo por el cual, estos aceites han despertado un creciente interés en la conservación de los alimentos.

Pérez-Gago *et al.* (2012) mencionan que los primeros estudios realizados con los compuestos activos del orégano y en particular del aceite esencial, se encaminaron a la determinación de su efecto contra microorganismos patógenos (bacterias, hongos y virus). Sökmen *et al.* (2004) realizaron un estudio del efecto antimicrobiano y antiviral del aceite esencial y varios extractos de orégano. En ese estudio se comprobó la efectividad del aceite esencial contra 27 de 35 bacterias evaluadas y 12 de 18 hongos.

Plotto *et al.* (2003) observaron *in-vitro* que el AEO mantuvo una actividad fungicida. El aceite de orégano tuvo un efecto inhibitorio sobre *Rhizopus stolonifer* a concentraciones de 10.000 mg L⁻¹. García-Camarillo *et al.* (2006) evaluaron la actividad antifúngica del AEO contra *A. flavus* en la producción de aflatoxinas de nuez pecanera. Se obtuvo la inhibición del hongo en concentraciones de 2000 ppm. En otra investigación realizada por Pontigo-Suárez *et al.* (2015) reportaron que éste aceite a 5000 ppm tuvo un efecto antifúngico y antibacteriano sobre *C. gloeosporioides* y *Salmonella* spp. aislados de frutos de papaya.

2.6 Quitosano

El quitosano es un polisacárido que se obtiene del exoesqueleto de los crustáceos mediante desacetilación parcial de la quitina y su estructura está integrada por β - (1-4) - 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranososa y por enlaces glicosídicos (Figura 5) (Bautista-Baños *et al.*, 2016).

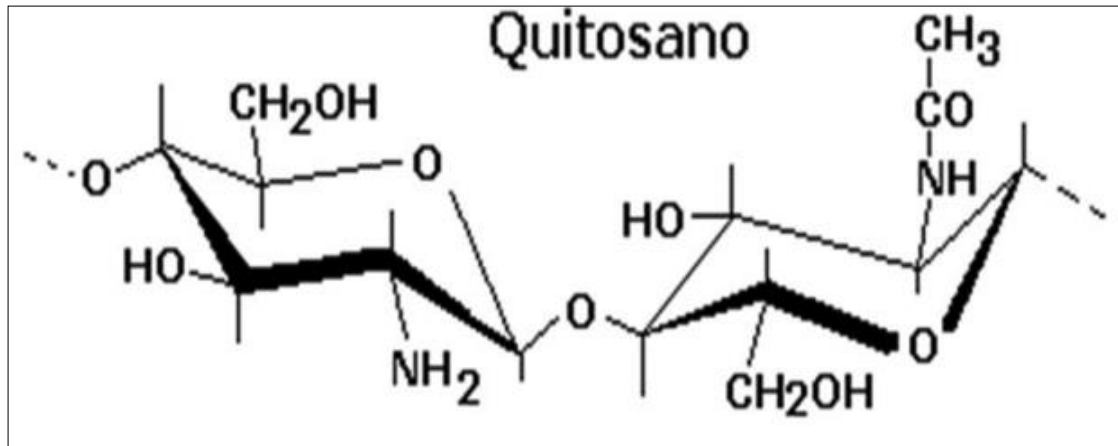


Figura 5. Estructura molecular del quitosano
Fuente: Lárez (2003).

Es un compuesto que presenta características biofuncionales, es biocompatible con el cuerpo humano y no genera daños a la salud ya que éste compuesto se degrada en el metabolismo sin crear reacción alguna. Además, es un agente quelante; absorbe metales pesados como el mercurio, cadmio, plomo, etc. por lo que se utiliza en aguas residuales contaminadas con estos metales (Agnihotri *et al.*, 2004).

Diversos autores han documentado que el uso de quitosano puede controlar patógenos fúngicos, bacterias y virus (Bautista-Baños *et al.*, 2006). Los estudios mencionan que el quitosano tiene una actividad antimicrobiana directa al actuar directamente sobre la morfología del microorganismo ya que actúa sobre la membrana citoplasmática de los hongos causando alteraciones en los gradientes de Ca^{++} . Además, éste compuesto induce una serie de reacciones de defensa mediante la síntesis de enzimas asociadas a la inducción de defensa. Aumenta la producción de glucano hidrolasas, que son compuestos fenólicos, y la síntesis de fitoalexinas específicas que generan una

actividad antifúngica, y reduce enzimas macerantes como la poligalacturonasas y la pectin-metil esterasa, entre otras (Sivakumar, 2016).

El quitosano se ha aplicado en forma exitosa en el control de varias enfermedades postcosecha incluidas podredumbres causadas por *Monilinia fucticola* en duraznos (Li *et al.*, 2000) y nectarinas (Casals *et al.*, 2012), en el manejo de moho gris en uvas (Romanazzi *et al.*, 2002), reduce enfermedades en frambuesas, mangostán, fresas (Vargas *et al.*, 2006), pepinos, chiles (Grahouth *et al.*, 1991), guayaba (Rama *et al.*, 2014) y papaya durante el almacenamiento (Alí *et al.*, 2011).

En el caso particular del jitomate, Liu *et al.* (2007) investigaron el efecto de quitosano al 2% sobre el control de *B. cinerea*; sus resultados demostraron que el quitosano fue efectivo en inhibir este patógenos a una temperatura de 25 ± 2 °C. Badawy y Rabea (2009) evaluaron el efecto del quitosano de diferentes pesos moleculares sobre este mismo hongo y concluyeron que los tratamientos con quitosano disminuyeron significativamente la descomposición por el hongo con las concentraciones de 2000 y 4000 mg L⁻¹

2.6.1 Quitosano como recubrimiento comestible

Una de las alternativas más amigables con el medio ambiente para la conservación de los productos hortofrutícolas, son las películas y recubrimientos comestibles, las cuales son envolturas delgadas protectoras que cubren la superficie del alimento y crean una barrera a los gases la cual reduce el O₂ y aumenta los niveles de CO₂, (Ramos-García *et al.*, 2010).

Miranda (2003) menciona que los recubrimientos comestibles pueden elaborarse a partir de biopolímeros, como polisacáridos, proteínas y lípidos. Estos presentan diferentes cualidades, entre las que destacan: biodegradabilidad, inocuidad, apariencia estética y una buena barrera contra el intercambio de gases y pérdida de agua en forma de vapor de agua. La materia prima para elaborar los recubrimientos puede extraerse

de residuos naturales como el quitosano, además, pueden adicionarse compuestos antimicrobianos como aceites esenciales o extractos botánicos (Galiotta *et al.*, 2005).

El quitosano se ha convertido en una importante opción como recubrimiento para extender la vida de anaquel (Ali y Mahmud, 2008). Desde los años 90, se ha reportado la capacidad que tiene el quitosano para ser un recubrimiento comestible mediante su aplicación en una gran variedad de productos hortícolas. Además, se han realizado grandes esfuerzos para mejorar sus funciones mediante su combinación con diferentes aceites esenciales y extractos naturales. Al respecto, Miranda-Castro (2016) menciona que los frutos deben considerarse como individuos independientes, por lo que el diseño de un recubrimiento comestible debe realizarse en forma particular.

Dentro de sus efectos en la calidad de los productos hortofrutícolas, la aplicación de quitosano reduce los niveles de O₂, CO₂ y etileno; también, previene la pérdida de peso disminuye la transpiración de los frutos, favorece la pérdida de la firmeza y puede aumentar el contenido de sólidos solubles totales (Sivakumar *et al.*, 2016). También ofrece ventajas ante los recubrimientos sintéticos, como su biodegradabilidad ya que es amigable con el medio ambiente (Sivakumar *et al.*, 2016). Igualmente, no desprende aromas desagradables, es translucido y mejora la apariencia y el brillo de los productos hortofrutícolas (Miranda-Castro, 2016).

En el Cuadro 4, se resumen los principales estudios realizados con recubrimientos comestibles y algunas de sus variables físico-químicas.

Cuadro 4. Efecto del quitosano en la maduración y calidad de algunos productos hortifrutícolas

Producto hortifrutícola	Maduración	Pérdida de peso	Sólidos Solubles Totales	Firmeza	Acidez titulable	Color	Vitamina C	Antocianina
Manzana	-	reduce	-	mayor	-	-	-	-
Aguacate	Reducción de CO ₂ y etileno	mantiene	incrementa	mayor	-	mantiene	-	-
Guayaba	-	reduce	-	mantiene	retarda	mantiene	mantiene	incrementa
Plátano	-	reduce	-	-	-	-	mantiene	-
Uva	Reducción de CO ₂ y etileno	reduce	incrementa	mayor	-	mantiene	-	-
Litchi	-	reduce	reduce	mantiene	reduce	-	incrementa	retarda

Fuente: Elaboración propia.

Papaya	Aumenta CO ₂	reduce	incrementa	mayor	mantiene	retarda	-	-
Granada	-	-	-	-	-	-	-	incrementa
Fresa	Reducción de CO ₂ y etileno	reduce	incrementa	mayor	mantiene	mantiene	-	incrementa
Pepino	Reducción de CO ₂ y etileno	mantiene	-	mayor	-	mantiene	-	-
Guanábana	-	-	incrementa	-	-	-	incrementa	-
Higo	Reducción de CO ₂ y etileno	mantiene	incrementa	mantiene	disminuye	mantiene	-	-
Jitomate	Aumenta CO ₂	reduce	mantiene	mayor	mantiene	mantiene	-	-

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Recubrimientos comestibles a base de quitosano y aceites esenciales

Se ha mencionado que actualmente los aceites esenciales se utilizan como aditivos en la formulación de los recubrimientos. Su incorporación como agentes antimicrobianos en películas o recubrimientos comestibles se ha probado en varios alimentos como frutas, hortalizas, carne y productos de panadería, con la finalidad principalmente de inhibir el desarrollo de hongos y bacterias (Ramos-García, 2012).

Así, los efectos positivos que tienen la incorporación de aceites esenciales a los recubrimientos comestibles como el quitosano se ha evaluado por diferentes autores. Por ejemplo, López *et al.* (2012) evaluaron el efecto del recubrimiento base quitosano y adicionados con aceite esencial de canela para el control de mesófilos anaerobios en fresas, en donde se obtuvo una reducción significativa del crecimiento de estos microorganismos hasta de 2 Log ufc g⁻¹.

Por su parte, Ramos-García *et al.* (2012) evaluaron el efecto de la formulación de quitosano 0.1%, aceite esencial de tomillo y limón 0.1%, cera de abeja 0.1% y ácido oleico 1.0 %, en el control del hongo *R. stolonifer* y la bacteria *Escherichia coli* DH5 α en jitomate, a pequeña escala y a nivel semi-comercial. Los resultados mostraron que la reducción de *E. coli* DH5 α fue muy notable, no así en el hongo *R. stolonifer*.

En otro estudio realizado por Ávila-Sosa *et al.* (2010) demostraron que las películas a base de quitosano adicionadas con aceite esencial de árbol de té (*Melaleuca alternifolia*) y orégano mexicano, ambos a una concentración de 0.5%, demostraron que el mejor fue con el de AEO, ya que hubo una mayor inhibición en el crecimiento de *Listeria monocytogenes*, así como una mejor actividad antifúngica sobre *A. niger* y *Penicillium* spp.

Igualmente, Dos Santos *et al.* (2012) demostraron la capacidad antifúngica de las películas de quitosano, adicionadas con AEO en el control de *A. niger* y *R. stolonifer* presentes en uva. El recubrimiento también contribuyó a la conservación de la calidad en general de las uvas y sus atributos sensoriales por 12 días de almacenamiento.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación de recubrimientos de quitosano adicionados con cera de abeja y Aceite Esencial de Orégano en diferentes concentraciones, en el proceso de maduración del jitomate var. 'Kenton', durante su vida de anaquel, a temperatura controlada (10 °C) y posterior aclimatación a temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los recubrimientos de quitosano, cera de abeja y AEO en jitomates cosechados en dos estados de madurez verde-pintón y rojo-maduro, sobre:
 - 1. Su respuesta fisiológica y atributos de calidad,
 - 2. El desarrollo de microorganismos patógenos, y
 - 3. Su calidad sensorial (aroma, color y sabor).

IV. HIPÓTESIS

Los recubrimientos comestibles de quitosano con cera de abeja y AEO no afectarán la maduración y la calidad de los jitomates var. 'Kenton' durante su almacenamiento, independientemente del estado de madurez y de la temperatura de almacenamiento.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Obtención del jitomate

Los frutos de jitomate variedad 'Kenton' se cosecharon en invernaderos localizados en la carretera Yautepec - Tepoztlán, Morelos, México (Figura 6). El tamaño aproximado de los frutos fue de 51 a 60 mm, en dos estado de madurez: color verde-pintón (3) (primer experimento) y color rojo-maduro (6) (segundo experimento) (Figura 7), se cosecharon de manera aleatoria 500 frutos de jitomate.



Figura 6. Invernaderos para la producción de jitomate ubicados en la carretera México-Tepoztlán.

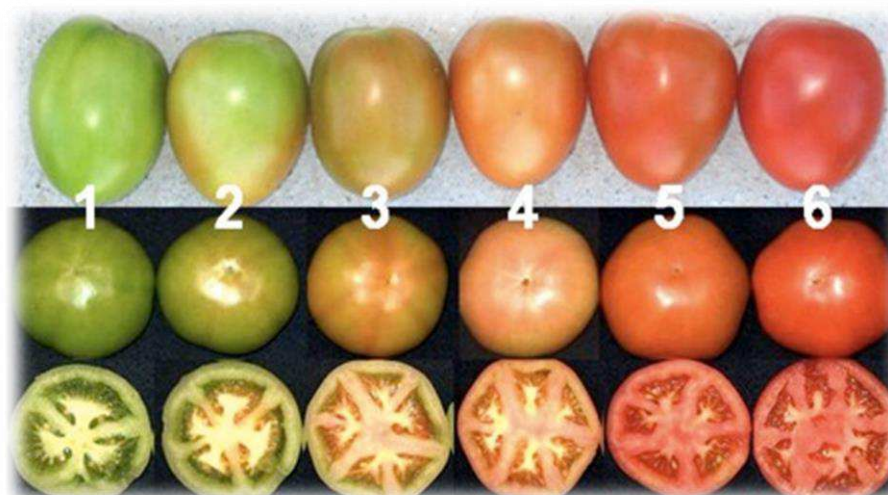


Figura 7. Tabla de maduración de fruto de jitomate con respecto al color en seis etapas
Fuente: SAGARPA, 2005.

5.2 Obtención del Aceite Esencial de Orégano (AEO) y quitosano

El AEO 100% puro se obtuvo de la Compañía ORE aceite de orégano (Calle 5 de febrero y Avenida 9, Saucillo, Chihuahua, México). Para la elaboración del recubrimiento se utilizó quitosano comercial de peso molecular medio (FW = 161 200.000 cps) (*Sigma-Aldrich®*, U.S.A.).

5.3 Preparación de los recubrimientos

Se siguió la metodología propuesta por Ramos-García (2012), se colocó en un matraz Erlenmeyer 10 g de quitosano y 10 mL de ácido acético y se aforó con agua destilada a 1 L. Se mantuvo en agitación constante por 24 h y después se ajustó el pH de la solución a 5.6 con NaOH 1.0 N (Figura 8).

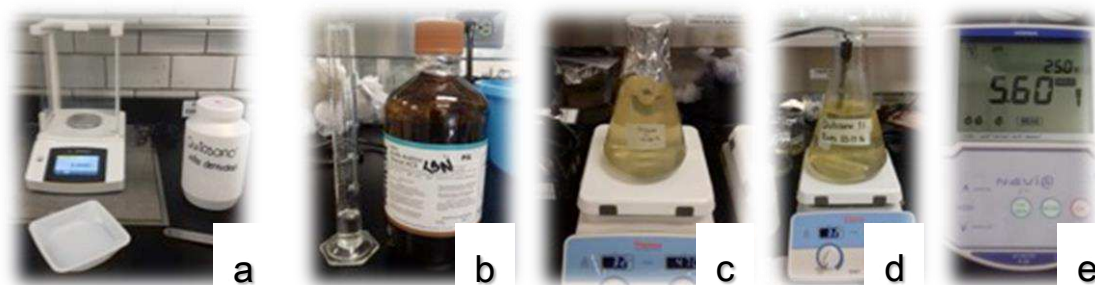


Figura 8. Preparación de la solución de quitosano al 1%: (a) pesado del quitosano, (b) adición de 1% de ácido acético, (c) homogenización de la solución a temperatura ambiente, (d) ajuste de pH y (e) estabilización de pH.

La solución de quitosano se calentó a 70 °C, se agregó 1 g de cera de abeja hasta que se disolvió por completo y se adicionaron 3 mL de glicerol L⁻¹. La solución se homogeneizó (Homegenizador de aspas Vitris 45®, U.S.A. a 13,500 RPM) durante 4 min y se agregó el aceite esencial de orégano en las siguientes concentraciones: 0.005 %, 0.01% y 0.03·% por cada solución (Figura 9).

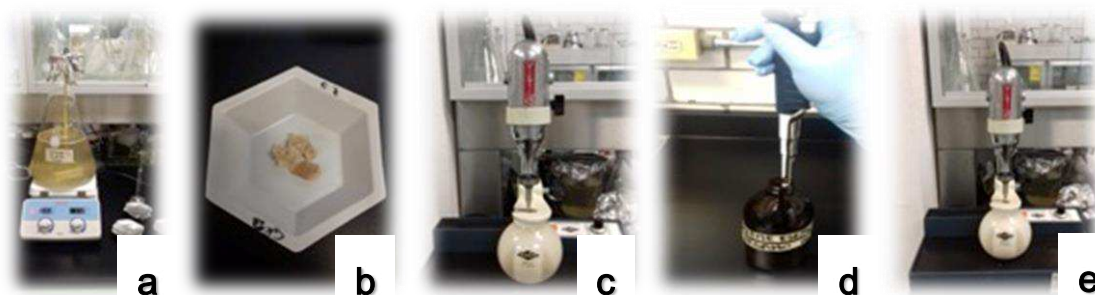


Figura 9. Elaboración de los recubrimientos: (a) calentamiento a 70 °C de la solución de quitosano, (b) adición de la cera de abeja, (c) homogenización® a 13,500 rpm (d) adición de las concentraciones de aceite esencial de orégano y (e) homogenización final.

Las formulaciones finales de los recubrimientos fueron las siguientes:

- 1) quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%
- 2) quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%

- 3) quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03%
- 4) Se incluyó un tratamiento control el cual consistió en lavar los frutos únicamente con agua destilada.

5.4 Aplicación de los recubrimientos y almacenamiento

Previo a la aplicación de los recubrimientos, los frutos de jitomate se lavaron con agua destilada. Enseguida los frutos se sumergieron en cada recubrimiento durante 30 s, los frutos fueron secados a temperatura ambiente. Una vez secos, se colocaron en cajas de plástico de 10 x 38 x 68 cm. Se formaron seis lotes por tratamiento con un total de 10 frutos por lote, siendo considerado un lote como unidad experimental y cada fruto como su repetición (Figura 10). Fueron almacenarlos a 10 °C durante 12 días, para después pasar a un periodo de aclimatación a 25 ± 2 °C, durante seis a ocho días adicionales.

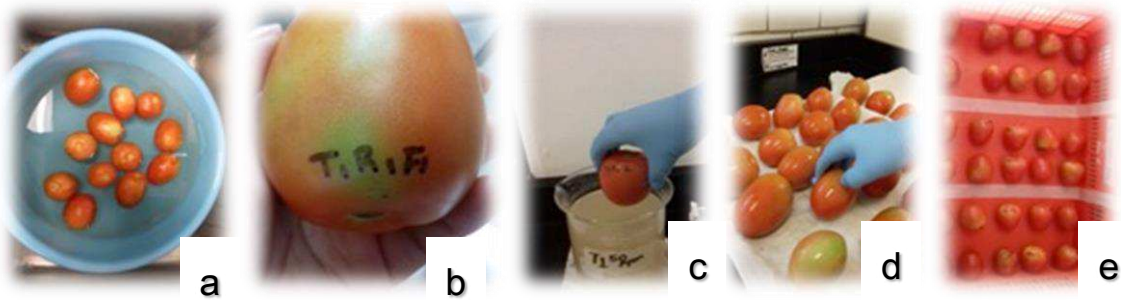


Figura 10. Aplicación de los recubrimientos: (a) lavado, (b) etiquetado, (c) inmersión en el recubrimiento, (d) secado y (e) almacenamiento.

5.5 Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. Para la evaluación de las variables destructivas se utilizaron cinco frutos por tratamiento, por día de muestreo, mientras que, para las variables no destructivas, se utilizaron diez frutos por tratamiento por cada día de muestreo. Los muestreos se realizaron cada 72 horas a temperatura controlada de 10 °C y cada 48 horas a temperatura ambiente o de aclimatación de 25 ± 2 °C.

5.5.1 Variables evaluadas

Las variables a medir se dividieron en cuatro categorías: 1. Calidad, que incluyeron: color, firmeza, Sólidos Solubles Totales (SST), pH, acidez titulable y contenido de

carotenoides; 2. Fisiológicas, que agruparon la producción de CO₂, etileno y pérdida de peso, 3. Microbiológicas, para la detección de bacterias, hongos y levaduras, también la presencia de hongos fitopatógenos y 4. Sensoriales, para determinar la calidad de aroma, color y sabor.

5.5.1.1 Variables de Calidad

5.5.1.1.1 Color

El color de los frutos se midió durante 20 días en intervalos de 24 horas en 10 frutos por tratamiento, previamente seleccionados para ésta variable, con un colorímetro Kónica Minolta Sensing® 9992-995 BC 10 (Japón).

Se tomaron los valores L, a y b en dos zonas opuestas de la región ecuatorial de cada fruto. Con estos valores se calculó el ángulo matiz (^oHUE) y la pureza de color (CHROMA) con las fórmulas: $^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}(b/a)$; $\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Little, 1975). La luminosidad L se obtuvo directamente con el colorímetro, los cuales corresponden al espacio de color L*a*b* (Figura 11) (L* es la luminosidad (negro a blanco), a* indica la cantidad de componente rojo-verde en el color medido, y b*, el componente amarillo-azul) (Mutari and Ress, 2011).

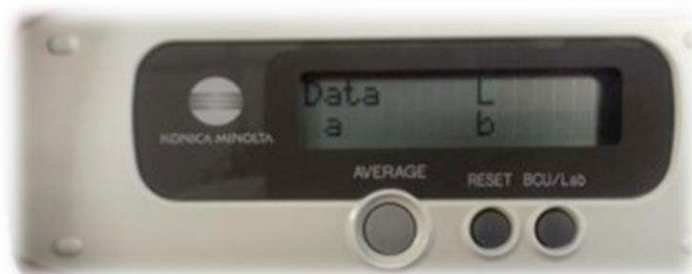


Figura 11. Colorímetro Kónica-Minolta, Sensing®.

5.5.1.1.2 Firmeza (N)

Para la variable de firmeza, se utilizó un penetrómetro CE 196 NX® 0.05 CS1-3 (N/cm²), con el cual se evaluaron ambas caras de los frutos muestreados (Figura 12). Este procedimiento se realizó por triplicado por cada tratamiento.

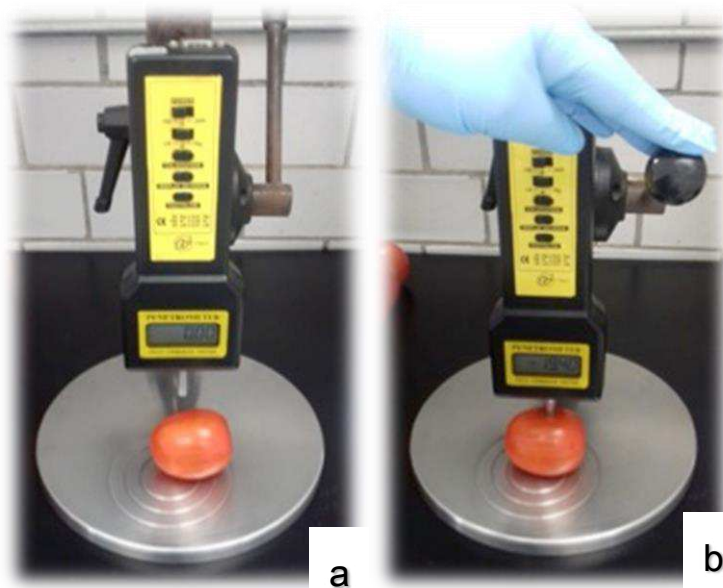


Figura 12. Medición de la firmeza: (a) colocación del fruto en el penetrómetro CE 196 NX® 0.05 CS1-3 y (b) aplicación de fuerza.

5.5.1.1.3 Sólidos Solubles Totales (SST, % °Bx)

Los SST se determinaron agregando directamente una gota de jugo del fruto con ayuda de una pipeta y se colocó sobre el sensor de un refractómetro de mano ATAGO® cat. 2111-N-1(Figura 13), con escala de 0-32% °Brix. Se hizo una calibración con agua destilada antes de cada medición. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos y en cada fruto muestreado.



Figura 13. Medición de SST: (a) toma del jugo de los frutos con pipeta, (b) colocación de la gota sobre el sensor del refractómetro y (c) lectura.

5.5.1.1.4 pH

Para medir el pH de las muestras se utilizó la misma solución que se realizó para realizar la acidez titulable con 20 g de muestra y 100 mL de agua destilada. Se utilizó un pH-metro Navih® -51 (Horiba) con un intervalo de medición de pH 0 a 14, y una exactitud de ± 0.01 . El potenciómetro se calibró previamente con soluciones

buffer (pH=4, pH=7 y pH=10). La lectura se obtuvo colocando el electrodo en la solución de la muestra (Figura 14). Entre cada medición se lavó el electrodo con agua destilada. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos.



Figura 14. Lectura del pH en el pH-metro Navih® F-51 Horiba.

5.5.1.1.5 Acidez Titulable (%)

La acidez titulable se realizó siguiendo el método de la AOAC (2005), el cual consistió en una titulación con NaOH al 0.1N, usando como agente de contraste la fenolftaleína. Se pesaron 20 g de una muestra de cinco frutos por tratamiento. La muestra se homogenizó en una licuadora Osterizer 2000®, con 100 mL de agua destilada, posteriormente se filtro con ayuda de una gasa para tomar una alícuota de 5 mL a las cuales se le añadió 2 gotas de fenolftaleína. Finalmente, se tituló con NaOH al 0.1N, con una medición constante del pH, ajustado a 8.1 (Figura 15).

Se registró la cantidad de mililitros de NaOH gastados. Para la obtención del porcentaje de acidez titulable se utilizó la siguiente fórmula:

$$AT(\%) = \left(\frac{V_{NaOH \text{ mL}} \times N_{NaOH} \left(\frac{\text{meq}}{\text{mL}} \right) \times \text{miliequivalentes de ácido} \left(\frac{\text{g}}{\text{meq}} \right)}{V_{\text{juugo mL}}} \right) \times 100$$

Se tomó el ácido cítrico (0.064 g meq^{-1}) por ser el ácido orgánico predominante en el jitomate. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos.

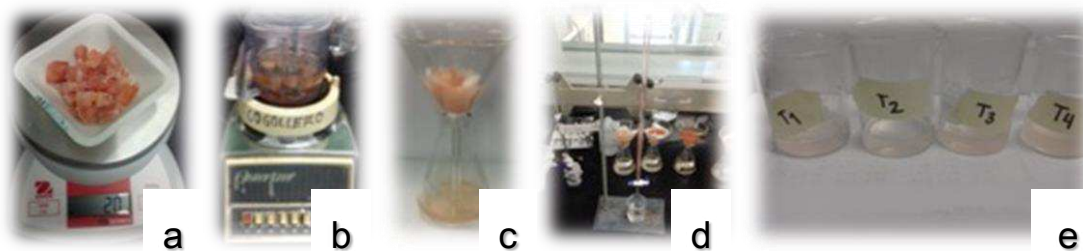


Figura 15. Medición de la acidez titulable: (a) obtención del peso de la muestra, (b) homogenización, (c), filtrado, (d), titulación con NaOH, 1 N y (e) cambio de coloración de la solución con la aplicación de pH 8.1.

5.5.1.1.6 Carotenoides

Para la extracción de carotenoides se utilizaron 2 g de cada fruto muestreado, este procedimiento se realizó por triplicado por tratamiento. El tejido vegetal se maceró en un mortero con pistilo con 10 mL de hexano/acetona/etanol (50:25:25 v/v). El homogeneizado se centrifugó en una centrifuga Prism, Labnet® (U.S.A.) a 6500 rpm durante 30 min y el sobrenadante se aforó con 10 mL de hexano. Los carotenoides se determinaron por el método reportado por Rodríguez-Amaya (1999) con un espectrofotómetro Genesys 10s uv-vis® (Thermo, U.S.A.). La absorbancia de la solución se midió a 450nm y con la siguiente fórmula se calculó el total de carotenoides en la solución (Figura 16).

$$\begin{aligned}
 \text{Carotenoides totales} & \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ peso fresco} \right) \\
 & = \frac{(A_{450 \text{ nm}}) (\text{volumen de aforo})(10^6)}{(\text{Coeficiente de extinción molar})(\text{peso muestra})(100)}
 \end{aligned}$$

μg = miligramos

g = gramos

$A_{450\text{nm}}$ = Absorbancia a 450 nanometros

Coeficiente de extinción molar = β -caroteno a 450 nm fue de 2505 $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$.

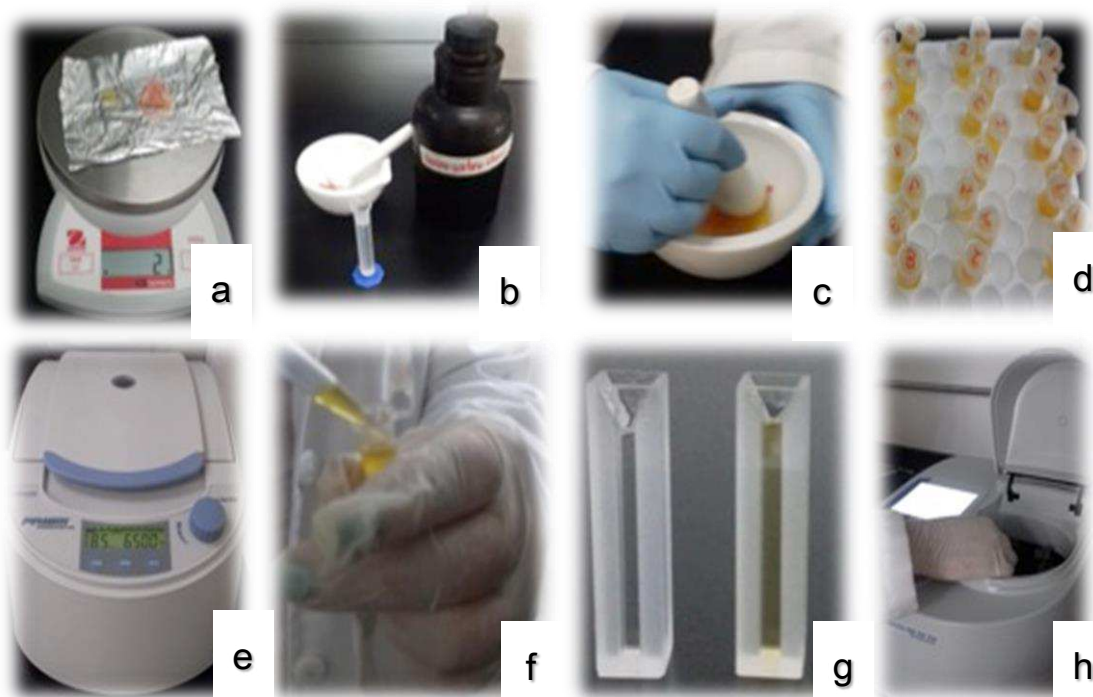


Figura 16. Extracción de carotenoides: (a) Pesado de la muestra, (b) adición de 10 mL de hexano/acetona/etanol, (c) macerado y (d) recuperación de la muestra en tubos eppendorf, (e) centrifugación a 6500 rpp, (f) recuperación de la fase hexánica, (g) vaciado de la fase hexánica en celdas de cuarzo y (h) lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.

5.5.1.2 Variables fisiológicas

5.5.1.2.1 Respiración y producción de etileno

El volumen de los frutos de jitomate evaluados durante cada muestreo se calculo al colocar cada fruto dentro de una probeta graduada de 500mL, con agua potable (300mL). Los contenedores que se utilizaron para obtener el gas producto de la respiración por el espacio libre de cabeza, tenían una capacidad de 2000mL, a este valor se le restó el volumen desplazado de los jitomates de cada tratamiento para obtener el volumen libre final.

Se colocaron tres frutos de jitomate dentro de un contenedor de plástico con capacidad de 2000 mL y se sellaron (tres frascos por tratamiento), se dejaron a temperatura ambiente durante 1h para después extraer con una jeringa de 5 mL Nipro Medical Corporation® (U.S.A) el gas interior de los frascos, el cual se inyectó en tubos vancoutainer de 7 mL y se almacenaron a 10 °C para su posterior evaluación. Las evaluaciones de CO₂ se realizaron en un cromatógrafo de gases 7890B GC System 7890B GC Agilent Technologies® (U.S.A) (Figura 17), el cual cuenta con detectores de conductividad térmica (TCD) que miden la producción de

CO₂ y la ionización de flama (FID) que evalúa la producción de etileno. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos.



Figura 17. Obtención de CO₂ y etileno: (a) contenedores cerrados con frutos, (b) obtención de los gases, (c) almacenamiento de los gases en tubos vancoutainer, (d) jeringa Nipro Medical Corporation® para inyección en cromatógrafo y (e) inyección de los gases en el cromatógrafo.

Para calcular la producción de CO₂ y etileno se utilizaron las siguientes formulas:

$$PCO_2 = \frac{CO_2 \text{ final} - CO_2 \text{ inicial}}{100} \times (V_{\text{frasco}} - V_{\text{fruto}}) \times 1000 \frac{1000}{P_{\text{fruto}}} \times \frac{60}{T}$$

Vfrasco= Vólumen del frasco

Vfruto= Vólumen del fruto

Pfruto= Peso del fruto

T= Tiempo

Los resultados para CO₂ y etileno se reportaron en mL kg⁻¹h⁻¹ y µl kg⁻¹h⁻¹, respectivamente.

5.5.1.2.2 Pérdida de peso

Los frutos se pesaron cada 24 h en una balanza CS200 Compact Scale® (Ohaus, U.S.A.) (Figura 18). El porcentaje de pérdida de peso se determinó mediante la siguiente formula:

$$\% PP = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$



Figura 18. Toma de peso con balanza.

5.5.1.3 Evaluaciones microbiológicas

Esta investigación incluyó, al término de los experimentos (día 18), la evaluación de la presencia de microorganismos como bacterias, hongos/levaduras y hongos fitopatógenos postcosecha. La evaluación se realizó en 5 frutos por tratamiento.

5.5.1.3.1 Identificación de microorganismos

La identificación y cuenta microbiana se realizó con dos medios de cultivo: agar soya tripcaseína (AST) y papa dextrosa agar (PDA) (BIOXON, México).

Se elaboró una solución peptonada (1g de peptona + 8.5 g de cloruro de sodio + 1l agua destilada), con la cual se lavaron tres jitamates por tratamiento en condición de esterilidad. Se tomó 1mL del lavado y se realizaron diluciones de 10^1 hasta 10^6 (Figura 19).

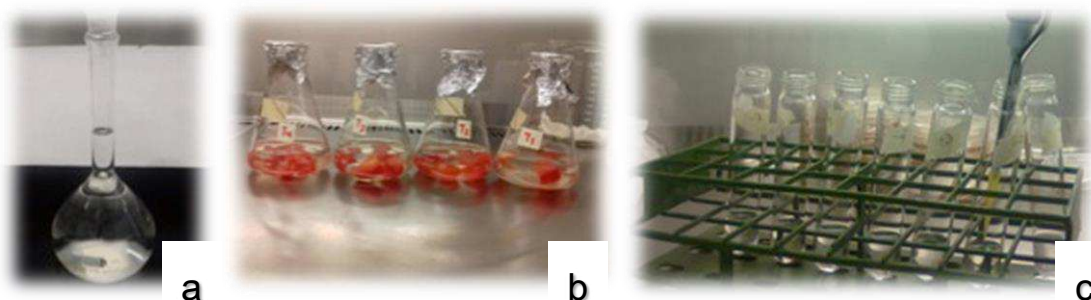


Figura 19. Preparación de diluciones: (a) solución peptonada, (b) muestra de tratamientos suspendidos en agua peptonada y (c) elaboración de diluciones de 10^1 hasta 10^6 .

Se vertieron 100 μ L de cada dilución sobre las cajas de Petri con medio AST o PDA. Se distribuyó uniformemente por toda la superficie de la caja con un asa de Drigalsky, se dejó secar para después incubarse durante 48 h a 28 °C y se contó el

número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) (Figura 20), éste procedimiento se realizo por triplicado para cada uno de los tratamientos.

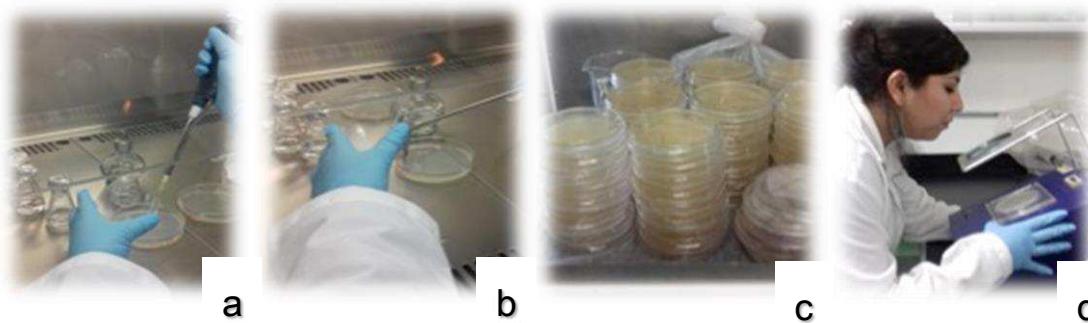


Figura 20. Análisis microbiológico: (a) vaciado de 100 μ L de la dilución bacteriana, (b) esparcimiento de la dilución sobre la superficie de la caja Petri con asa de Drigalsky, (c) incubación de las cajas y (d,) conteo de UFC en las cajas Petri con medio PDA y AST.

5.5.1.4 Evaluaciones fitopatológicas

5.5.1.4.1 Aislamiento, identificación y frecuencia

Se aislaron e identificaron los hongos fitopatógenos a nivel de género de acuerdo a las claves taxonomicas especializadas (Barnett y Hunter 2003). La frecuencia de los hongos fitopatógenos se evaluó en base al número de jitomates infectados por cada género fúngico.

5.5.1.4.2 Índice de severidad

El índice de severidad de los frutos se determinó mediante el porcentaje de la superficie afectada. Con los siguientes intervalos según (Ramos-García, 2012).

1) 0% 2) 1-25% 3) 26-50% 4) 51-75% 5) 76-100%

5.5.1.4.3 Incidencia (%)

La incidencia se evaluó al término del almacenamiento de los frutos de jitomate y se determinó mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Número de frutos infectados}}{\text{Número de frutos tratados}} \times 100$$

5.5.1.5 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevo a cabo el último día de almacenamiento en ambas etapas de madurez. Se utilizaron 10 frutos por tratamiento, incluyendo el tratamiento testigo, cinco frutos de la temperatura controlada y cinco de la temperatura ambiente. Estos se colocaron dentro de vasos de unicel blancos de ½ l. A cada vaso se le dio un número aleatorio de tres dígitos, el cual no se repetía entre sí y no era consecutivo. Los frutos se aleatorizaron en cada uno de los vasos rotulados y se reservaron para la evaluación de los jueces (Figura 21).

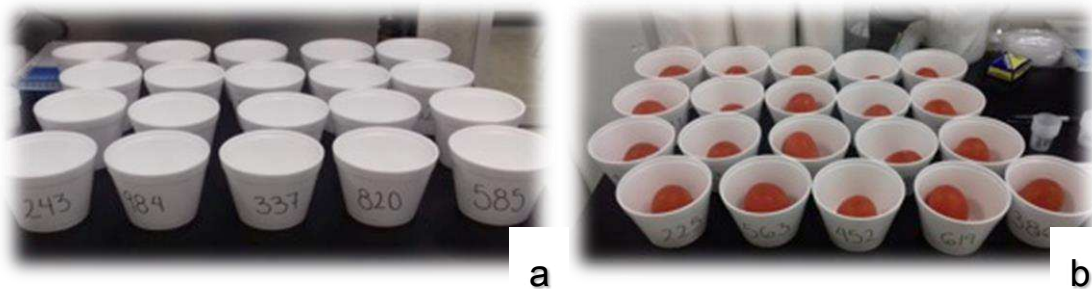


Figura 21. Evaluación sensorial: (a) aleatorización de frutos, (b) vasos rotulados con número de tres dígitos y aleatorización de frutos dentro de los vasos rotulados.

Antes de que los jueces evaluaran el color y el aroma de los frutos, los vasos con los jitomates para evaluar, se cerraron durante 20 min. Para el sabor, los frutos se cortaron en cubos de aproximadamente 1 cm y se colocaron dentro de vasos rotulados con los números asignados en la aleatorización (Figura 22).



Figura 22. Muestras para su evaluación sensorial.

Para este estudio se ocupó la presencia de 20 jueces evaluadores los cuales asistieron de manera voluntaria (Figura 23).

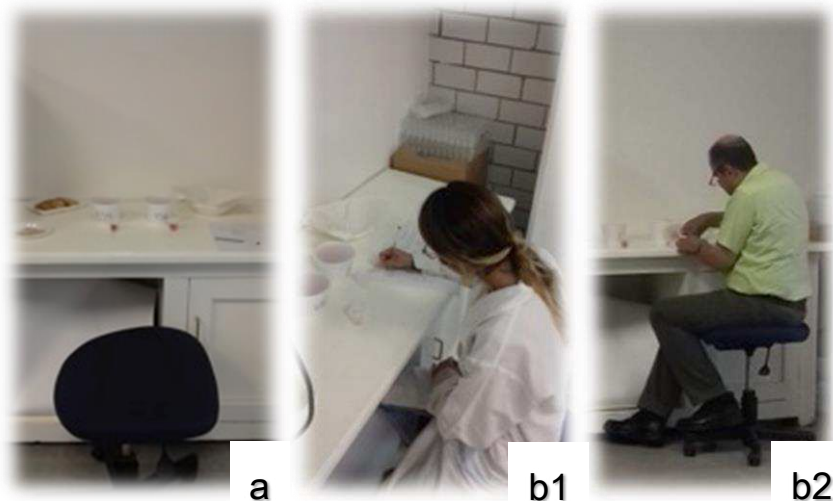


Figura 23. Mesa de evaluación (a) y panelistas (b1 y b2).

Se entregaron por juez dos hojas de evaluación (ver anexo 1), así como dos muestras aleatorias a evaluar, en las cuales se calificó aroma, color y sabor en una escala del 1 al 9.

Dónde:

1. Me disgusta extremadamente
2. Me disgusta mucho
3. Me disgusta moderadamente
4. Me disgusta poco
5. Ni me gusta ni me disgusta
6. Me gusta poco
7. Me gusta moderadamente
8. Me gusta mucho
9. Me gusta extremadamente

Entre cada muestra se le pidió a los jueces que consumieran una galleta salada para limpiar sus papilas gustativas y no contaminar la evaluación de la siguiente muestra. Las pruebas se realizaron entre 9:00 y 12:00 horas. El valor máximo alcanzable podría llegar hasta 150 puntos.

5.6 Análisis estadístico

El arreglo de los experimentos fue completamente al azar, se realizó un análisis de varianza con un arreglo de datos en diseño factorial. Se utilizó el paquete estadístico de Sigmaplot 13.

VI. RESULTADOS

6.1 Variables de calidad

6.1.1 Color

En relación al desarrollo de color en los jitomates tratados y no tratados con las cubiertas y cosechados en un estado de madurez verde-pintón, se observó que en general, el color $^{\circ}\text{Hue}$ disminuyó durante los 12 días del almacenamiento controlado. En éste periodo, el intervalo inicial de color $^{\circ}\text{Hue}$ fue de 58.83° , mientras que, al término del almacenamiento el valor promedio en todos los tratamientos fue aproximadamente de 45° (Figura 24). Sin embargo, cuando los frutos se cambiaron al periodo de aclimatación (temperatura ambiente) durante 4 días, los valores de color disminuyeron hasta un valor aproximado de 30° en la mayoría de los tratamientos. En cuanto al análisis estadístico, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

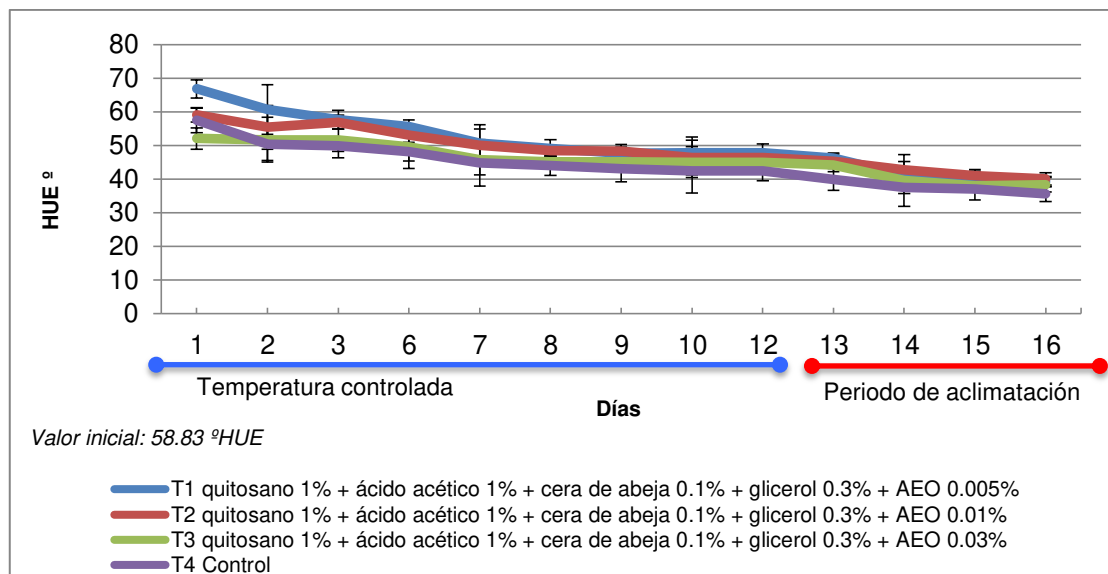


Figura 24. Desarrollo del color $^{\circ}\text{Hue}$ de jitomates verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

Por otro lado, en el desarrollo de color $^{\circ}\text{Hue}$ en los jitomates cosechados en estado de rojo-maduro, se observaron muy pocos cambios. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. En general, en todos los tratamientos, los valores se mantuvieron similares durante el periodo de almacenamiento controlado y durante el periodo de aclimatación. El valor promedio inicial fue de $^{\circ}46$ y el final fue de $^{\circ}35$ a $^{\circ}37$ (Figura 25).

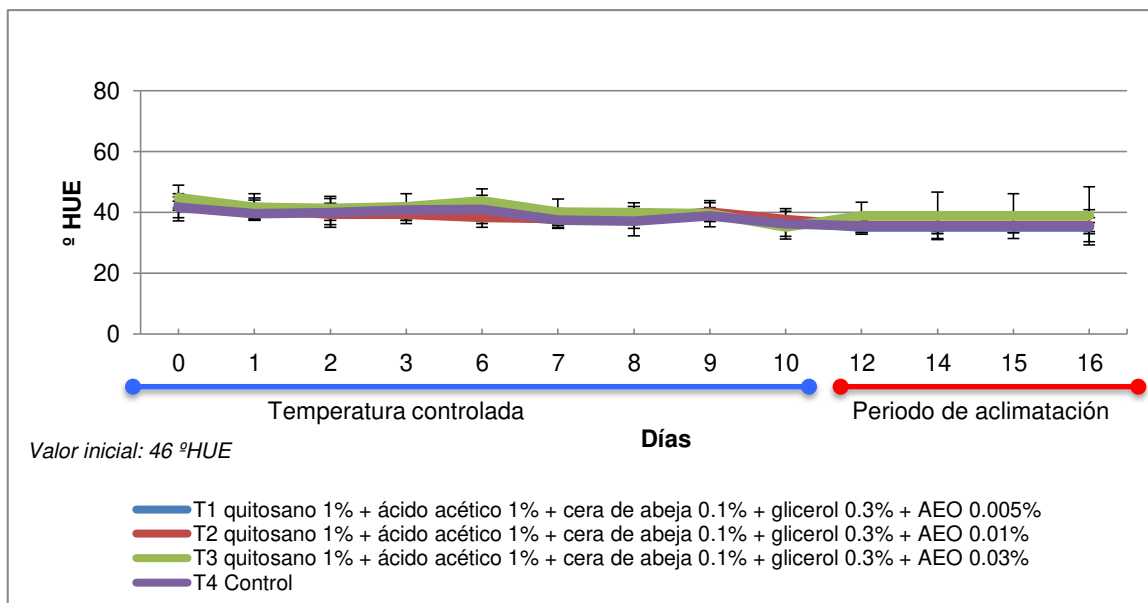


Figura 25. Desarrollo del color $^{\circ}$ HUE de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), y almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

La luminosidad inicial de los jitomates cosechados verde-pintón fue de 42 a 50, la cual disminuyó durante los periodos de almacenamiento y aclimatación. La mayor disminución en los valores de luminosidad se observó durante el periodo de aclimatación reduciéndose a 30 en el control (T4) y a 10, con el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3), (Figura 26). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

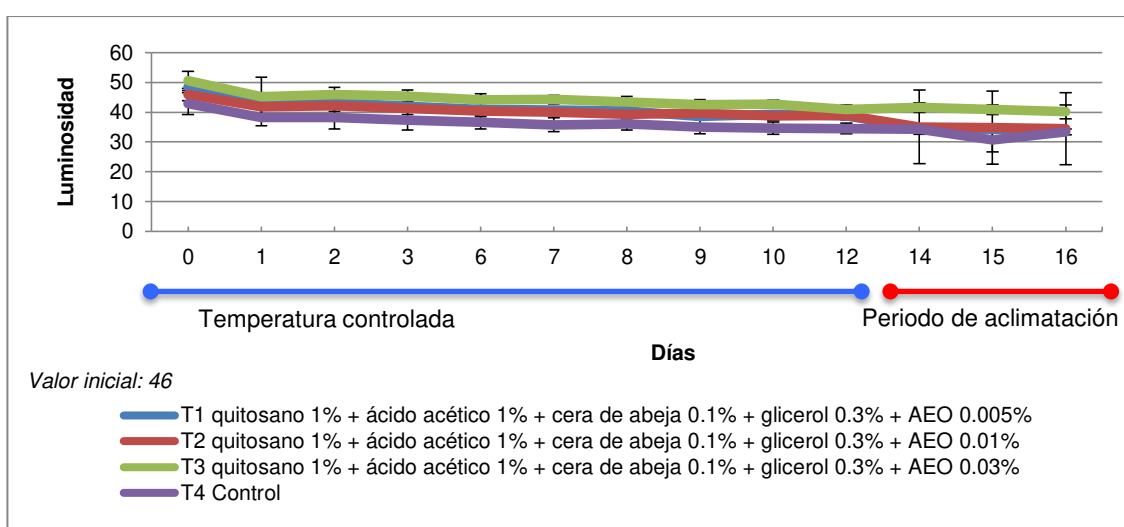


Figura 26. Luminosidad de jitomates verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

En los frutos cosechados rojo-maduro, los valores de luminosidad iniciaron con valores de 36 a 38; sin embargo, a partir del día 8 se observó una disminución notable (35 a 30) en los jitomates tratados con Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3). Igualmente, durante este periodo, los jitomates del tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2) también registraron un descenso marcado (35 a 22) a los 10 días de almacenamiento (21.5) (Figura 27). Durante el periodo de aclimatación, ésta variable se mantuvo constante entre los tratamientos. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ellos.

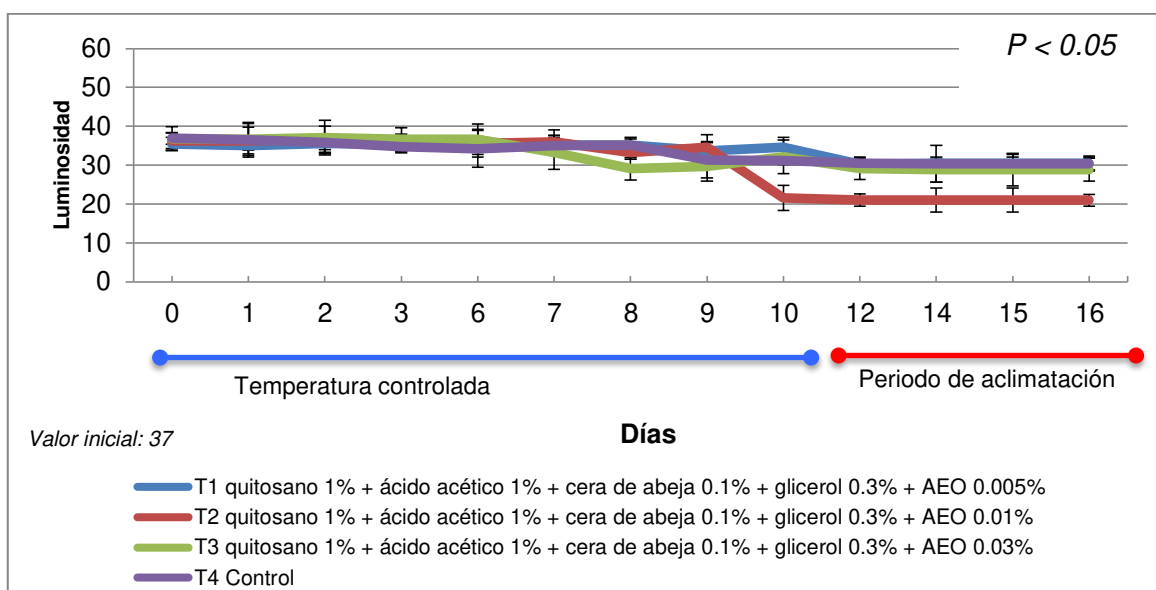


Figura 27. Luminosidad de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

El desarrollo del croma en los jitomates tratados con y sin recubrimientos verde-pintón, presentó un intervalo promedio inicial entre 29 a 41 con una moderada disminución durante el periodo de aclimatación de 29 a 36 (Figura 28). No hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

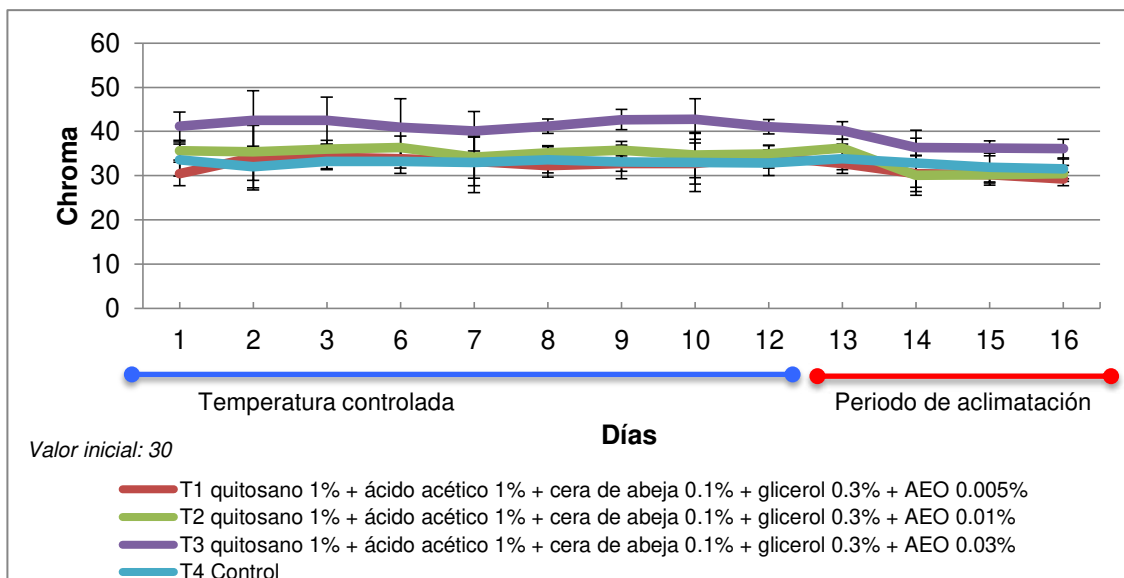


Figura 28. . Cromo de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

Los resultados para los jitomates rojo-maduro mostraron una disminución en los valores de chroma a partir del día 6, en la mayoría de los tratamientos, el cual fue más evidente en el día 10 de almacenamiento controlado, principalmente en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2). Durante el periodo de aclimatación los valores chroma se mantuvieron constantes (Figura 29). El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre tratamientos.

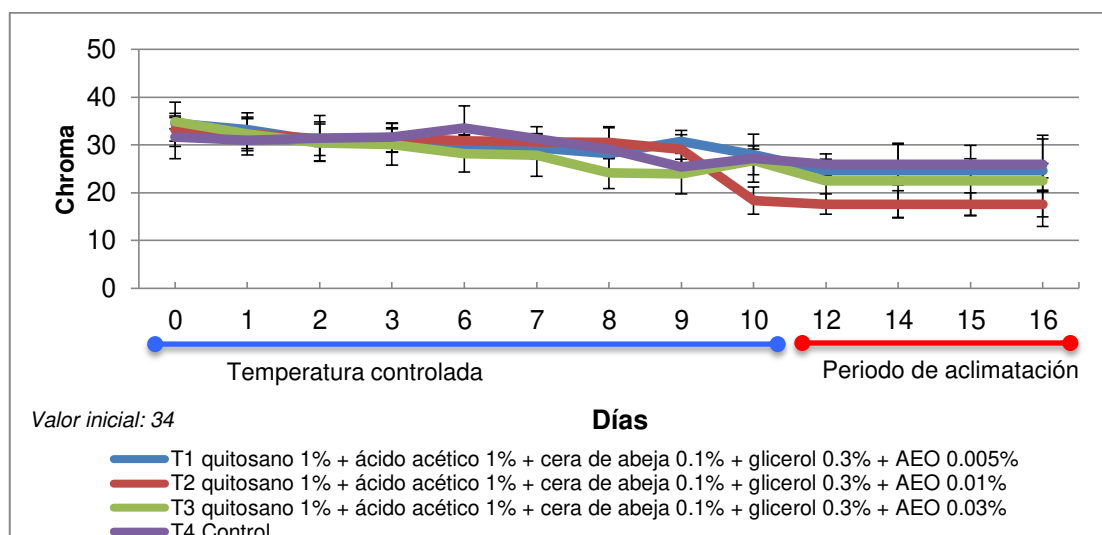


Figura 29. Cromo de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

6.1.2 Firmeza

En general, no se observó un patrón definido en la pérdida de firmeza de los jitomates con y sin recubrimiento y correspondientes al estado verde-pintón. A los tres días de almacenamiento controlado, la mayor firmeza (48N) se observó en los jitomates del tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2), a los 6 días, el valor máximo (35N) correspondió a los jitomates tratados con Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) y al noveno día, correspondió al tratamiento con Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (43N) (T1) (Figura 30). Durante el periodo de aclimatación, la mayor pérdida de firmeza se observó principalmente a los 16 y 18 días, con valores finales de 15N y 10N, en los tratamientos Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (15N) (T2) y el control (10N), respectivamente. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

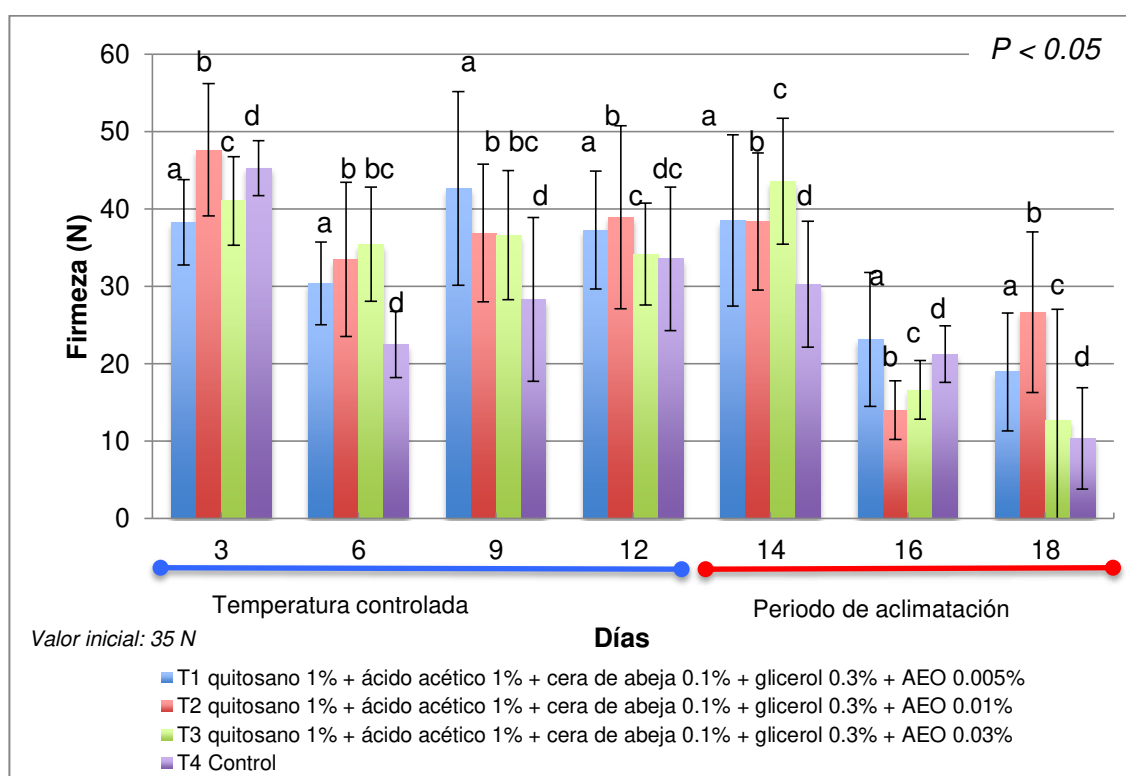


Figura 30. Firmeza (N) de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación)

En lo que respecta a los jitomates rojo-maduro, se observó en general, niveles de firmeza bajos. Por ejemplo, al término del almacenamiento el valor promedio menor

de 8N correspondió a los tratamientos Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2) y el control durante el periodo de aclimatación, la pérdida de firmeza fue notable en la mayoría de los tratamientos. Se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, en ambos periodos de almacenamiento (Figura 31).

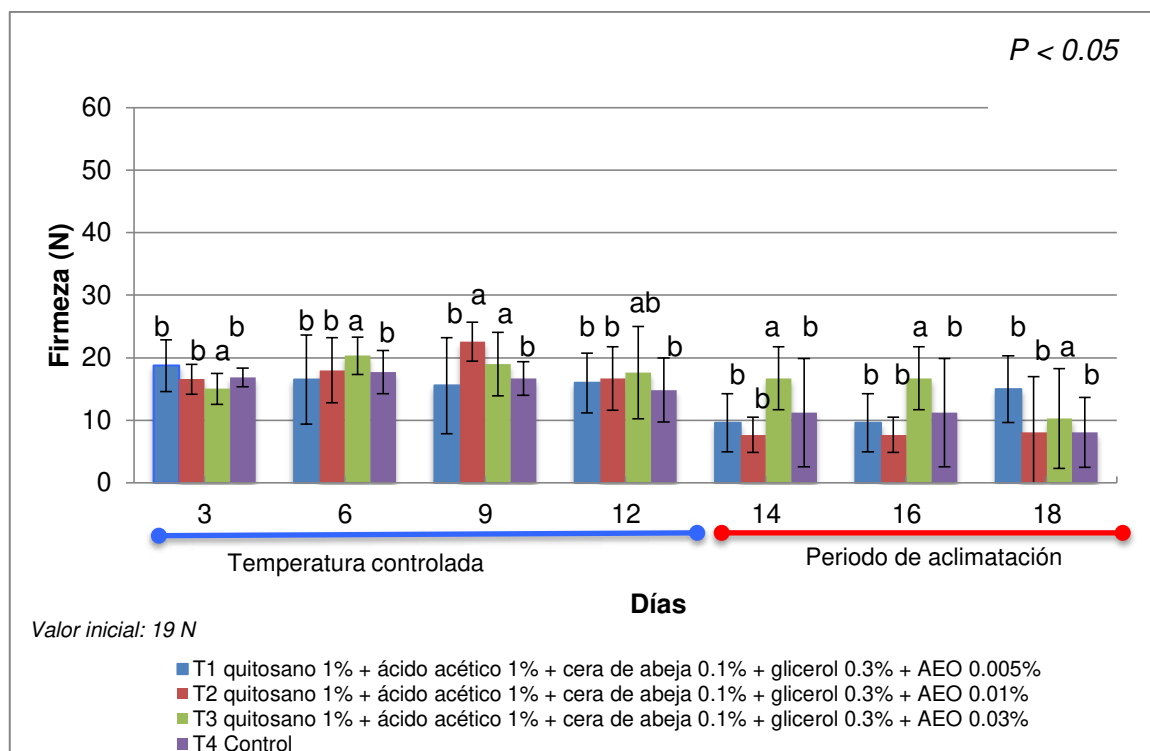


Figura 31. Firmeza (N) de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

6.1.3 Sólidos Solubles Totales (SST)

Se observa en la Figura 9, que el contenido de SST (%) en los jitomates verde-pintón fue similar en la mayoría de los tratamientos aplicados y el control. Durante el periodo de almacenamiento, los frutos del tratamiento control (T4) tuvieron el menor contenido de SST (3-3.5%). El porcentaje promedio de los SST fue aproximadamente de 4 (Figura 32). Hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

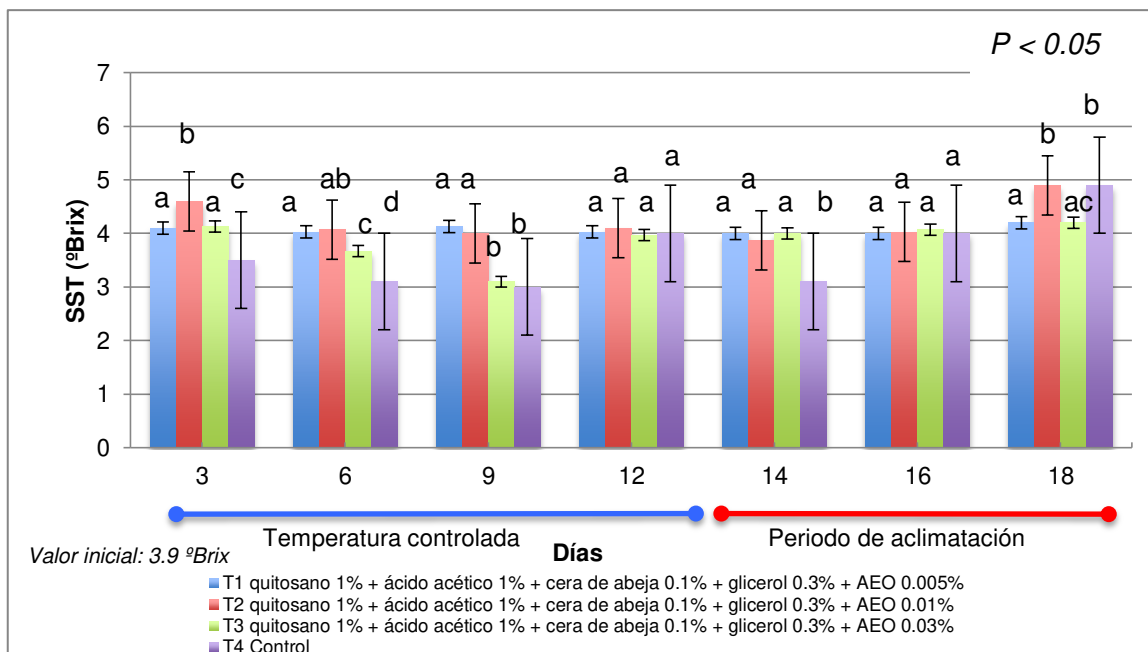


Figura 32. Contenido de SST en jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

En relación a los jitomates color rojo-maduro, tampoco se observó un patrón definido en el contenido de los SST entre los tratamientos. En éste estado de madurez, el porcentaje promedio de SST fue de 3.5 a 4.8 (Figura 33). El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

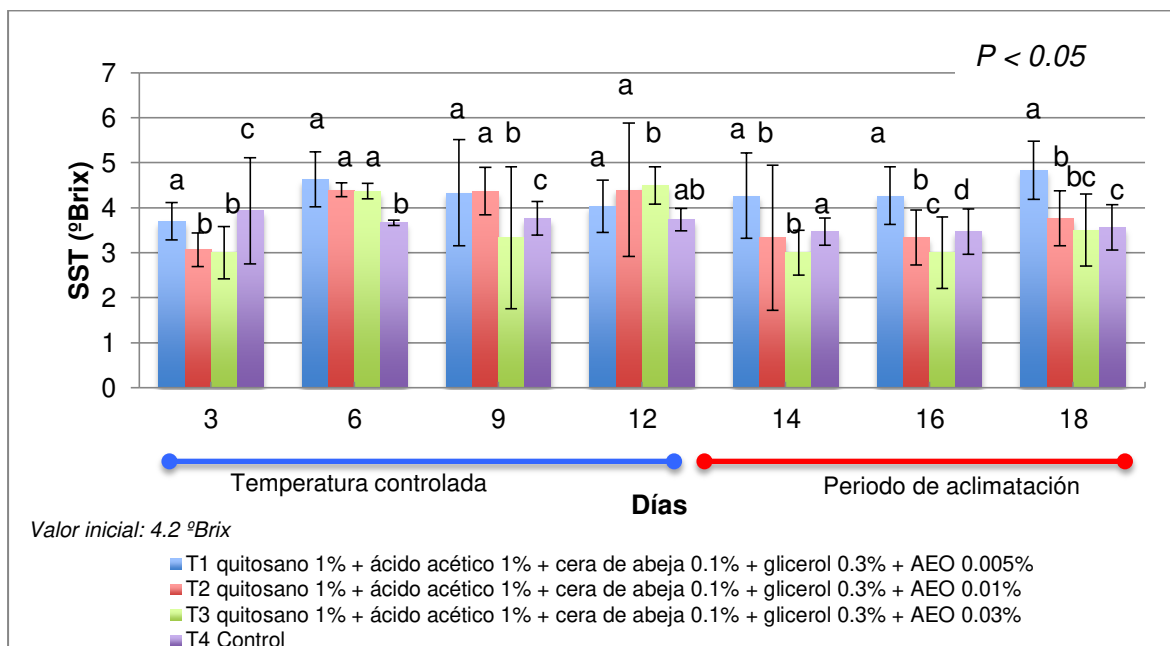


Figura 33. Sólidos Solubles Totales (SST) de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

6.1.4 pH

Con relación a los valores de pH, para ambos estados de madurez, se observó que estos fueron en su mayoría constantes a través del almacenamiento controlado y aclimatación. En general, los valores de pH para el estado de madurez verde-pintón fueron de 4.3 a 4.6 durante ambos periodos de almacenamiento (Figura 34), mientras que, para el estado rojo fueron de 4.2 a 4.6 (Figura 35). El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, en ambos estados de madurez.

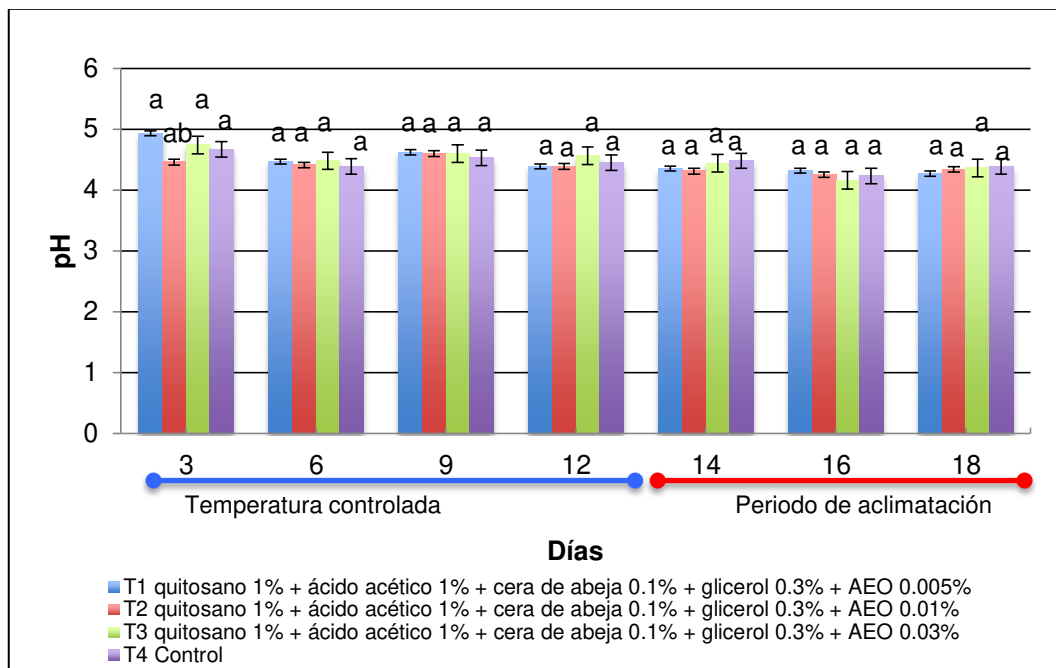


Figura 34. pH de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano (Q) adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

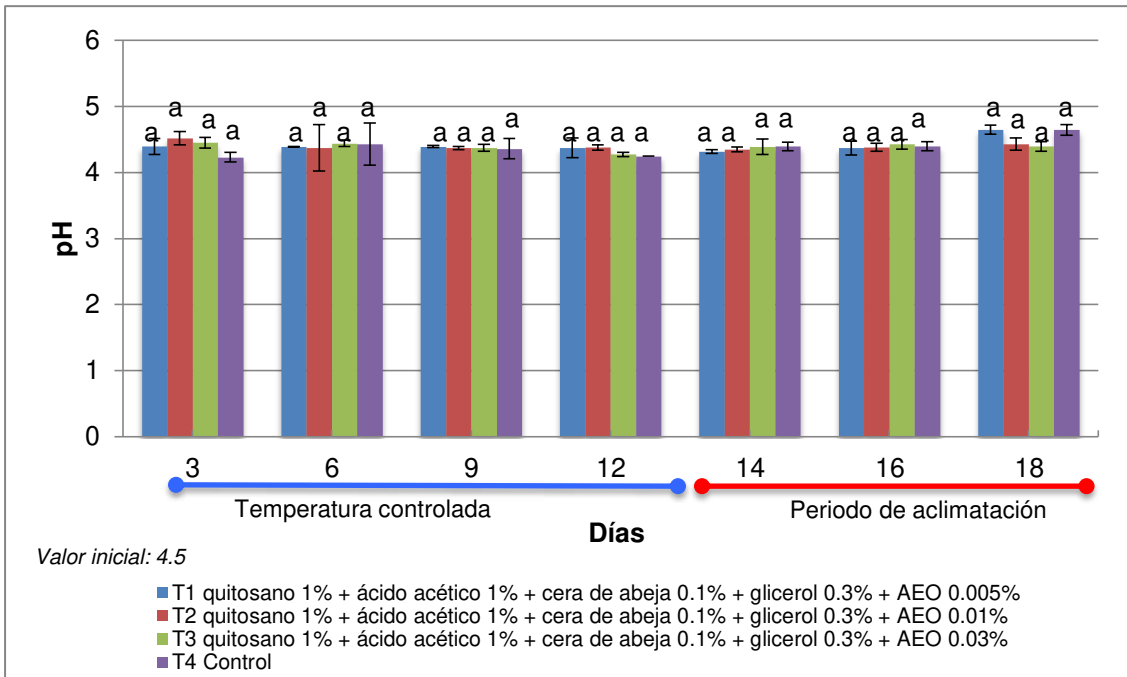


Figura 35. pH de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

6.1.5 Acidez titulable

La acidez titulable de los frutos de jitomate verde-pintón, fue notablemente diferente respecto al periodo de almacenamiento controlado con el periodo de aclimatación. No hubo un patrón definido de acuerdo al tratamiento que se aplicó en ninguno de los periodos de almacenamiento; sin embargo, los valores tuvieron una tendencia a disminuir durante la aclimatación (temperatura ambiente). El intervalo de acidez en el almacenamiento controlado varió de 0.3% a 0.4% y durante el periodo de aclimatación fue de 0.15% a 0.35% (Figura 36). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

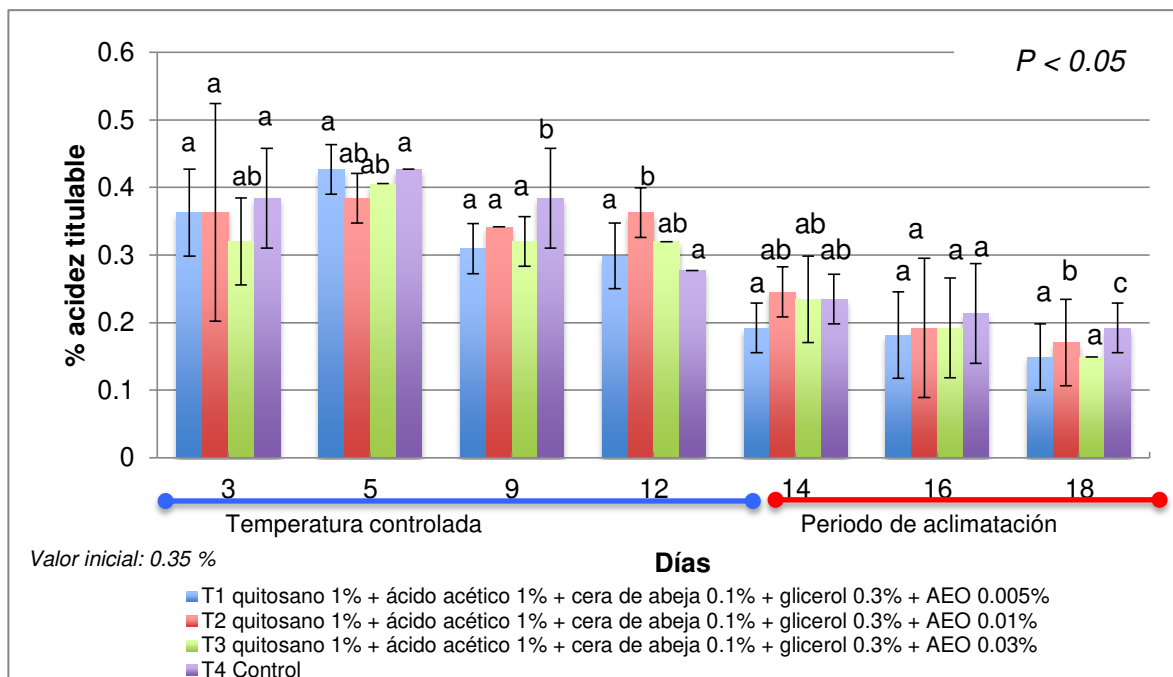


Figura 36. Porcentaje de acidez titulable verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

En los frutos de jitomate cosechados en estado rojo-maduro, los valores de acidez en el almacenamiento a temperatura controlada y aclimatación fueron variables en todos los tratamientos (Figura 37). No hubo un patrón definido. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

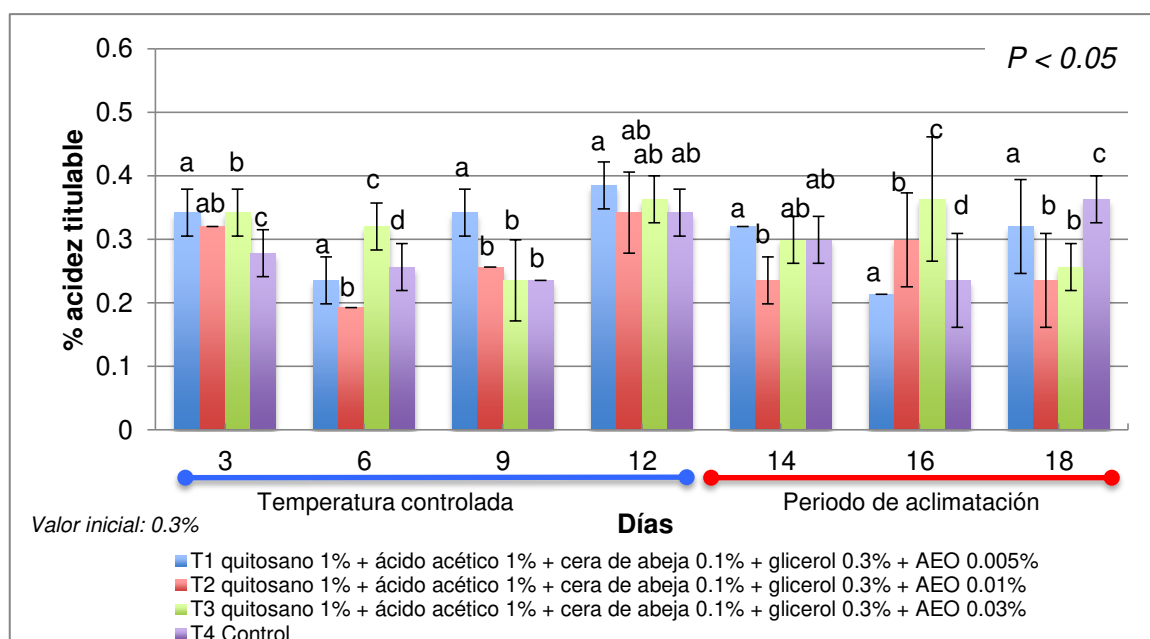


Figura 37. Porcentaje de acidez titulable de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

6.1.6 Contenido de carotenoides

El contenido de carotenoides en estado de madurez verde-pintón, aumentó de acuerdo al periodo de almacenamiento. Se observó, en general en todos los tratamientos un aumento considerable durante el almacenamiento controlado; sin embargo, el mayor contenido se obtuvo durante el periodo de aclimatación, principalmente en los tratamientos tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2) y tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3), a los 14 y 16 días (Figura 38). El contenido de carotenoides a temperatura controlada se encontró dentro de un intervalo de $3 \mu\text{l g}^{-1}$ a $23 \mu\text{l g}^{-1}$, mientras que durante la aclimatación, el intervalo varió de $13 \mu\text{l g}^{-1}$ a $24 \mu\text{l g}^{-1}$. En cuanto al análisis estadístico hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

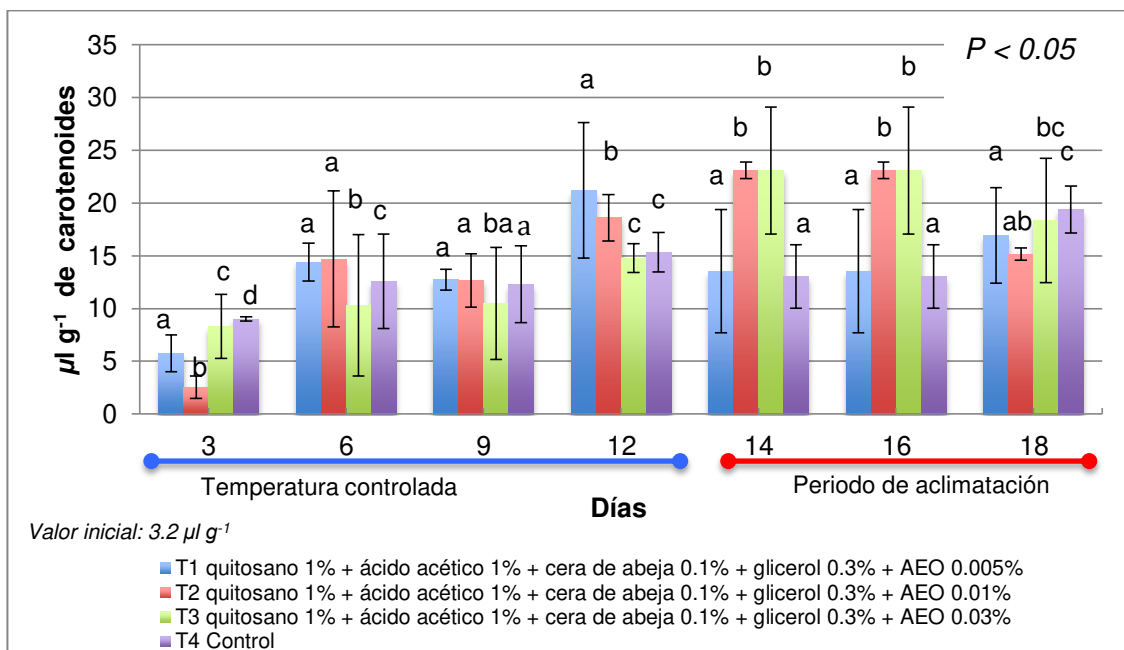


Figura 38. Contenido de carotenoides de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

Para el estado de madurez rojo, en ambos periodos de almacenamiento el contenido de carotenoides en los jitomates estuvo en un intervalo de $9 \mu\text{l g}^{-1}$ a $22 \mu\text{l g}^{-1}$. No se observó un patrón definido de acuerdo al tratamiento que se aplicó (Figura 39). El contenido mayor de carotenoides fue aproximadamente $23 \mu\text{l g}^{-1}$ y se obtuvo en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1) a los 9 días de almacenamiento controlado y a los 18 días de

aclimatación. El análisis estadístico mostro diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

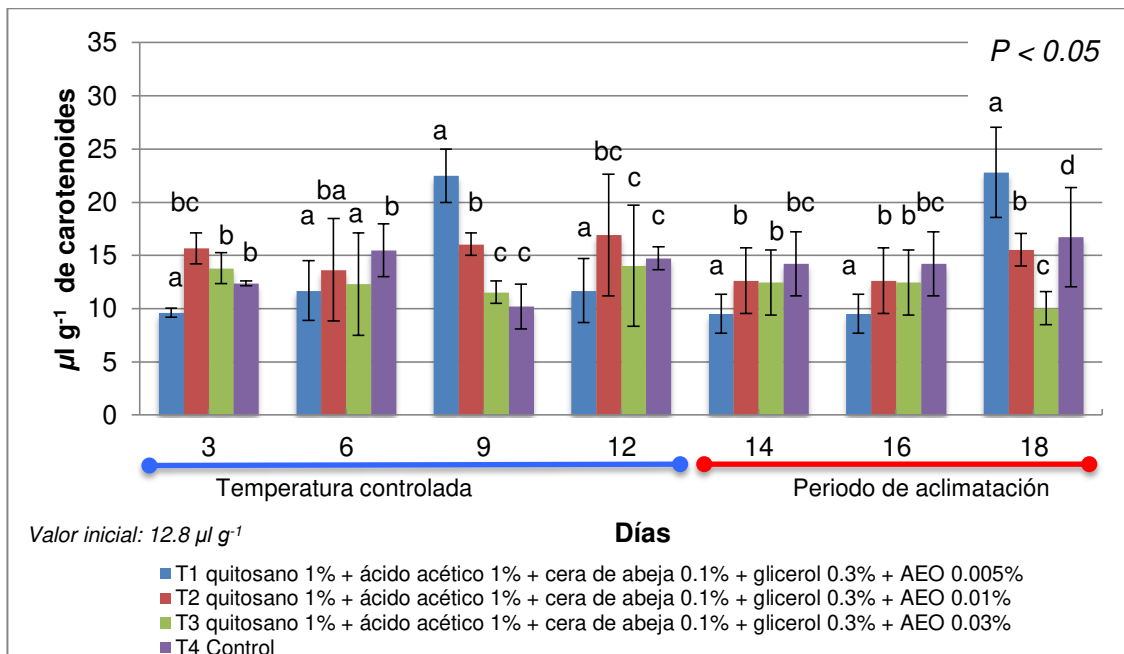


Figura 39. Contenido de carotenoides de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (periodo de aclimatación).

6.2 Evaluaciones fisiológicas

6.2.1 Producción de CO₂

La producción de CO₂ de los jitomates verde-pintón tratados y no tratados con los recubrimientos fue constante durante el almacenamiento controlado. Sin embargo, se observó un ligero incremento cuando los frutos se transfirieron a la temperatura de aclimatación. En éste período, el pico climatérico (21.5 mL Kg h⁻¹) se registró a los 16 días en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) (Figura 40). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

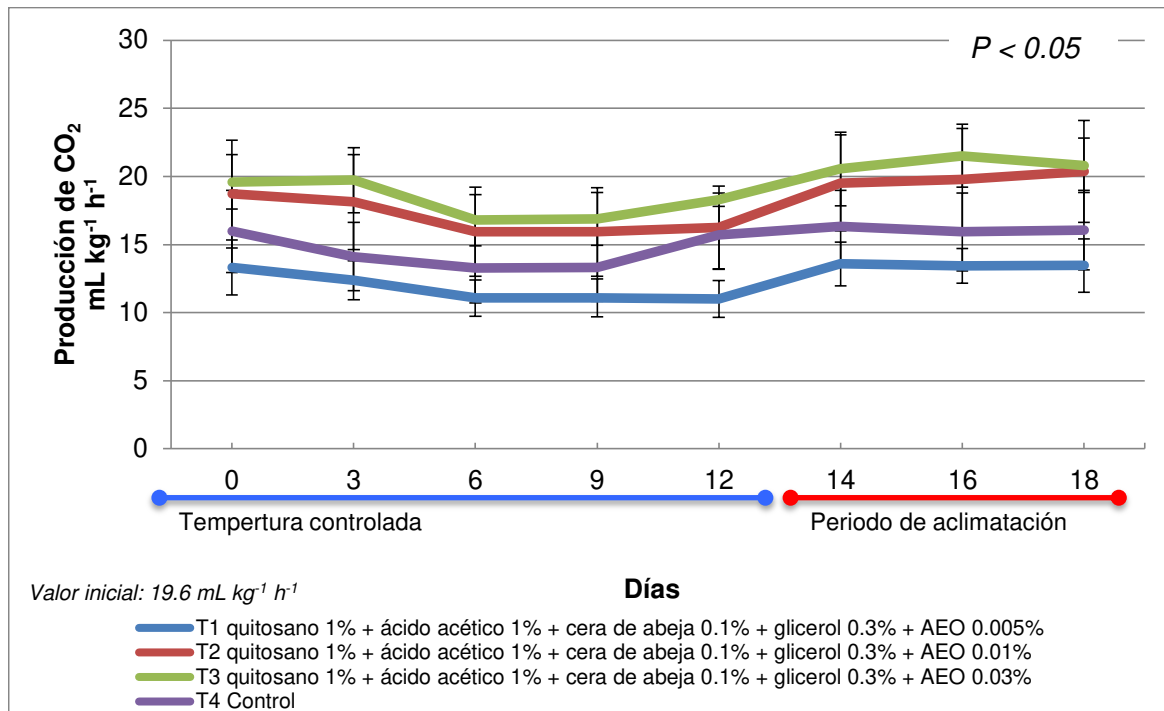


Figura 40. Producción de CO₂ de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

En relación a los jitomates rojo-maduro, la tasa de respiración fue constante durante ambos periodos de almacenamiento en todos los tratamientos aplicados. El valor promedio de producción de CO₂ para el tratamiento control (T4) fue de 9.03 mL Kg⁻¹ h⁻¹, mientras que, para los tratamientos: Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1) y Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) fue de 7.34 mL Kg⁻¹ h⁻¹. (Figura 41). El análisis estadístico no mostro diferencias significativas entre los tratamientos.

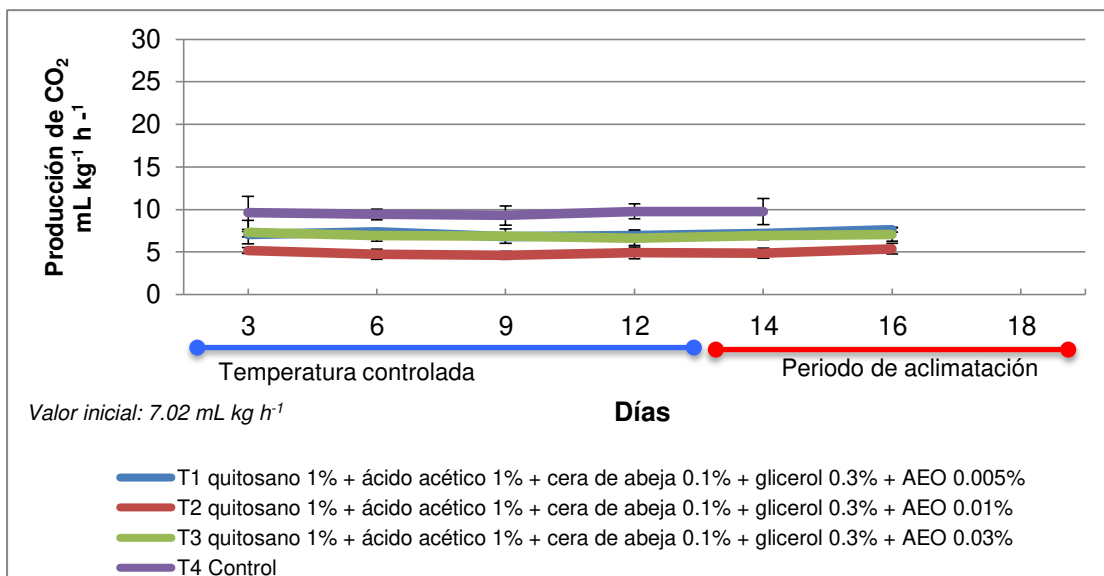


Figura 41. Producción de CO₂ de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

6.2.2 Producción de etileno

La producción de etileno de los jitomates verde-pintón, fue mínima. Se observó la mayor producción en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1) con un valor promedio de 50.8 $\mu\text{L kg h}^{-1}$ al tercer día de almacenamiento controlado (Figura 42). El análisis estadístico mostro diferencias significativas ($P < 0.05$).

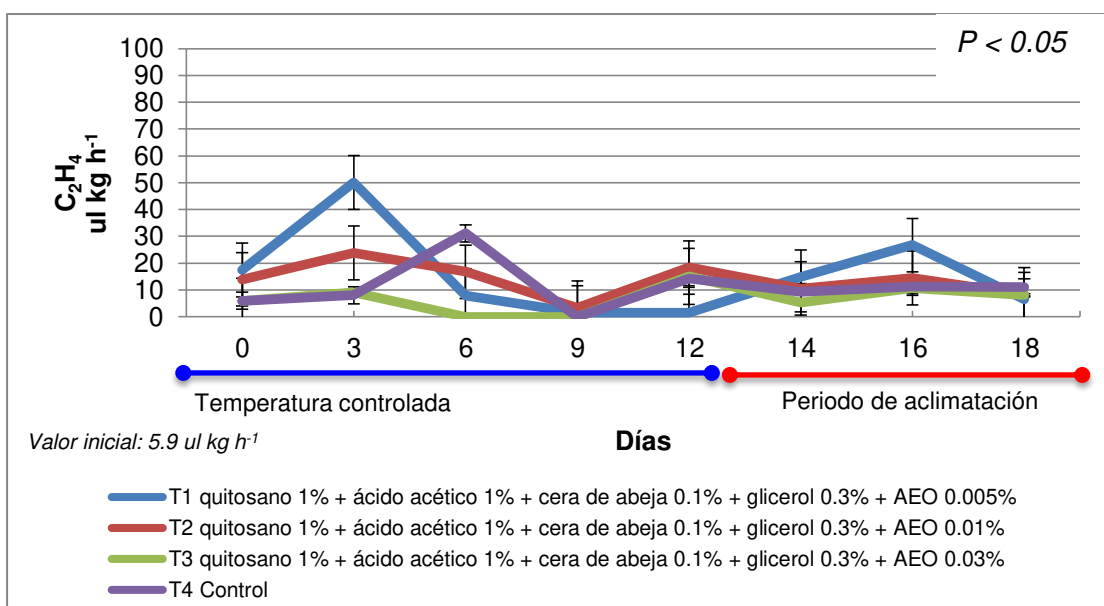


Figura 42. Producción de etileno de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

Para los jitomates rojo-maduro, no se registró producción de etileno en ninguno de los tratamientos durante ambos periodos de almacenamiento (Figura 43).

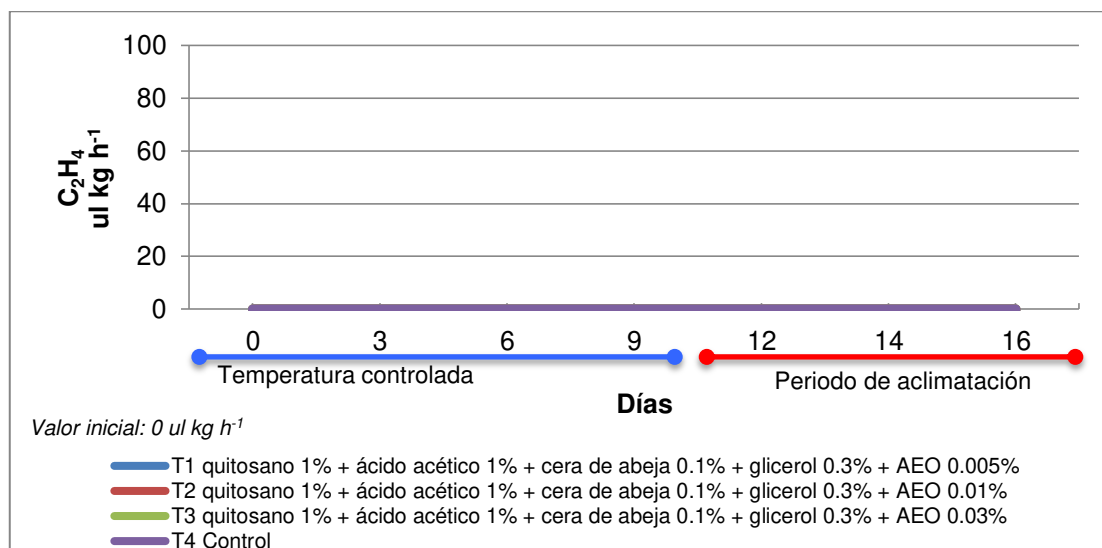


Figura 43. Producción de etileno de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

6.2.3 Pérdida de peso

La pérdida de peso fue constante durante ambos periodos de almacenamiento (Figura 44) en los jitomates verde-pinton; sin embargo, se observó un incremento ligero en la temperatura ambiente. En general el valor promedio final de pérdida de peso en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) fue de aproximadamente 28.2 %, mientras que, en los tratamientos restantes fue de 23.8 %. No hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

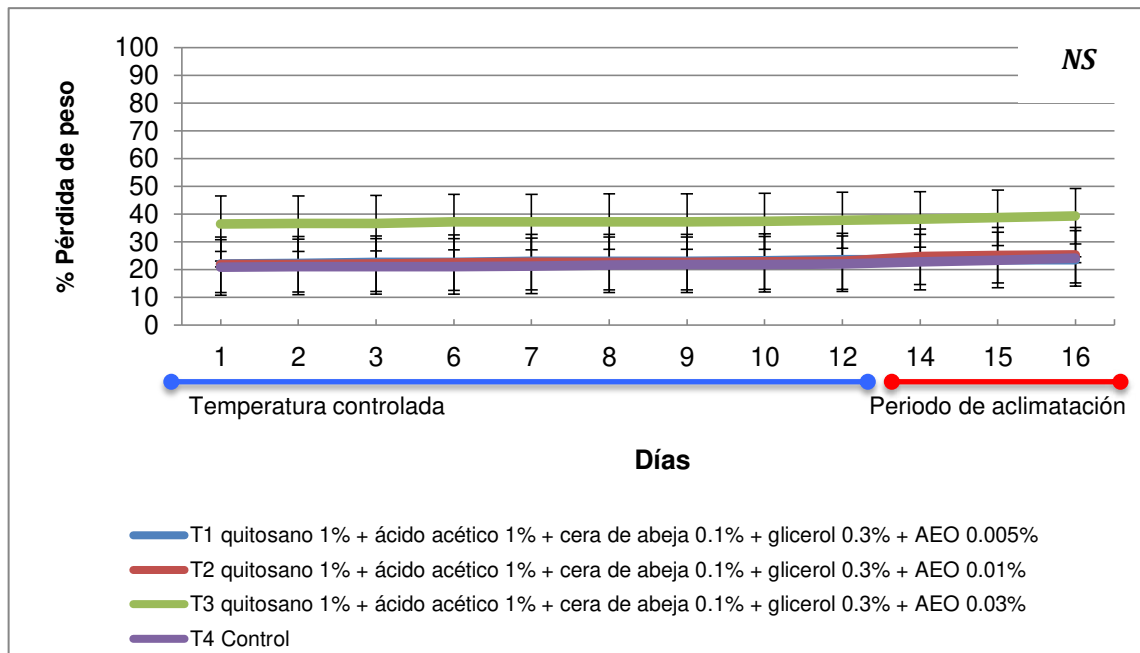


Figura 44. Pérdida de peso de jitomates verde-pintón, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

Por lo que se refiere a los jitomates rojo-maduro, a partir del octavo día del almacenamiento controlado, se observó, en los tratamientos Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3), Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1) y el control, pérdida de peso, mientras que, esto sucedió a partir del día 9º, en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2). En el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1), la pérdida de peso se registró a partir del día 12 (Figura 45). El porcentaje de pérdida de peso para cada tratamiento al final del almacenamiento fue la siguiente: T1 = 8.9%, T2 = 16.5%, T3 = 14.2% y T4 = 14.1%. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

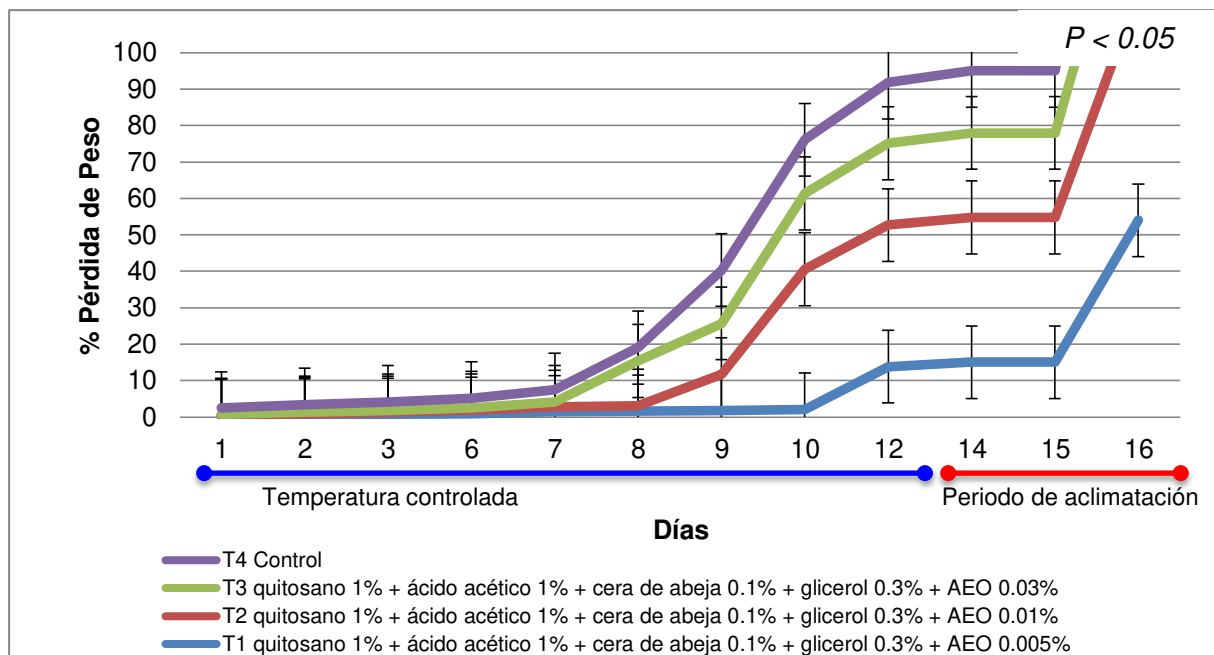


Figura 45. Pérdida de peso de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

6.3 Análisis microbiológico

El Cuadro 5 muestra que no hubo desarrollo de microorganismos en los frutos cosechados en estado de madurez verde-pintón al término del almacenamiento.

Cuadro 5. Microorganismos presentes en jitomate verde-pintón, tratados y no tratados con cubiertas de quitosano y diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), después de 16 días de almacenamiento

Estado de madurez verde-pintón		UFC					
Medio	Tratamiento	-1	-2	-3	-4	-5	-6
AST (Bacterias)	T1	0	0	0	0	0	0
	T2	0	0	0	0	0	0
	T3	0	0	0	0	0	0
	T4	2	0	0	0	0	0
PDA (Hongos y levaduras)	T1	0	0	0	0	0	0
	T2	0	0	0	0	0	0
	T3	0	0	0	0	0	0
	T4	1	0	0	0	0	0

*AST (Agar soya tripticaseína), PDA (Papa dextrosa Agar), UFC= Unidades Formadoras de Colonias. T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control.

En los jitomates del estado de madurez rojo-maduro, se aislaron microorganismos, provenientes de todos los tratamientos incluyendo el control (Cuadro 6). Los tratamientos con mayor presencia de bacterias fueron: Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2), seguido del tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) y Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1); sin embargo, en los frutos sin aplicación de cubierta fue en donde se aisló el mayor número de bacterias. Respecto al contenido de hongos y levaduras, igualmente, éste fue mayor en los frutos no tratados y en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2).

Cuadro 6. Presencia de microorganismos en jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano y diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO), después de 16 días de almacenamiento.

Estado de madurez rojo		UFC					
Medio	Tratamiento	-1	-2	-3	-4	-5	-6
AST (Bacterias)	T1	49 a	3 a	0 a	0 a	0 a	0 a
	T2	126 c	12 b	1 a	0 a	0 a	0 a
	T3	68 b	61 c	9 a	0 a	0 a	0 a
	T4	>200 d	>200 d	>200 b	>200 b	>200 b	>200 b
PDA (Hongos y levaduras)	T1	34 a	1 a	3 a	0a	0a	0a
	T2	97 b	15 b	1 a	0a	0a	0a
	T3	31 a	6 a	5 a	0a	0a	0a
	T4	>200 c	>200 c	>200 b	>200b	>200b	>200b

*AST (Agar soya tripticaseína), PDA (Papa dextrosa Agar), UFC= Unidades Formadoras de Colonias. *Letras diferentes indican que las muestras son significativamente diferentes. Comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control.

6.3.1 Aislamiento e identificación de microorganismos fitopatógenos

En los jitomates verde-pintón, no hubo presencia de microorganismos fitopatógenos en ningún tratamiento, incluyendo el control.

En relación al estado de madurez rojo, los géneros de hongos que se aislaron e identificaron en los cuatro tratamientos fueron: *Fusarium*, *Cladosporium*., *Geotrichum*, *Alternaria* (siendo éste último el que se aisló con mayor frecuencia) y *Botrytis* spp. Probablemente, se aisló un solo género bacteriano *Stenotrophomona* la cual se identificó en el tratamiento control (T4) (Figura 46).

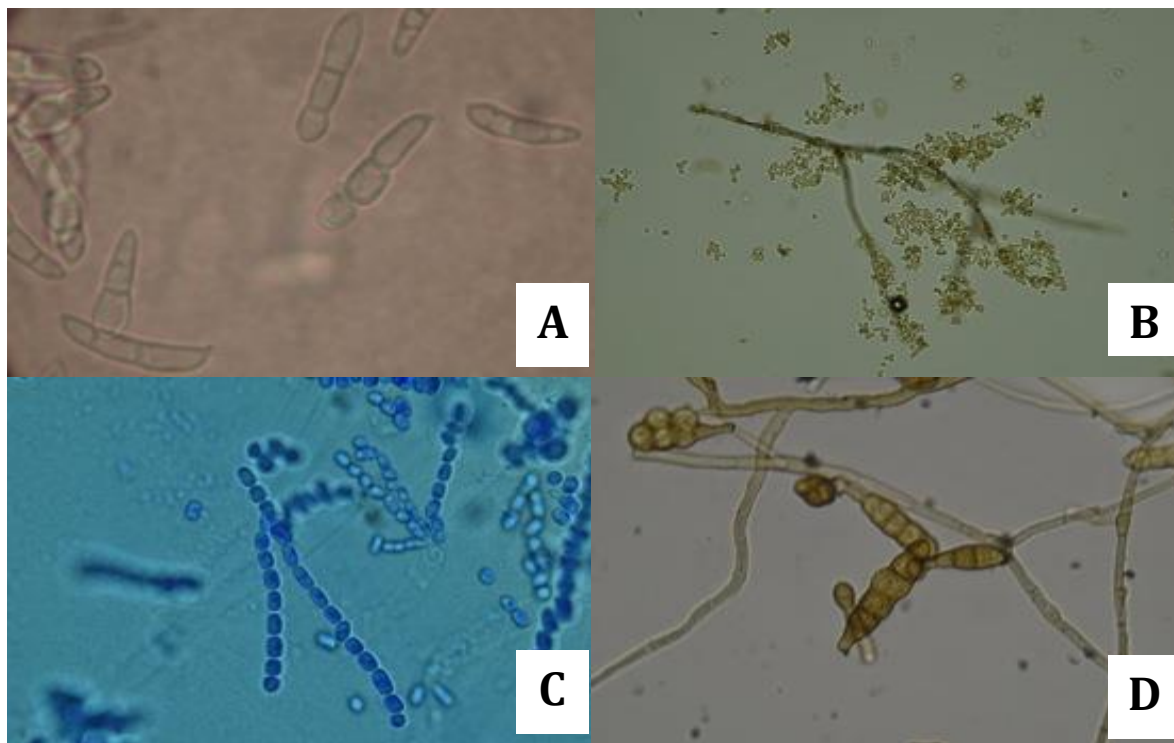


Figura 46. Géneros de hongos fitopatógenos aislados e identificados en jitomates del estado de madurez rojo, en los cuatro tratamientos evaluados. (A) *Fusarium* spp., (B) *Cladosporium* spp., (C) *Geotrichum* spp. y (D) *Alternaria* spp

6.3.2 Índice de severidad de la enfermedad

El mayor índice de severidad se encontró en el tratamiento control (T4) con un promedio de 3.6, mientras que el menor índice de severidad se encontró en el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) con un promedio de 2.5 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Índice de severidad de jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento.

Tratamientos	Índice de severidad
T1	2.6a
T2	3.3ab
T3	2.5a
T4	3.6ab

Escala: 1 = 0%, 2= 1-25%, 3 = 26-50%, 4 = 51-75% y 5 = 76-100% de daño superficial.
T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control

6.3.3 Incidencia de la enfermedad

El empleo de los recubrimientos redujo la presencia de microorganismos fitopatógenos en frutos de jitomate rojo-maduro tratados con recubrimientos con base de quitosano y aceite esencial de orégano en sus concentraciones diferentes. Los tratamientos Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) y Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2) tuvieron el control más efectivo de fitopatógenos con una reducción mayor al 50% en relación al tratamiento control (Figura 47).

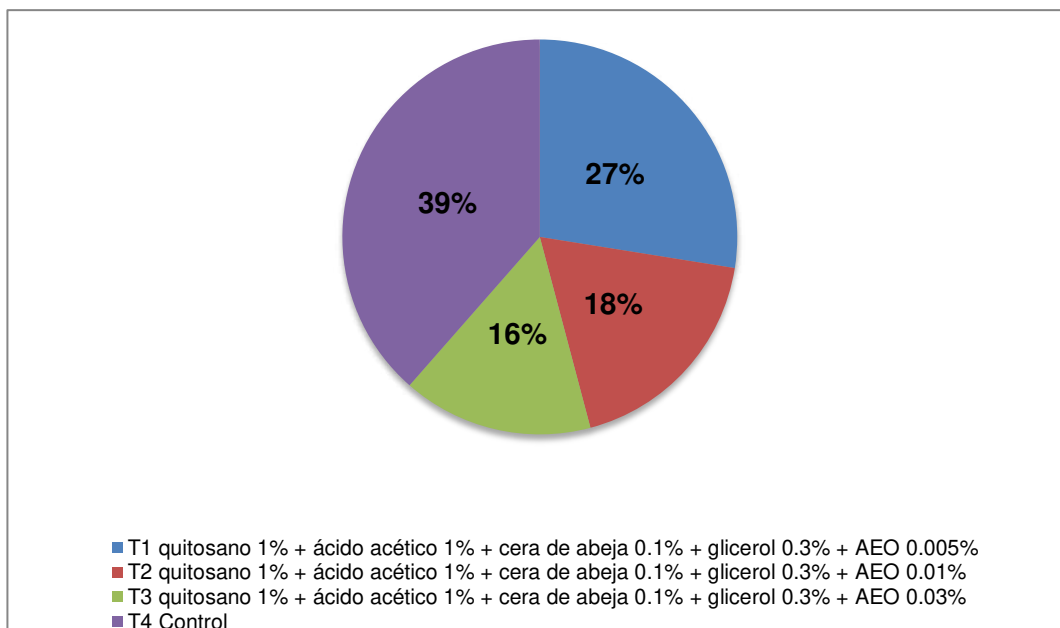


Figura 47. Incidencia (%) de la enfermedad en jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano, cera de abeja con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento.

6.3.4 Frecuencia de fitopatógenos

En el Cuadro (Cuadro 8), se muestran fitopatógenos aislados por cada tratamiento aplicado, siendo el hongo *Alternaria* el que presentó mayor frecuencia en los aislamientos.

Cuadro 8. Frecuencia de fitopatógenos aislados de jitomates cosechados en estado de madurez rojo tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento

Tratamientos	Géneros	Frecuencia (%)
T1	<i>Alternaria</i> spp.	
	<i>Fusarium</i> spp.	44.4 %
	<i>Geotrichum</i> spp.	22.2 %
		33.3 %
T2	<i>Alternaria</i> spp.	100 %
T3	<i>Cladosporium</i> spp.	
	<i>Fusarium</i> spp.	42.8 %
	<i>Botrytis</i> spp.	28.5 %
		28.5 %

T4

<i>Alternaria</i> spp.	31.8 %
<i>Fusarium</i> spp.	13.6 %
<i>Cladosporium</i> spp.	27.2 %
<i>Botrytis</i> spp.	22.7 %
<i>Stenotrophomona</i> spp.	4.5 %

T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control

6.4 Sensorial

De la prueba sensorial de los jitomates verde-pintón, los tratamientos Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1) y Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) obtuvieron el puntaje mayor en la categoría de color. El tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.005% AEO (T1) obtuvo el puntaje mayor en la categoría de aroma y el tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) en la categoría de sabor (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba sensorial en jitomates verde-pintón tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenado a temperatura controlada y ambiente (aclimatación).

	COLOR	AROMA	SABOR	PUNTAJE
T1	32	39	36	107
T2	30	30	24	84
T3	32	34	37	103
T4	27	33	33	95

T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control

Respecto a la prueba sensorial de los jitomates rojo-maduro, el puntaje mayor lo obtuvo el tratamiento control (T4) en aroma, color y sabor, seguido del tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3) (Cuadro 10). En ambas pruebas sensoriales el tratamiento con el menor número de puntos correspondió al tratamiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.01% AEO (T2).

Cuadro 10. Prueba sensorial en jitomates rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) y almacenados a temperatura controlada y ambiente (aclimatación)

	AROMA	COLOR	SABOR	PUNTAJE
T1	49	57	57	163
T2	50	57	54	161
T3	51	66	54	171
T4	56	67	73	196

T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control

VII. DISCUSIÓN

En este estudio la aplicación de las formulaciones de los recubrimientos a base de quitosano, cera de abeja y aceite esencial de orégano, en sus diferentes concentraciones, no afectaron el proceso de maduración en el jitomate saladette var. 'Kenton' en ambos estados de madurez.

En general, los cambios fisiológicos que se observaron se asociaron principalmente con la temperatura de almacenamiento. Por ejemplo, en el estado verde-pintón fueron notables los cambios en la pérdida de firmeza y contenido de ácido cítrico cuando el producto se trasladó de la temperatura controlada (10 °C) a la temperatura de aclimatación (medio ambiente). Aun así se resalta, que los valores promedio finales en relación a la firmeza fueron aproximadamente de 10N-15N, los cuales están dentro de los niveles mínimos de aceptabilidad ($> 1.46 \text{ N mm}^{-1}$) para que el fruto pueda ser comercializado, según Battu (2004); mientras que, los valores de ácido cítrico (0.3% a 0.4%) son en general bajos en comparación a los reportados en otros estudios, debido principalmente al tipo de genotipo evaluado (Juárez-López *et al.*, 2009; Dávila-Aviña *et al.*, 2011).

En relación al desarrollo del color; el cual se considera una variable visual asociada con la maduración y calidad del jitomate, se observó, que los valores de ángulo matiz, luminosidad y chroma, estuvieron dentro de la escala de maduración aceptada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) ya que el color final de los jitomates tratados y no tratados alcanzó el estado No. 6 ($>$ del 90% de la superficie del fruto con coloración roja) (Grierson y Kader, 1986; USDA, 1976). El desarrollo de color de verde-pintón o verde-rosado a rojo se incrementó con el incremento en la maduración, lo cual indica que la cubierta aplicada no modificó la atmósfera interna de los jitomates tratados.

En esta investigación, se observó un proceso de maduración normal asociado también con el tiempo de almacenamiento, el cual fue de 18 días. Independientemente, del uso de las cubiertas, la mayor producción y cambio de CO₂ y etileno correspondió principalmente en los jitomates del estado verde-pintón, mientras que, la mayor transpiración (pérdida de peso) se obtuvo en el estado rojo-maduro.

Asimismo, en el presente estudio, las variables acerca del contenido de °Brix y pH presentaron pocos cambios. Los valores en general fueron muy similares (< 5.0% y 4.5-5.0, respectivamente).

Los resultados de esta investigación coinciden en su mayoría con otros estudios llevados a cabo en jitomate y otras frutas. Por ejemplo, Barreto *et al.* (2016) reportaron que al término de almacenamiento controlado y ambiente, jitomates 'cherry', tratados igualmente con formulaciones a base de quitosano (4 mg mL^{-1}) y aceite esencial de orégano ($1.25 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$) presentaron mayor firmeza y menor pérdida de peso en comparación con los no tratados, mientras que, los valores de ácido cítrico y el contenido de °Brix fueron similares al control. Por su parte, Pontigo-Suárez *et al.* (2015) reportaron en frutos de papaya cv. 'Maradol', resultados similares al de este estudio, respecto a la variable firmeza, la cual fue significativamente mayor (14.4 N) en relación a los frutos control (12.0 N) al término de 16 días de almacenamiento a $14 \text{ } ^\circ\text{C}$, cuando se les aplicó un recubrimiento con CMC (carboximetilcelulosa) y aceite esencial de orégano (5000 ppm).

Por otro lado, se han reportado las propiedades funcionales de los carotenoides en frutas y hortalizas, los cuales actúan como antioxidantes y como secuestradores de radicales libres (Notario-Medellín y Sosa-Morales, 2012). En ésta investigación, fue evidente, principalmente en los jitomates verde-pintón, el efecto positivo de la aplicación de las cubiertas en el incremento del contenido de carotenoides respecto al tratamiento control, con valores promedio inicial y final de $.3.2 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ a $10 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$, respectivamente. En general, la literatura reporta diferentes valores promedio de acuerdo a la variedad o cultivar estudiado. Así, en diferentes variedades de jitomate 'cherry' se establecen valores de $9.9 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ (Muratore *et al.*, 2005), $4.9 - 7.1 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ (Zanfini *et al.*, 2007) y de $4.6 - 4.9 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ (Aherne *et al.*, 2009), mientras que, estos mismos autores, reportaron en jitomate 'Bola' valores de antocianinas de $23 - 35 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ y para la var. Saladette el contenido varió de $21 - 42 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ (Zanfini *et al.*, 2007).

En relación a la incidencia de microorganismos, fue notable que la inmersión del jitomate rojo-maduro en las formulaciones, principalmente en aquella que contenía la concentración mayor del aceite esencial de orégano (0.03%), redujo de forma importante (> 50%) la presencia (incidencia) y el daño (severidad) causado por microorganismos patógenos (bacterias y levaduras) y deterioradores (hongos). Estos

resultados coinciden con otros experimentos en los que la aplicación de formulaciones que contienen quitosano, cera de abeja y/o aceites esenciales como el orégano, limón y té limón, resaltaron por su efectividad en contra de microorganismos patógenos del jitomate (Ramos-García *et al.*, 2012; Pontigo-Suárez *et al.*, 2015; Barreto *et al.*, 2016; Athayde *et al.*, 2016). En estos estudios, el control de bacterias como *E coli* DH5 α y *Salmonella* spp., y de hongos como *Rhizopus* spp. y *Alternaria* spp. fue significativamente mayor que en los jitomates no tratados.

En relación al género de hongos aislados e identificados en esta investigación i.e. *Alternaria* spp., *Botrytis* spp., *Fusarium* spp. y *Cladosporium* spp., estos coinciden con los ya reportados en la literatura (Jones *et al.*, 2000; Snowdon, 1991). En el caso de la de la bacteria *Stenotrophoma* spp. será necesario realizar otras pruebas de identificación moleculares y bioquímicas que confirmen la caracterización a nivel molecular de la presencia de este microorganismo en el jitomate.

En cuanto al análisis sensorial, se observó que la aceptación del producto agrícola en fresco varió según el estado de madurez. Así, se observó que en general, hubo una mejor aceptación de los panelistas de los jitomates estado verde-pintón y tratados con las formulaciones, mientras que, los jitomates rojo maduro sin los tratamientos tuvieron el mayor puntaje de aceptación. Sobre el tema, Barreto *et al.* (2016) reportaron resultados diferentes, ya que reportan que la combinación de quitosano con el aceite esencial de orégano, mejoró la apariencia, sabor y color de jitomates 'cherry' en estado maduro, con la consiguiente mejor aceptación del producto por parte de los evaluadores.

Los productores mexicanos involucrados principalmente en el sector de exportación de hortalizas incluyendo el jitomate, han adoptado en general, nuevas variedades y cultivares así como nuevas tecnologías con la finalidad de incrementar su producción. La adición de nuevas alternativas amigables con el medio ambiente para prolongar la vida de anaquel de éste cultivo de importancia comercial para México, como las que se han evaluado en éste trabajo de tesis, mejorará la calidad del producto y proveerá de beneficios económicos a los interesados. Las formulaciones que incluyen el quitosano en combinación con cera de abeja y aceites esenciales como el de orégano es una opción no química, y disponible para controlar

microorganismos patógenos; sin embargo, antes de mayores recomendaciones es necesario realizar evaluaciones a nivel directamente en empacadoras comerciales.

Por otro lado, se sabe que el jitomate maduro se consume fresco y se utiliza en la manufactura de productos procesados como puré, pasta, polvo, catsup, salsa, sopas y tomates enlatados (Candelas *et al.*, 2006), entonces, la evaluación de las formulaciones deberá considerar el destino final de este producto agrícola.

VIII. CONCLUSIONES

En general, los recubrimientos de quitosano adicionados con el aceite esencial de orégano no afectaron la maduración de los jitomates var. 'Kenton' independientemente del estado de madurez, ya que las variables de calidad permanecieron dentro de los parámetros que estipula el PC-020-2005, pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en tomate y la norma NMX-FF-031-1997.

El recubrimiento a base de Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3), en general mantuvo la calidad postcosecha de los frutos de jitomate en ambos estados de madurez ya que, se observó una menor tasa respiratoria, pérdida de peso y firmeza, así como un aumento en la producción de carotenoides.

Los tres recubrimientos de quitosano adicionados con AEO evaluados, inhibieron el desarrollo de microorganismos deterioradores y fitopatógenos en los frutos cosechados en estado de madurez verde-pintón, mientras que, en los jitomates rojo-maduro y tratados con Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3), se observó un control de fitopatógenos mayor al 50%.

La menor frecuencia de hongos se observó en los jitomates que se trataron con el recubrimiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO (T3), siendo el género de hongos *Alternaria* spp. el que se presentó con mayor frecuencia en la mayoría de los tratamientos.

El recubrimiento Q 1%+ ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + 0.03% AEO, fue el mejor efecto sobre las pruebas de calidad, fisiológicas, microbiológicas y de aceptabilidad.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Agnihotri, A. S., Mallikarjuna, N. N., and Aminabhavi, M. T. (2004), Recent advances on chitosan-based micro and nanoparticles in drug delivery. India, Journal of Controlled Release, 100:5–28 DOI: 10.1016 / j.jconrel.2004.08.010
- Akbudak, B. and Akbudak, N. (2007). Effects of hot water treatment and modified atmosphere packaging on the quality and cold storage life of cherry tomatoes. Journal of Food Science and Technology 44: 216-219. DOI: 10.1007/s13197-013-1157-x
- Ali, A. and Mahmud, T. M. M. (2008). The potential use of locally prepared chitosan to control *in vitro* growth of *Colletotrichum gloeosporoides* isolated from papaya fruits. Acta de Horticultura 804, 177-182. DOI: 10.17660 / ActaHortic.2008.804.22
- Alí, A., Mahmud, T. M., Kamaruzaman, S. and Yameen, S. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. Food Chemistry (2):620-626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.085>
- All-Walli. (2005). Mixture of honey, beeswax and olive oil inhibits growth of *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*. Archives of Medical Research 36(1):10-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2004.10.002>
- Álvarez, R. y Delgadillo, F. (2004). Enfermedades del tomate y chile Bell. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coahuila, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods of Analysis. 15th edition. Ed. Washington DC. USA.
- Athayde, A. J. A. A., de Oliveira, P. D. L., Guerra, I. C. D., da Conceição, M. A. B, de Lima, N. M. O., Arcanjo, M. S. Madruga, L. R. R. Berger and de Souza, E. L. (2016). A coating composed of chitosan and *Cymbopogon citratus* (Dc. Ex Nees) essential oil to control *Rhizopus* soft rot and quality in tomato fruit stored at room temperature. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 91(6):1-10. DOI: 10.1080/14620316.2016.1193428
- Ávila-Sosa, R., Hernández-Zamoran, E., López-Mendoza, I., Palou, E., Jiménez, M. T., Nevárez-Moorillón, G. V. and López-Malo, A. (2010). Fungal inactivation by Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Shauer) essential oil added to amaranth, chitosan, or starch edible films. Journal of Food Science. 75(3):127-133. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01524.x

- Badawy, M. E. and Rabea, E. I. (2009). Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit, *Postharvest Biology and Technology* 51 (1):110-117. DOI : 10.1016/j.postharvbio.2008.05.018
- Baez-Saduño, M. A., Contreras-Martínez, R. y Muy-Rangel, M. D. (2013). Incrementa ganancias a través de un efectivo manejo postcosecha de hortalizas producidas en condiciones protegidas. Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo A. C. Unidad Culiacán. 6to Simposio Internacional de invernaderos en Puebla.
- Bai Y. and P. Lindhoun (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany* 13:1-7. DOI:10.1093 / AOB / mcm150
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils— A review. *Food and Chemical Toxicology* 46: 446-475. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm15>
- Baldoni, D., Ventura-Aguilar, R. I., Hernández-López, M., Corona-Rangel, M. L., Barrera-Necha, L., Correa-Pacheco, Z. y Bautista-Baños, S. (2016) Calidad postcosecha de higos “Black mission” tratados con cubiertas naturales. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 17 (2):267-275. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041014>
- Barnett, H.L., and Hunter, B.B. (2003). *Illustrated Genera of imperfect fungi*. Tercera Edición. APS PRESS. St. Paul, Minnesota. USA. 218pp.
- Barreto, T. A., Andrade, S.C.A., Maciel, J. F., Arcanjo, N. M. O., Madruga, M. S., Meireles, B., Cordeiro, A. M. T., Souza, E. L. and Magnani, M. (2016). A chitosan coating containing essential oil from *Origanum vulgare* L. to control postharvest mold infections and keep the quality of cherry tomato fruit. *Frontiers in microbiology*. 7(24). DOI: 10.3389/fmicb.2016.01724
- Battu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food and Engineering*. 61, 471-475. DOI: doi:10.1016/S0260-8774(03)00141-9
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A.N., Velázquez del Valle, M.G., Hernández-López, M., Ait Barka, E., Bosquez-Molina, E., Wilson, C.L., (2006). Chitosan as a potential natural compound to control pre- and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection*. 25: 108-118. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.03.01
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., and Wilson L. (2003). Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporoides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop protection*. 22:1087–1092. DOI:10.1016/S0261-2194(03)00117-0

- Bautista-Baños, S., Velázquez-del Valle, M.G., Hernández-Lauzardo, A.N., and Ait Barka, E., (2008). The *Rhizopus stolonifer* in tomato interaction. In: Barka, E.A., Clément, C. (Eds.), Plant Microbe Interaction. Research Signpost, Kerala, India. 269-289. ISBN: 978-81-308-0212-1. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Silvia_Bautista-Banos/publication/234102268_The_rhizopus_stolonifer-tomato_interaction/links/00463535394fb7d5a5000000/The-rhizopus-stolonifer-tomato-interaction.pdf?origin=publication_detail
- Bautista-Baños. S., Romanazi, G. and Jiménez-Aparicio., A. (2016). Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities. 1st Edition. Academic Press. E.U.A. 384pp. ISBN: 9780128027356
- Bosquez-Molina. E., Bautista-Baños. S., y Morales, L., J. (2009). Aceites esenciales: bioconservadores con alto potencial en la industria alimentaria. *Industria Alimentaria* 31:12-24. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000100005&lng=es&tlng=es.
- Brennan, J. G. and Grandison, A. S. (2012). Food processing handbook. Segunda edición. WILEY-VCH, Singapur. 131pp.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94: 223-253. DOI: 10.1016 / j.ijfoodmicro.2004.03.022
- Candelas, C. M. G., Alanís, G. M. G. J. y Río, O. F. (2006). Cuantificación de licopeno y otros carotenoides en tomate y polvo de tomate. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 10(19) ISSN 1405-9282.
- Casals, P. A. G., Elmer, I., Viñs, N., Teixódo, M., Sisquella, and J., Usall. (2012). The combination of curing with either chitosan or *Bacillus subtilis* CPA-8 to control Brown Rot Infections caused by *Monilinia fructicola*, postharvest. *Biology Technology*, 64: 126-132. Recuperado de <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=25533518>
- CESVBC (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California) (2008). Programa de Inocuidad Alimentaria. Manual de Desinfección Postcosecha, México, 57pp.
- Chutichudet, B., Chutichudet, P. (2014) Effects of chitosan or calcium chloride on external postharvest qualities and shelf-life of "Holland" papaya fruit. *Journal Agriculture Science*. 6: 160-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v6n11p160>
- COFRUPO (Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce A. C.) (2008). Protocolo para la implementación obligatoria de buenas practicas agrícolas y buenas practicas de manejo en

los procesos de producción, cosecha y empaçado de tomate (*Lycopersicon sculentum*) en el estado de Baja California, México, 37pp.

- Dávila-Aviña, J. E., Villa-Rodríguez, J., Cruz-Valenzuela, R., Rodríguez-Armenta, M., Espino-Días, M., Ayala-Zavala, J. F., Olivas-Orozco, G. I., Heredia, B. and González-Aguilar, G. (2011). Effect of edible coatings, storage time and maturity stage on overall quality of tomato fruits. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 6 (1):162-171. ISSN 1557-4989.
- Dos Santos, N. S., Athayde, A. J., Vasconcelos, C. E., de Sales, C. V., de Melo, S., Sousa da Silva, R., Montenegro, T. C. and Leite, E. (2012). Effect of the application of coating composed of chitosan and *Origanum vulgare* L. essential oil to control *Rhizopus stolonifer* and *Aspergillus niger* in grapes (*Vitis labrusca* L.). *Food Microbiology*. 32:234-353. DOI. 10.1016 / j.fm.2012.07.014
- Du, W. X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C. E., and Friedman, M. (2009). Antibacterial effects of allspice, garlic, and oregano essential oils in tomato films determined by overlay and vapor-phase methods. *Journal of Food Science*. 74(7): 390-397 DOI:10.1111 / j.1750-3841.2009.01289.x
- Ducamp-Collin, M. N., Ramarson, H., Lebrun, M., Self, G., and Reynes, M. (2008). Effects of citric acid and chitosan in maintaining red coloration of litchi pericarp, *Postharvest Biology and Technology* 49:241-246. DOI: 10.1016 / j.postharvbio.2008.01.009
- Fagundes C., Palou L., Monteiro A. R., Pérez-Gago, M. B. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 92: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.006>
- FAO. (2010) Food and Agriculture Organization. Manual de buenas prácticas agrícolas en la cadena del tomate En: www.fao.org/docrep/019/i1746s/i1746s.pdf Consultado el 23 de noviembre del 2015.
- FAO/OMS. (2012). Código Internacional Recomendado de Prácticas – Principios Generales de Higiene de los Alimentos, CAC/RCP 1-1969, Rev.4, en *Textos Fundamentales sobre Higiene de los Alimentos*, tercera edición - FAO/OMS, Roma, 453-500pp.
- FAO. (2015) Food and Agriculture Organization. Prácticas agrícolas en la cadena del tomate En: www.fao.org/docrep/019/i1746s/i1746s.pdf. Consultado el 23 de octubre del 2015.
- FAOSTAT. (2013). Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division. En: www.faostat.fao.org. Consultado el 19 de octubre del 2015.
- FAOSTAT. (2014). Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division. En: www.faostat.fao.org. Consultado el 25 de octubre del 2016.

- FAOSTAT. (2015). Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division. En: www.faostat.fao.org. Consultado el 3 enero del 2016.
- FND (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero). (2014). Panorama del jitomate. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información. En: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Jitomate.pdf>
- Galiotta, G., Harte, F., Molinari, D., Capdevielle, R. y Diano, W. (2005). Aumento de la vida útil poscosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 6(2):117-123. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81360209>
- Ganga, I., Hewajalige, N., Sultanbawa, Y., Wijeratman, R. S. W., and Wijesundara, R. L. (2009). Mode of action of chitosan coating on anthracnose disease control in papaya. *Phytoparasitica* 37. 437-444. DOI: 10.1007 / s12600-009-0052-5
- García-Camarillo, E. A., Quezada-Viay, M. Y., Moreno-Lara, J., Sánchez-Hernández, G., Moreno-Martínez, E. y Pérez-Reyes, M. C. J. (2006). Actividad antifúngica de aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y Orégano (*Origanum vulgare* L.) y su efecto sobre la producción de aflatoxinas en nuez pecanera [*Carya illinoensis* (F.A. Wangenh) K. Koch] *Revista Mexicana de Fitopatología* 24(1):8-12. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61224102>
- Gol. N. B., Ptel, P. R. and Rao, T. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biololy* 85:185-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
- Grahounth, E, Ponnampalam, L. and Boulet, M. (1991). Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal Food and Science*: 56(6):15-22. DOI 10.1111/j.1365-2621.1991.tb08655.x
- Grierson, A., and Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. In J.G. Atherton, & J. Rudich (Eds.), *Tomato crop*. USA:Chapman and Hall Ltd. 241-280. DOI: 10.1007/978-94-009-3137-4_6
- Gustavsson J., Cederberg, C., Ulf, S. (2011). Global food losses and food waste. Swedish Institute for Food and Biotechnology. FAO, Italia. 38pp.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J. and Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Postharvest Biology and Technology* 39: 247-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.11.006>

- Hernández, V. E., Nieto, A. R., y Navarro, L. E. R. (2011). Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Tercera edición, Editorial Colegio de Posgraduados. México 126pp.
- Herrero, A. G., (1992). Conservación de frutos. Manual Técnico. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. 409 pp.
- Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun, D., and Gong, D. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) during storage. Science Horticulture. 144:172-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.002>
- Jiang, Y., Li, J., and Jiang, W. (2005) Effects of chitosan coating in shelf-life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. LWT-Food. Science Technology 38: 757-761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.004>
- Jones, J. B; Jones, J. P; Stall, R. E. y Zitter, T. A. (2000). Plagas y enfermedades del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid,España 2-3pp.
- Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Ramírez-Vallejo, P., Sandoval-Villas, M., Reed, D. W., Cisneros-Zevallos, L. y King, S. (2009). Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon sculentum* var. Cerasifirme). Revista Chapingo serie Horticultura. 15(2) 5-9. Recuperado de : <http://scielo.unam.mx/pdf/rcsh/v15nspe/v15nspea2.pdf>
- Koksal, O., Gunes, E., Orkan, O. and Ozden, M. (2010). Analysis of effective factor on information sources at Turkish oregano farms. African Journal Agriculture Res. 5:142-149. DOI: 10.5897/AJAR09.598
- Lárez, V., C. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. Revista Iberoamericana de Polímeros 4(2): 91-109.
- Li, H., Yu, T. (2000). Effect of chitosan on incidence of Brown Rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. Journal Science Food agricultura 81:2689-274. DOI:10.1002/1097-0010(20010115)81:2<269::AID JSFA806>3.0.CO;2-F
- Little, A. C. (1975). Research note off on a tangent. J. Food Sci. 40(2):410-411. DOI: 10.12691/jfnr-4-3-9
- Liu, J., Tian, S., Meng, X. and Xu, Y. (2007). Effcets of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. Posthrvest Biology and Technology 44:300-306. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2006.12.019
- López, M. M. A., Ruíz, C. S., Navarro, P. C., Ornelas, P.J J., Estrada, A. M, Gassos, O. L. E. and García, R. J. (2012). Effect of chitosan edible coatings in the microbial reduction and conservation of the quality of strawberries. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad de Sonora. 1:33-43.

- Mahovic, M. J., Sargent, S. A., Bartz, J. A. y Lon, E. (2006). Identificación y control post cosecha de las enfermedades del tomate en la florida. Institute of food and Agricultural Sciences (IFAS): Obtenida el 6 de mayo de 2015 <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/27/40/00001/HS33400.pdf>
- Mi-Ran, J., Pyeong Beom, P., Dae-Hyuk, K., Young-Suk, J., Han Sol, J. and Sang-Hoon, C. (2009). Essential oil prepared from *Cymbopogon citrates* exerted an antimicrobial activity against plant pathogenic and medical microorganisms. *Journal Mycobiology* 37 (1): 48-52. DOI: <https://doi.org/10.4489/MYCO.2009.37.1.048>
- Miranda-Castro, S. P.,(2016). Application of chitosan in fresh and minimally processed fruits and vegetables, 67-104.. Chapter 2. Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities, 1st Edition. Academic Press. 384pp.
- Miranda, M., (2003). Comportamiento de películas de quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Revista de la Sociedad Química de México* 47:331-336. Recuperado de <http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=47547408>
- Mohammadi, A., Hashemi, M. and Hosseini, S. M. (2015). Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of Cucumber during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 110: 203-2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.019>
- Moreno-Hernández, L. C., Ságado-Ayerdi, S. G., García-Galindo, H. S., Mata-Montes de Oca, M., and Montalvo-González, E. (2014). Effect of the application of 1-Methylcyclopropene and wax emulsions on proximate analysis some antioxidants of soursop (*Annona muricata* L.). *Journal Science World*. 7: 1-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/896853>
- Moreno, Y. (2010). Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de jitomate del centro, sur y sureste de México. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos Estado de México, México. 129pp
- Muratore, G., Licciardello, F. and Maccarone, E. (2005). Evaluation of the chemical quality of new type of small-size tomato cultivar, the plum tomato (*Lycopersicum sculentum*). *Italian Journal of Food Science*. 1(17): 75-81.
- Mutari, A. and Ressa, D. (2011). The effects of postharvest handling and storage temperature on the quality and shelf of tomato. *African Journal of Food Science* 5(7): 446-452. ISSN 1996-0794
- NATTWG, Grupo Norteamericano de Trabajo en Comercio de Tomate. (2008). Lineamientos de Inocuidad de los Alimentos Específicos para Tomate Fresco en la Cadena de Suministro. Segunda Edición. United Fresh Produce Association, E.U.A. 62pp. Recuperado de: <http://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/UCM175991.pdf>

- Navarro, U. E. (2011). Producción de tomate saladette (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en una unidad de producción Chaparrosa, villa de Cos, Zacatecas. Tesis de Licenciatura: Economía Agrícola y Agronegocios. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 78pp.
- NMX-FF-031-1997. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO. HORTALIZAS FRESCAS. TOMATE - (*Lycopersicum esculentum* Mill.). ESPECIFICACIONES. NON INDUSTRIALIZED FOOD PRODUCTS FOR HUMAN CONSUMPTION. FRESH VEGETABLE. TOMATO. (*Lycopersicum esculentum* Mill.). SPECIFICATIONS. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. Recuperado de <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-031-1998.PDF>
- Notario-Medellin. C. M. y Sosa-Morales. M. E. (2012). El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.): aporte nutrimental, enfermedades post cosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. Temas selectos de la ingeniería en alimentos 6(1): 40-53. Recuperado de: [http://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6\(1\)-Notario-Medellin-et-al-2012.pdf](http://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6(1)-Notario-Medellin-et-al-2012.pdf)
- Pérez-Gago. E., Castro, A. F. F., Gutierréz, U. J. A., and Lara, G. S. (2012). Revisión of the production, phytochemical composition, and nutraceutical properties of Mexican oregano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3 (2): 339-353. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200010&lng=en&nrm=iso. ISSN 2007-0934.
- Plainsirichai, M., Leelaphatthanapanich, S., and Wongsachai, N. (2014). Effect of chitosan on the quality of rose Apples (*Syzygium aguenum* Alston) cv. Tabtim Chan stored at an ambient temperature. APCBEE Procedia 8: 317-322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.03.047>
- Plotto, A., Roberts, R. G., and Roberts, D. D. (2003). Evaluation of plant essential oils as natural postharvest disease control of tomato (*Lycopersicum esculentum*). Acta Horticulturae. XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Postharvest Horticulture 628: 737-745.
- Pontigo-Suárez. A. G., Trejo, M. M. A., y Lira, V. A. A. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceites esencial de orégano para conservación de papaya "Maradol". Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Hermosillo, México 16(1): 58-63. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864008>
- Qiuping, Z., Wenshiu, X. (2006). Studies on the delay of avocado (*Persea Americana*) fruit ripening 1-MCP and chitosan coating treatment. J. Chinese Inst. Food Science Technology 3:95-99 (abstract). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802735-6.00003-3>

- Rama, K. K, Sudhakar, D.V. and Rao. (2014). Effect of chitosan coating on the physiochemical characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) fruits during storage at room temperature. Indian Journal Science and Technology 7: 554-558. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.07.002
- Ramos-García. M. L., Bautista-Baños. S., Barrera-Necha. L. L., Bosquez-Molina. E. and Alia-Tejalcapa. I., Estrada, C.M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. Revista Mexicana de Fitopatología 28(1): 44-57. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2007-8080.
- Ramos-García. M. L. (2012). Recubrimientos biodegradables para el control de microorganismos patógenos y conservación de la calidad de frutos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.). Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional, México 163pp.
- Ramos-García. M. L., Bosquez-Molina. E., Hernández, R.J., Zavala, P. G., Terrés, R. E., Alia-Tejalcapa. I., Barrera-Necha. L., Hernández-López, M., and Bautista-Baños. S. (2012). Use of chitosan-based edible coatings in combination with other natural compounds, to *Rhizopus stolonifer* and *Escherichia coli* DH5 α in fresh tomatoes. Crop protection 38 (1): 6 1-6. DOI:10.1016/j.cropro.2012.02.016-
- Rivero, C. I.; Duarte, G.; Navarrete, A.; Bye, R.; Linares, E. and Mata, R. (2011). Chemical composition and antimicrobial and spasmolytic properties of *Poliomintha longiflora* and *Lippia graveolens* essential oils. Journal Food Science 76: 309-317. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.02022.x
- Rodríguez-Amaya. D. B., (1999). Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides, provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencias en Alimentos, Universidad Estatal de Campinas, Brasil. 27-33 pp.
- Rodríguez, A., Batlle, R. and Nerín, C. (2007). The use of natural essential oils as antimicrobial solutions in paper packaging. Part II. Progress in organic coating. 60: 33-38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2007.06.006>
- Rojas-Fernández, Miriam M., Corzo-López, M., Sánchez-Pérez, Y., Brito, Deyamín, S., Montes de Oca, Y., Rodney-Martínez, Y. y Pino-Pérez, O. (2014). Actividad antibacteriana de aceites esenciales sobre *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. Revista de Protección Vegetal, 29(3): 197-203. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000300006&lng=es&tlng=es. . ISSN 1010-2752.

- Romanazzi, G., Nigro F., Ippolito A., Di Venere D. and Salerno, M. (2002). Effects of pre and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science*. 67:1862–1867. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08737.x
- Romanazzi, G., Lichter, A., Gabler, F. M., and Smilanick, J. L. (2012) Recent advances on the use of natural and safe alternatives to conventional methods to control postharvest grey mold of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 63:141-147. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2011.06.013
- Ronco, L., Rollán, C., Larrán, S., Mónaco, C. y Dal Bó, E. (2008). *Manual para el Reconocimiento de Enfermedades Tomate y Pimiento*. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 50pp.
- Ruiz, M. J., Vicente, A. A., Montañéz, S. J., Rodríguez H. R. and Aguilar G. J. (2012). A perishable treasure in Mexico: tomato, technologies to prolong its shelf-life. *Investigación y ciencia* 54: 57-63. Recuperado de: <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista54/Articulo%208.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2010). Ficha técnica del cultivo del tomate rojo. En: www.sagarpa.gob.mx/
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2015). Monografía monocultivos: Jitomate. En: www.sagarpa.gob.mx/
- Sánchez-González, L., Pastor, C., Vargas, M., Chiralt, A., González-Martínez, C., and Cháfer, M. (2011). Effect of hydroxypropylmethucellulose and chitosan coating with and without bergamot and bitter orange. *Phytochemistry*. 62:1283-1289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.11.004>
- Saucedo-Pompa, S., Rojas-molina, R., Aguilera-Carbó, A., Saenz-Galindo, A., De la Garza, H., Jasso-Cantú, D. and Aguilar, C. N. (2009). Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42: 511-515. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.017>
- SAVES (Sanidad Vegetal de España). (2015). Sanidad Vegetal, España. En: <http://sanidad-vegetal.com/es/content/laboratorio-agr%C3%ADcola>
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). (2014). Cruzada contra el hambre. En: www.sedesol.gob.mx
- SEMINIS (2005). Guía de enfermedades del tomate. Recuperado de: <https://www.seminis.com/global/es/growerresources/Documents/guias%20enfermedades/GUIA%20ENFERMEDAD%20TOMATE.pdf>.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Cierre de producción agrícola. En: www.siap.gob.mx
- Siripatrawan, U. and Assatarakil, K. (2009). Methyi jasmonate coupled with modified atmosphere packing to extend shelf life tomato (*Lycopersicum sculentum* Mill) during cold storage. *Intitute os Food Science and Technology* 44:1065-1071. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2009.01927.x
- Sivakumar, D. and Bautista-Baños, S. (2014). A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection* 64: 27-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.011>
- Sivakumar, D., Bill, M., Korsten, L. and Thompsom, K. (2016). Integrated application of chitosan coating with different postharvest treatments in the control of postharvest decay and maintenance of overall fruit quality. Chapter 5 Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities, 1st Edition. Academic Press. E.U.A. 384pp.
- Snowdon, A. L. (1991). A Colour Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Volume 2: Vegetables. CRC Press Inc. Boca Raton, FL. 401pp.
- Sökmen, M.; Askin Akpulat, H.; Daferera, D.; Polissiou, M.; and Sokmen, A. (2004). Antioxidative activity of the essential oils of *Thymus sipyleus* subsp. *sipyleus* var. *sipyleus* and *Thymus sipyleus* subsp. *sipyleus* var. *rosulans*. *Journal of Food Engineering*. 66(4): 447-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.015>
- Sosa-Morales. M. E., López, M. A. and García, H. S. (2011). Postharvest heat treatments in fruits advances in post-harvest treatments and fruit quality and safety. Nova Science Publishers, Inc. New York. 240pp.
- Sotelo-Boyás, M. E., Valverde-Aguilar, G., Plascencia-Jatomea, M., Correa-Pacheco, Z. N., Jiménez-Aparicio A., Solorza-Feria, J., Barrera-Necha, L. L. and Bautista-Baños, S. (2015). Characterization of chitosan nanoparticles added with esencial oils. *in vitro*. Effect on *Pectobacterium carotovorum*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 14(3): 589-599. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62043088003>
- Soto-Zamora, G., Yahia, E. M., Brecht, J. K. and Gardea, A. (2004). Effects of postharvest hot air treatment on quality “rhapsody” tomato fruit. *Journal of Food Quality* 28:492-504. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2005.00051.x
- Suseno, N., Savitri, E. Sapei, L. and Padmawijaya, K. S. (2014). Improving shelf-life of *Cavedish banaba* using chitosan edible coating. *Procedia Chemistry* 9: 13-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.014>
- USDA (1976). United States Standards for Grade of Fresh Tomatoes. US Dept. Agric., Mktg., Serv., Washington DC (p. 10).

- Van de Braak, S. A. A. J. and Leijten, G. C. J. J. (1999). Essential Oils and Oleoresins: a Survey in the Netherlands and other major markets in the European Union. CBI, centre for the promotion of imports from developing countries, Rotterdam. 116. DOI: 10.3390/molecules17043989
- Varasteh, F., Arzani, K., Barzegar, M., and Zamani, Z. (2012). Changes in anthocyanins in arils of chitosan-coated pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Rabbab-e-Neyriz) fruit during cold storage. Food Chemistry. 130:267-272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.031>
- Vargas, A. A., Chiralt A., and González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. Postharvest Biology and Technology 41: 164-171. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2006.03.016
- Villegas, C. and Albarracín, W. (2016). Edible coating application and effect on blackberry (*Rubus glaucus* Benth) shelf life. Vitae, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias 22(3): 202-209. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/uedea.vitae.v23n3a06>
- Xu, W. T., Huang, K. L., Guo, F., Qu, W., Yang, J. J., Liang, Z. H and Luo, Y. B. (2007). Postharvest grape-fruit seed extract and chitosan treatments of table grapes to control *Botrytis cinerea*. Postharvest Biology and Technology 46:327-334. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.019>
- Zanfini, A., Dreasi, E., La rosa, C., Addario, C. and Corti, P. (2007). Quantitative variations of the main carotenoids in Italian tomatoes in relation to geographic location harvest time varieties and ripening stage. Italian Journal of Food Science. 19 (2): 181-190.

X.ANEXOS

ANEXO 1

Prueba de aceptabilidad

Muestra: _____ Nombre: _____ Edad: _____

Evalúe la muestra que se le proporciona y marque en la escala que indica el grado de aceptabilidad que usted da a cada uno de los atributos del producto. Considere la siguiente tabla para su evaluación.

1. Me disgusta extremadamente
2. Me disgusta mucho
3. Me disgusta moderadamente
4. Me disgusta poco
5. Ni me gusta ni me disgusta
6. Me gusta poco
7. Me gusta moderadamente
8. Me gusta mucho
9. Me gusta extremadamente

Aroma

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Intensidad de color y/o apariencia

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sabor

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

MUCHAS GRACIAS

ANEXO 2

IMPACTO DEL RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO ADICIONADO CON ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO Y CERA DE ABEJA, EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE JITOMATES CV. 'KENTON'

RESUMEN

El jitomate es el primer producto hortícola que se exporta en México; sin embargo, por ser climatérico su vida de anaquel es corta. El objetivo de este estudio fue evaluar recubrimientos comestibles biodegradables durante el almacenamiento de jitomates var. 'Kenton' a 10 °C y 25 ± 2 °C en dos estados de madurez. Se elaboraron recubrimientos de quitosano 1 % adicionados con aceite esencial de orégano (AEO) a 0.005, 0.01 y 0.03 % y cera de abeja 0.1 %. Se evaluó la producción de CO₂, etileno, pérdida de peso, firmeza, SST, pH, acidez titulable, carotenoides y evaluaciones microbiológicas y sensoriales. La producción de CO₂ fue de 18-25 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ dependiendo del tratamiento, mientras que, la de etileno fue casi nula en ambas temperaturas y estados de madurez. La firmeza mayor (20N) se observó en frutos del tratamiento con 0.03% AEO. Los valores promedio de SST (3.5 °Brix), pH (4.5) y acidez (0.3%) fueron similares durante el almacenamiento controlado en ambos estados de madurez en todos los tratamientos, pero aumento durante la aclimatación. El valor final de los carotenoides fue de 17 µL g⁻¹ en los jitomates rojo-maduro. Los principales géneros aislados fueron *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Geotrichum* y *Botrytis*. El recubrimiento con 0.03% AEO tuvo un efecto inhibitorio notable sobre la incidencia de los microorganismos en general y en la evaluación sensorial se demostró que respecto a las categorías de color y sabor se obtuvo el puntaje mayor con este recubrimiento.

PALABRAS CLAVE: *Solanum lycopersicum* L.; maduración; almacenamiento; microorganismos; sensorial.

IMPACT OF CHITOSAN COATING ADDED WITH BEESWAX AND OREGANO ESSENTIAL OIL ON THE POSTHARVEST QUALITY OF TOMATOE CV. 'KENTON'

ABSTRACT

Tomato is the number one horticultural product exported by Mexico; however, because it is climacteric its shelf life is short. The aim of this study was to evaluate biodegradable edible coatings during storage of var. 'Kenton' at 10 °C and 25 ± 2°C in two maturity stages. Chitosan (1%) coatings containing oregano essential oil (OEO) at 0.005, 0.01 and 0.03 % and 0.1 % beeswax were prepared. CO₂ production, ethylene, weight loss, firmness, TSS, pH, titratable acidity and carotenoids were evaluated, and microbiological and sensorial evaluations were performed. CO₂ production ranged from 18-25 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ depending on the treatment, while ethylene was almost zero at both temperatures and maturity stages. The greatest firmness (20N) was observed in fruits of the treatment with 0.03 % OEO. The mean values of TSS (3.5 °Brix), pH (4.5) and acidity (0.3 %) were similar during controlled storage in both maturity stages in all treatments, but increased during acclimatization. The final carotenoid value was 17 µL g⁻¹ in red ripe tomatoes. The main genera isolated were *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Geotrichum* and *Botrytis*. The coating with 0.03 % OEO

had a notable inhibitory effect on the incidence of microorganisms in general and in the sensorial evaluation, in relation to the color and flavor categories, it had the highest score.

KEYWORDS: *Solanum lycopersicum* L.; maturation; storage; microorganisms; sensory.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las hortalizas, son los cultivos con mayor demanda para su consumo en fresco (FAOSTAT, 2015). A nivel mundial entre los productos hortícolas con mayor demanda se encuentra la familia de las Solanaceas, la cual ocupan la mitad de la producción hortícola mundial (FAOSTAT, 2015). En particular el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los frutos con mayor demanda; sin embargo, son productos altamente perecederos, por lo que si no se llevan a cabo buenas prácticas de conservación, particularmente durante la cosecha y almacenamiento, su vida de anaquel será más corta con una maduración rápida, pérdida de calidad y presencia de pudriciones causadas por microorganismos. Para minimizar esto, actualmente, las prácticas de manejo postcosecha están direccionadas a la aplicación de películas comestibles biodegradables a base de productos no tóxicos como el quitosano y los derivados de las plantas como los aceites esenciales, los cuales tendrán una función dual de conservación y con propiedades antimicrobianas (Ramos-García *et al.*, 2012).

El uso de recubrimientos a base de quitosano, un polisacárido que se obtiene del exoesqueleto de los crustáceos mediante la desacetilación parcial de la quitina (Bautista-Baños *et al.*, 2017) es un compuesto natural no tóxico y biodegradable, que se ha experimentado en numerosos productos hortofrutícolas como, papaya (Alí *et al.*, 2011), nectarinas (Casals *et al.*, 2012) y guayaba (Rama *et al.*, 2014), entre otras, con una efectividad notable como cubierta polimérica que extiende la vida de anaquel de estos productos y además, favorece el control de hongos y bacterias (Bautista-Baños *et al.*, 2017).

Por otro lado, actualmente, se han realizado múltiples investigaciones con aceites esenciales que sirven como agentes antimicrobianos durante la postcosecha de productos hortofrutícolas (Sivakumar & Bautista-Baños, 2014), por los que son considerados una alternativa importante en el manejo de enfermedades presentes en esta etapa. En el caso del aceite esencial de orégano, García-Camarillo *et al.* (2006) reportaron su efecto inhibitorio sobre *Aspergillus flavus* en nuez pecanera, se obtuvo la inhibición del hongo en concentraciones de 2000 ppm. En otra investigación realizada por Pontigo-Suárez *et al.* (2015) reportaron efecto antifúngico y antibacteriano sobre *Colletotrichum gloeosporioides* y *Salmonella* sp. aislados de frutos de papaya a 500 ppm.

En la elaboración de recubrimientos comestibles se han utilizado diferentes ceras entre las que destaca la cera de abeja que mejorara el aspecto de los productos hortofrutícolas (Ramos-García *et al.*, 2012). La cera de abeja está constituida principalmente por lípidos y flavonoides, los cuales son compuestos que tienen efectos antimicrobianos (All-Walli, 2005). Fagundes *et al.* (2014) elaboraron un recubrimiento comestible con cera de abeja e hidroxipropil-metil-celulosa para su aplicación en aguacate "Hass" el cual no afectó sus atributos de calidad durante el almacenamiento, mientras que, Villegas y Albarracín (2016) probaron este recubrimiento en moras de castilla, logrando aumentar la vida útil de esta fruta por 14 días a 4°C.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la aplicación de recubrimientos

biodegradables a base de quitosano adicionados con cera de abeja y aceite esencial de orégano, en la vida postcosecha de jitomates var. 'Kenton', en dos estados de madurez durante un almacenamiento controlado a 10°C y un periodo de aclimatación a temperatura ambiente 25 ± 2 °C.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención de materiales

Los frutos de jitomate var. 'Kenton' se cosecharon de invernaderos localizados en Yautepec, Morelos, México. Los estados de madurez a la cosecha fueron verde-pintón y rojo-maduro. El aceite esencial de orégano se obtuvo de la compañía ORE aceite de orégano (Chihuahua, México). Para la elaboración del recubrimiento, se utilizó quitosano comercial de peso molecular medio (FW = 161 200.000 cps) al 1 % Sigma-Aldrich® (U.S.A.) y cera de abeja con grado alimenticio de la Química Meyer, (México).

2.2 Elaboración de los recubrimientos

Los recubrimientos se elaboraron según la metodología de Ramos-García *et al.* (2012). Los tratamientos fueron los siguientes: T1: quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2: quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3: quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03%, T4: control sin recubrimiento y lavado con agua destilada.

2.3 Variables

2.3.1 Variables fisiológicas

2.3.1.1 Respiración y etileno

La producción de CO₂ y etileno se cuantificaron con la técnica de espacio-cabeza. En un recipiente hermético con volumen conocido se colocaron tres frutos de jitomate por 1 h, posteriormente se tomó la muestra de los gases con una jeringa Nipro Medical Corporation® U.S.A) de 5.0 mL la cual se inyectó en un Cromatógrafo de gases 7890B GC System 7890B GC Agilent Technologies® (U.S.A). El helio se utilizó como gas acarreador a una velocidad de flujo de 10 mL min⁻¹. Se utilizaron los detectores (FID/TCD) y dos columnas. Las temperaturas del inyector y detectores fueron de 220, 300 y 250 °C, respectivamente. La producción de CO₂ y etileno se expresaron en mL Kg⁻¹ h⁻¹ y µL kg h⁻¹, respectivamente.

2.3.1.2 Pérdida de peso

Para la pérdida de peso se utilizó una balanza digital CS200 Compact Scale® Ohaus (U.S.A.), se evaluó la diferencia entre el peso inicial y final y los valores se expresaron en porcentaje.

2.3.2 Variables de calidad

2.3.2.1 Color.

El color se midió con el colorímetro Kónica Minolta Sensing® 9992-995 BC 10 (Japón), se tomaron los valores L, a y b en dos zonas opuestas del fruto. La luminosidad se obtuvo directamente con el colorímetro. Con los valores a y b se calculó el ángulo matiz (hue°).

2.3.2.2 Firmeza

La firmeza de los frutos se evaluó con un penetrómetro (CE 196 NX® 0.05 CS1-3) con el cual se evaluaron ambas caras de los frutos muestreados. Los valores se expresaron en Newtons (N)

2.3.2.3 Sólidos Solubles Totales (SST)

Los SST se determinaron agregando directamente una gota de jugo del fruto con ayuda de una pipeta la cual se colocó sobre el sensor de un refractómetro de mano ATAGO® cat. 2111-N-1 con escala de 0-32 % °Brix. Se realizó una calibración con agua destilada antes de cada medición.

2.3.2.4 pH

Para medir el pH se utilizó un pH-metro (Navih® 51 Horiba, Japón) con un intervalo de medición de pH 0 a 14, y una exactitud de ± 0.01 . El potenciómetro se calibró previamente con soluciones buffer (pH=4, pH=7 y pH=10). La lectura se obtuvo colocando el electrodo en la solución de la muestra. Entre cada medición se lavó el electrodo con agua destilada.

2.3.2.5 Acidez titulable (%)

El porcentaje de acidez titulable se obtuvo mediante una titulación con NaOH al 0.1N, usando como agente de contraste la fenolftaleína. El pH se ajustó a 8.1, para la obtención del porcentaje de acidez titulable se utilizó la siguiente fórmula:

$$AT(\%) = \left(\frac{V_{\text{NaOH mL}} \times N_{\text{NaOH}} \left(\frac{\text{meq}}{\text{mL}} \right) \times \text{miliequivalentes de ácido} \left(\frac{\text{g}}{\text{meq}} \right)}{V_{\text{jugo mL}}} \right) \times 100$$

Se tomó el ácido cítrico (0.064 g meq^{-1}) por ser el ácido orgánico predominante en el jitomate.

2.3.2.6 Contenido de carotenoides

Para la extracción de carotenoides se utilizaron 2 g de cada fruto el cual se maceró en un mortero con pistilo con 10 mL de hexano/acetona/etanol (50:25:25 v/v). El homogeneizado se centrifugó en una centrifuga Prism, Labnet® (U.S.A.) a 6500 rpm durante 30 min y el sobrenadante se aforó con 10 mL de hexano. Los carotenoides se determinaron por el método reportado por Rodríguez-Amaya (1999) con un espectrofotómetro Genesys 10s uv-vis® (Thermo, U.S.A.). Se midió la absorbancia de la solución a 450nm, con la siguiente fórmula se calculó el total de carotenoides en la solución

$$\text{Carotenoides totales} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ pesofresco} \right) = \frac{(A_{450 \text{ nm}}) (\text{volumen de aforo})(10^6)}{(\text{Coeficiente de extinción molar})(\text{peso muestra})(100)}$$

*Coeficiente de extinción molar = β -caroteno a 450 nm fue de $2505 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

2.3.3 Variables microbiológicas

Las pruebas microbiológicas se realizaron al término del experimento, utilizando dos medios de cultivo: agar soya tripcaseína (AST) para determinar bacterias y papa dextrosa agar

(PDA) (BIOXON, México) para determinar hongos y levaduras en general. Se elaboró una solución de agua peptonada (1g de peptona de caseína + 8.5 g de cloruro de sodio + 1 L de agua destilada), para lavar cinco frutos de jitomate por tratamiento bajo condiciones de esterilidad. Se tomó 1 mL del lavado y se realizaron diluciones (10^{-6}), las cuales se vertieron en cajas Petri con AST o PDA, por triplicado y se incubaron durante 24 h a 30 °C.

También se aislaron e identificaron los hongos fitopatógenos a nivel de género de acuerdo a las claves taxonómicas especializadas (Barnett & Hunter 2003). La frecuencia de los hongos fitopatógenos se evaluó en base al número de jitomates infectados por cada género fúngico.

2.3.3.1 Incidencia de la enfermedad

La incidencia se evaluó al término del almacenamiento de los frutos de jitomate y se determinó mediante el número de frutos infectados entre el número de frutos tratados por 100.

$$\% \text{Incidencia} = \frac{\text{Número de frutos infectados}}{\text{Número de frutos tratados}} \times 100$$

2.3.3.2 Índice de severidad

El índice de severidad de los frutos se determinó mediante el porcentaje de la superficie afectada en base a los intervalos propuestos por Ramos-García *et al.* (2012).

2.3.4 Evaluación sensorial

Se llevo a cabo en el último día de almacenamiento en ambas etapas de madurez. Se utilizaron 10 frutos por tratamiento, incluyendo el tratamiento testigo, cinco frutos de la temperatura controlada y cinco de la temperatura ambiente. Estos se colocaron dentro de vasos de unicel blancos de ½ L. A cada vaso se le dio un número aleatorio de tres dígitos, el cual no se repetía entre sí y no era consecutivo. Los frutos se aleatorizaron en cada uno de los vasos rotulados y se reservaron para la evaluación de los jueces. Para el sabor, los frutos se cortaron en cubos de aproximadamente 1 cm y se colocaron dentro de vasos rotulados con los números asignados en la aleatorización. Se entregaron dos muestras diferentes a evaluar a cada juez, en las cuales se calificó el aroma, color y sabor en una escala del 1 al 9. Para esta evaluación se contaron con 20 jueces los cuales asistieron de manera voluntaria.

2.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Para las evaluaciones fisiológicas se utilizó como unidad experimental un fruto de jitomate por tratamiento, con 10 repeticiones. Para las variables de calidad y microbiológicas, se utilizó un fruto como unidad experimental por tratamiento con cinco repeticiones, por día de muestreo. Los muestreos se realizaron cada 72 h a temperatura controlada y cada 48 h a temperatura de aclimatación. El tiempo total de almacenamiento consistió en 18 días, 12 a temperatura controlada 10 °C y 6 adicionales de aclimatación a 25 ± 2 °C. Se realizó un análisis de varianza con un arreglo de datos en diseño factorial, los datos se presentan como la media \pm desviación estándar y fueron procesados utilizando el software estadístico Sigmaplot v.13.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Variables fisiológicas

3.1.1 Respiración y etileno

La producción de CO₂ de los jitomates verde-pintón tratados y no tratados con los recubrimientos disminuyó durante el almacenamiento controlado durante los primeros 6 días de almacenamiento; sin embargo, se observó que al transferirse a la temperatura ambiente la producción de CO₂ en la mayoría de los tratamientos se incremento. En este periodo de aclimatación, el pico climatérico (21.5 mL Kg⁻¹ h⁻¹) se registró a los 16 días en el T3 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + AEO 0.03%) (Figura 1a), mientras que, en los jitomates rojo-maduro, la respiración fue muy similar durante ambos periodos de almacenamiento en todos los tratamientos (Figura 1b). El análisis estadístico mostro diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Pontigo-Suárez *et al.* (2015) en donde los recubrimientos con adhesión de aceite esencial de orégano mantuvieron la tasa respiratoria de frutos de papaya, por debajo del grupo control con 17.5 mL k⁻¹ h⁻¹ de CO₂.

En relación a la producción de etileno de los jitomates verde-pintón, este fue en un rango de 0-50.8 µL kg⁻¹ h⁻¹. La menor producción se obtuvo en el tratamiento de T3 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + 0.03% AEO), mientras que la mayor producción fue en el tratamiento T1 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + 0.005% AEO) al noveno y tercer día de almacenamiento controlado, respectivamente (Figura 1c) el análisis estadístico mostro diferencias significativas ($P < 0.05$). En los jitomates rojo-maduro, no se registró producción de etileno en ninguno de los tratamientos durante ambos periodos de almacenamiento, se observó un proceso de maduración normal asociado también con el tiempo de almacenamiento, el cual fue de 18 días. Independientemente, del uso de los recubrimientos, la mayor producción y cambios de CO₂ y etileno correspondieron principalmente a los jitomates verde-pintón. El análisis estadístico no mostro diferencias significativas entre los tratamientos, los resultados de la producción de etileno para los frutos de jitomate tratados fueron similares a los obtenidos por Davila-Aviña *et al.* (2011) en frutos de jitomate recubiertos con carnauba comercial y Stafresh 151TM (SF 151) a base de aceite mineral de 3.68 µL Kg h⁻¹ y 3.9 µL Kg h⁻¹.

3.1.2 Pérdida de peso

La pérdida de peso fue constante durante ambos periodos de almacenamiento (Figura 2a) en los jitomates verde-pintón; sin embargo, se observó un incremento ligero durante el periodo de aclimatación. En general, el valor promedio final de pérdida de peso en el tratamiento T3 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + 0.03% AEO) fue de aproximadamente 28.2%, mientras que, en los tratamientos restantes fue de 23.8%, sin existir diferencias estadísticamente significativas. En los jitomates rojo-maduro a partir del octavo día del almacenamiento controlado se observó una mayor pérdida de peso (Figura 2b). El porcentaje de pérdida de peso para cada tratamiento al final del almacenamiento fue la siguiente: T1 = 8.9%, T2 = 16.5%, T3 = 14.2% y T4 = 14.1%. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). Los resultados mostraron que la pérdida de peso al término del almacenamiento fue muy superior cuando los frutos estuvieron a 25 °C que a 10°C. Como se indica en un estudio realizado por Thanh (2006) el cual menciona que las temperaturas superiores a 20 °C pueden dar lugar a procesos

fisiológicos anormales en los productos frescos. El principal proceso en este sentido es la respiración a través del cual se pierde agua a los alrededores inmediatos de los productos y por lo tanto, una reducción de peso (Mutari & Debbie, 2011).

3.2 Variables de calidad

3.2.1 Color

En el espacio de color L* (de blanco a negro), a* (de verde a rojo) y b* (de azul a amarillo), el fruto de jitomate se ubica como un color rojo opaco (Mutari & Debbie, 2011). Los resultados promedio de los jitomates verde-pintón tuvieron un ángulo matiz de 50-70 al inicio disminuyendo hasta 40-50 al término del almacenamiento (Figura 3a), ($P < 0.05$) con respecto a los intervalos propuestos por Cantwell *et al.* (2007) de 35 a 40 grados en el ángulo matiz para un marcado color rojo; la luminosidad inicio en 40-50 y finalizo en 35-45 al término del almacenamiento (Figura 3b), de igual manera a lo reportado por dicho autor que reporta 39-41 para la comercialización del fruto de jitomate. En cuanto a los frutos de jitomate en estado de madurez rojo-maduro inició con 35-45 grados en el ángulo matiz y concluyo en 35-40 al final del almacenamiento, estos resultados concuerdan con Cantwell *et al.* (2007). La luminosidad se mantuvo entre 40-50 hasta el final de la evaluación, el análisis no mostró diferencias estadísticas; los valores se encuentran dentro de los permisibles de acuerdo a San Martín-Hernández *et al.* (2012) los cuales reportan que algunas variedades de jitomate Saladette listos para el consumo humano se encuentran dentro de un rango de 35-41 unidades, el análisis estadístico mostro diferencias significativas ($P < 0.05$).

Los valores de ángulo matiz, luminosidad y chroma, estuvieron dentro de la escala de maduración aceptada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) ya que el color final de los jitomates tratados y no tratados alcanzó el estado No. 6 (> del 90% de la superficie del fruto con coloración roja) (Grierson & Kader, 1986; USDA, 1976). El desarrollo de color de verde-pintón o verde-rosado a rojo se incrementó con el incremento en la maduración y su interacción con la temperatura de almacenamiento, esto indica que la cubierta aplicada no modificó la atmósfera interna de los jitomates tratados.

3.2.2 Firmeza, SST ($^{\circ}$ Bx), pH y acidez titulable (%)

En esta investigación, en general, los cambios que se observaron se asociaron principalmente con la temperatura de almacenamiento. Por ejemplo, en el estado verde-pintón fueron notables los cambios en la pérdida de firmeza y en el contenido de ácido cítrico cuando el producto se trasladó de la temperatura controlada (10 $^{\circ}$ C) a la temperatura de aclimatación (ambiente). ($P < 0.05$) Aun así se resalta, que los valores promedio finales en relación a la firmeza fueron aproximadamente de 10N-15N, los cuales están dentro de los niveles mínimos de aceptabilidad (> 1.46 N mm⁻¹) para que el fruto pueda ser comercializado (Cuadro 1), según Battu (2004). Asimismo, en el presente estudio, las variables acerca del contenido de $^{\circ}$ Brix y pH presentaron pocos cambios en ambas etapas de madurez. Los valores en general fueron muy similares (< 5.0% y 4.5-5.0, respectivamente), mientras que, los valores de ácido cítrico (0.3% a 0.4%) son en general bajos en comparación a los reportados en otros estudios, debido principalmente al tipo de genotipo evaluado (Juárez-López *et al.*, 2009; Dávila-Aviña *et al.*, 2011).

Rueda (2013) describió que el sabor de los frutos está también vinculado al pH de los

misimos, considerándose para un buen sabor valores de pH 4.5 A 4.8 en jitomates en madurez comercial. Por otra parte, Cantwell (2007, reporta que los jitomates listos para consumo humano pueden tener pH's que van de los 4.2 hasta 4.8, siendo estos últimos recomendados por Alarcón (2013) para la industria de los jugos de jitomate y conservas.

Los resultados de esta investigación coinciden en su mayoría con otros estudios llevados a cabo en jitomate y otras frutas. Por ejemplo, Barreto *et al.* (2016) reportaron que al término de almacenamiento controlado y ambiente, jitomates 'cherry', tratados igualmente con formulaciones a base de quitosano (4 mg mL^{-1}) y aceite esencial de orégano ($1.25 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$) presentaron mayor firmeza y menor pérdida de peso en comparación con los no tratados, mientras que, los valores de ácido cítrico y el contenido de °Brix fueron similares al control. Por su parte, Pontigo-Suárez *et al.* (2015) reportaron en frutos de papaya cv. 'Maradol', resultados similares al de este estudio, respecto a la variable firmeza, la cual fue significativamente mayor (4.4 N) en relación a los frutos control (12.0 N) al término de 16 días de almacenamiento a $14 \text{ } ^\circ\text{C}$, cuando se les aplicó un recubrimiento con carboximetilcelulosa y aceite esencial de orégano (5000 ppm).

3.2.3 Carotenoides

Por otro lado, se han reportado las propiedades funcionales de los carotenoides en frutas y hortalizas, los cuales actúan como antioxidantes y como secuestradores de radicales libres (Notario-Medellín & Sosa-Morales, 2012). En esta investigación, fue evidente principalmente en los jitomates verde-pintón, el efecto positivo de la aplicación de las cubiertas en el incremento del contenido de carotenoides respecto al tratamiento control, con valores promedio inicial y final de $3.2 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ a $10 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$, respectivamente ($P < 0.05$) (Figura 4a). En general, la literatura reporta diferentes valores promedio de acuerdo a la variedad o cultivar estudiado. Así, en diferentes variedades de jitomate se establecen valores de, $4.9 - 7.1 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ y de $4.6 - 4.9 \text{ } \mu\text{L g}^{-1}$ (Zanfini *et al.*, 2007) (Figura 4b).

3.3 Variables microbiológicas

En relación a la incidencia de microorganismos, fue notable que la inmersión del jitomate rojo-maduro en las formulaciones, principalmente en aquella que contenía la concentración mayor del AEO (0.03%), redujo más del 50% la presencia y severidad de los microorganismos patógenos (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con otros experimentos en los que la aplicación de formulaciones que contienen quitosano, cera de abeja y/o aceites esenciales como el orégano, limón y té limón, fueron efectivos en contra de microorganismos patógenos del jitomate (Ramos-García *et al.*, 2012; Barreto *et al.*, 2016; Athayde *et al.*, 2016). En estos estudios, el control de bacterias como *E coli* DH5 α y *Salmonella* sp., y de hongos como *Rhizopus* sp. y *Alternaria* sp., fue significativamente mayor que en los jitomates no tratados. En relación al género de los hongos aislados e identificados en esta investigación i.e. *Alternaria* sp., *Botrytis* sp., *Fusarium* sp. y *Cladosporium* sp., coinciden con los ya reportados en la literatura (Jones *et al.*, 2000; Snowdon, 1991).

3.4 Evaluación sensorial

De la prueba sensorial de los jitomates verde-pintón, los tratamientos T1 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + 0.005% AEO) y T3 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + 0.03% AEO) obtuvieron el puntaje mayor en la categoría de color y aroma mientras que los jitomates rojo-maduro el

tratamiento T3 (Q 1%+ cera de abeja 0.1% + 0.03% AEO) obtuvo los mayores puntajes en las categorías color y sabor (Cuadro 3).

IV. CONCLUSIONES

Los recubrimientos de quitosano adicionados con AEO no afectaron la maduración de los jitomates var. 'Kenton', independientemente de su estado de madurez, ya que las variables de calidad permanecieron dentro de los parámetros que estipula la norma NMX-FF-031-1997 (Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. hortalizas frescas. tomate - (*Lycopersicum esculentum* Mill. especificaciones).

El recubrimiento con AEO 0.03%, en general mantuvo en la calidad postcosecha de los frutos de jitomate en ambos estados de madurez con una menor tasa respiratoria, pérdida de peso y pérdida de firmeza, así como un aumento en la producción de carotenoides. A pesar de que los tres recubrimientos con las tres concentraciones de AEO (0.001, 0.01 y 0.3 %) inhibieron el desarrollo de microorganismos en ambas etapas de madurez, el recubrimiento con la mayor concentración de aceite esencial dio el mejor control sobre hongos, bacterias y levadura, en general y microorganismos fitopatógenos.

Excepto por los recubrimientos al 0.01% de AEO, la calidad sensorial de los jitomates en ambos estados de madurez, en relación al aroma, color y sabor fue la más aceptable por los jueces evaluadores, sin percibir cambios en su parámetros sensoriales.

La temperatura tuvo un efecto significativo en la interacción con todos los tratamientos, acelerando los procesos de maduración y senescencia de los frutos tratados y no tratados con los recubrimientos.

V. REFERENCIAS

Alarcón, Z.A. (2013). *Calidad poscosecha del tomate (Solanum lycopersicum L.) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización*. Tesis de Doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Alí, A., Mahumud, T. M., Kamaruzaman, S. & Yameen, S. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry* (2): 620-626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.085>

Athayde, A. J. A. A., de Oliveira, P. D. L., Guerra, I. C. D., da Conceição, M. A. B, de Lima, N. M. O., Arcanjo, M. S., ... de Souza, E. L. (2016). A coating composed of chitosan and *Cymbopogon citratus* (Dc. Ex Nees) essential oil to control *Rhizopus* soft rot and quality in tomato fruit stored at room temperature. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(6), 1-10. doi: 10.1080/14620316.2016.1193428

Barnett, H.L., & Hunter, B.B. (2003). *Illustrated Genera of imperfect fungi*. (3a Edición). USA, St. Paul, Minnesota: APS PRESS.

Barreto, T. A., Andrade, S.C.A., Maciel, J. F., Arcanjo, N. M. O., Madruga, M. S., Meireles, B., ... Magnani, M. (2016). A chitosan coating containing essential oil from *Origanum vulgare* L. to control postharvest mold infections and keep the quality of cherry tomato fruit. *Frontiers in microbiology* 7(24). doi: 10.3389/fmicb.2016.01724

Battu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food and Engineering*, 61, 471-475. doi:10.1016/S0260-8774(03)00141-9

Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z. & Corona-Rangel, M. L. (2017). Chitosan: a versatile antimicrobial polysaccharide for fruit and vegetables in postharvest – a review. *Revista chapingo serie horticultura* 23 (2): 103-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>

Cantwell, M., Stoddard, S. LeStrange, M. & Aegerter, B. (2007). Research project final report to the California tomato commission. Statewide fresh market Tomato variety trials: Field and postharvest evaluations for 2006. E.U.A., University of California Cooperative Extension.

Dávila-Aviña, J. E., Villa-Rodríguez, J., Cruz-Valenzuela, R., Rodríguez-Armenta, M., Espino-Días, M., Ayala-Zavala, J. F., Olivas-Orozco, G. I., ... González-Aguilar, G. (2011). Effect of edible coatings, storage time and maturity stage on overall quality of tomato fruits. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6 (1), 162-171. doi: 10.3844 / ajabssp.2011.162.171

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division). (2015). Consultado el 3-01-2016 en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

García-Camarillo, E. A., Quezada-Viay, M. Y., Moreno-Lara, J., Sánchez-Hernández, G., Moreno-Martínez, E. & Pérez-Reyes, M. C. J. (2006). Actividad antifúngica de aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y orégano (*Origanum vulgare* L.) y su efecto sobre la producción de aflatoxinas en nuez canchana [*Carya illinoensis* (F.A. Wanger) K. Koch] *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24 (1), 8-12. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61224102>

Grierson, A., & Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. In J.G. Atherton, & J. Rudich (Eds.), *Tomato crop*. (241-280pp). USA: Chapman and Hall Ltd. doi: 10.1007/978-94-009-3137-4_6

Jones, J. B; Jones, J. P; Stall, R. E. & Zitter, T. A. (2000). *Plagas y enfermedades del tomate*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Ramírez-Vallejo, P., Sandoval-Villas, M., Reed, D. W., ... King, S. (2009). Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme). *Revista Chapingo serie Horticultura*, 15 (2), 5-9. Obtenido de : <http://scielo.unam.mx/pdf/rcsh/v15nspe/v15nspea2.pdf>

Mi-Ran, J., Pyeong Beom, P., Dae-Hyuk, K., Young-Suk, J., Han Sol, J. & Sang-Hoon, C. (2009). Essential oil prepared from *Cymbopogon citrates* exerted an antimicrobial activity against plant pathogenic and medical microorganisms. *Journal of Mycobiology*, 37 (1), 48-52. doi: <https://doi.org/10.4489/MYCO.2009.37.1.048>

Mutari, A. & Ressa, D. (2011). The effects of postharvest handling and storage temperature on the quality and shelf of tomato. *African Journal of Food Science*, 5(7), 446-452. Obtenido de: http://www.academicjournals.org/article/article1379604263_Mutari%20and%20%20Debbie.pdf

NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate - (*Lycopersicum esculentum* Mill.). Especificaciones. Non industrialized food products for human consumption. Fresh vegetable. Tomato. (*Lycopersicum esculentum* mill.). Specifications. Normas mexicanas. Dirección general de Normas. Obtenido de <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-031-1998.PDF>

Notario-Medellin. C. M. & Sosa-Morales. M. E. (2012). El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.): aporte nutrimental, enfermedades post cosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. *Temas selectos de la ingeniería en alimentos*, 6(1), 40-53. Obtenido de: [http://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6\(1\)-Notario-Medellin-et-al-2012.pdf](http://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6(1)-Notario-Medellin-et-al-2012.pdf)

Pontigo-Suárez. A. G., Trejo, M. M. A., & Lira, V. A. A. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceites esencial de orégano para conservación de papaya "Maradol". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 58-63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864008>

Rama, K. K, Sudhakar, D.V. & Rao. (2014). Effect of chitosan coating on the physiochemiscal characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) fruits during storage at room temperatura. *Indian Journal Sciencie and Technology* 7: 554-558. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.07.002

Ramos-García. M. L., Bosquez-Molina. E., Hernández, R.J., Zavala, P. G., Terrés, R. E., Alia-Tejalcapa, I., ... Bautista-Baños. S. (2012). Use of chitosan-based edible coatings in combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and *Escherichia coli* DH5 α in fresh tomatoes. *Crop protection* 38, (1), 6 1-6. doi:10.1016/j.cropro.2012.02.016-

Rodríguez-Amaya. D. B. (1999). *Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides, provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados*. Departamento de Ciencias en Alimentos, Brasil: Universidad Estatal de Campinas.

Rojas-Fernández, M., Corzo-López, M., Sánchez-Pérez, Y., Brito,-Deyamín, S., Montes de Oca, Y., Rodney-Martínez, Y., & Pino-Pérez, O.(2014). Actividad antibacteriana de aceites esenciales sobre *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. *Revista de Protección Vegetal*, 29(3),197-203. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000300006&lng=es&tlng=es.

San Martín-Hernández, C. S. M., Ordaz, Ch. V. M., Sánchez, G.P., Beryl, M. T., & Borgues, G. L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 47(3), 243-254. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000300004

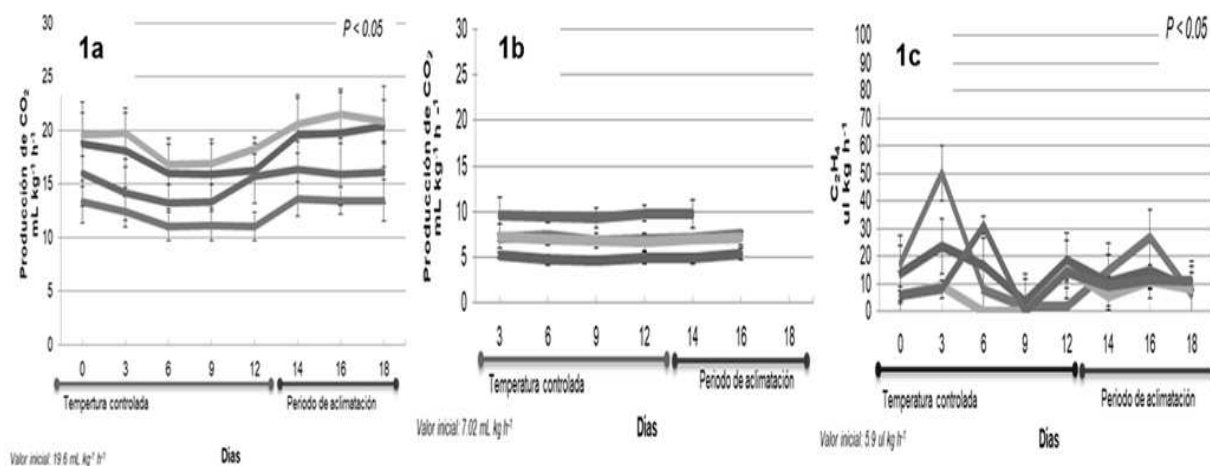
Sivakumar, D. & Bautista-Baños, S. (2014). A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection*, 64, 27-37. doi: 10.1016/j.cropro.2014.05.012

Snowdon, A. L. (1991). *A Colour Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables*. Volume 2: Vegetables. USA: Boca Raton, CRC Press.

Thanh, C. D. & Acedo, Jr. A. L. (2006). Causes of quality losses and technological concerns for fresh and processed tomato and chili. RETA 6208 *Postharvest Technology Training and Development of Training Master Plan*, 17-20, Lao PDR.

USDA (1976). *United States Standards for Grade of Fresh Tomatoes*. US Dept. Agriculture Washington DC: Mktg., Serv.

Zanfini, A., Dreasi, E., La rosa, C., Addario, C. & Corti, P. (2007). Quantitative variations of the main carotenoids in Italian tomatoes in relation to geographic location harvest time varieties and ripening stage. *Italian Journal of Food Science*, 19 (2), 181-190. Obtenido de: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=6423fed8-6384-46f3-998e-783529091eca%40sessionmgr104&vid=0&hid=112>



- T1 quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + AEO 0.005%
- T2 quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + AEO 0.01%
- T3 quitosano 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + AEO 0.03%
- T4 Control

FIGURA 1. Producción de CO₂ en frutos de jitomate verde-pintón (1a) y,rojo-maduro (1b); producción de etileno en frutos de jitomate vede-pintón (1c) tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja y AEO y, almacenados a 10 °C y durante un periodo de aclimatación 25 ± 2 °C).

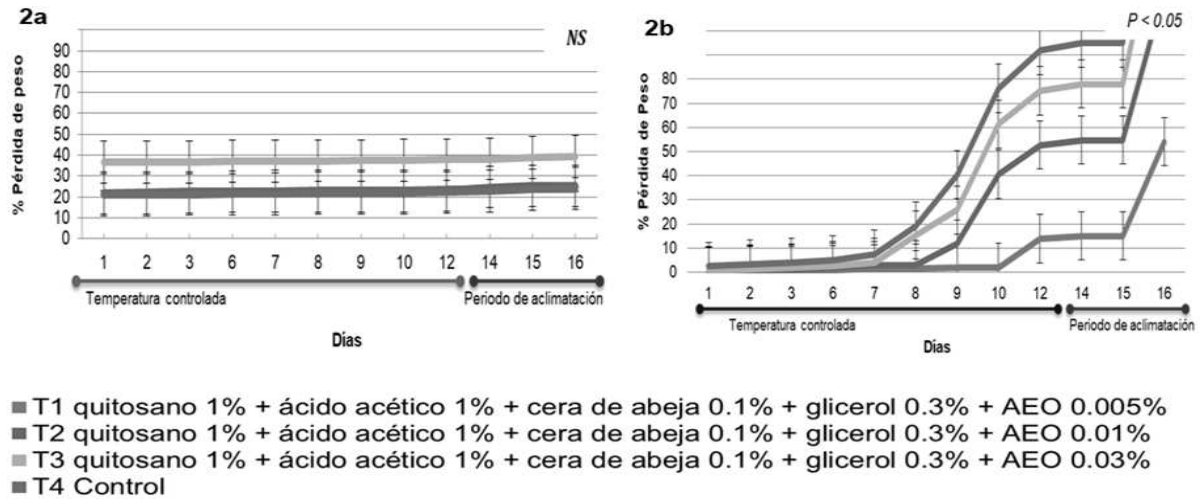


FIGURA 2. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de jitomate verde-pintón (2a) y rojo-maduro (2b), tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja y AEO y almacenados a 10 °C y durante un periodo de aclimatación a 25 ± 2 °C.

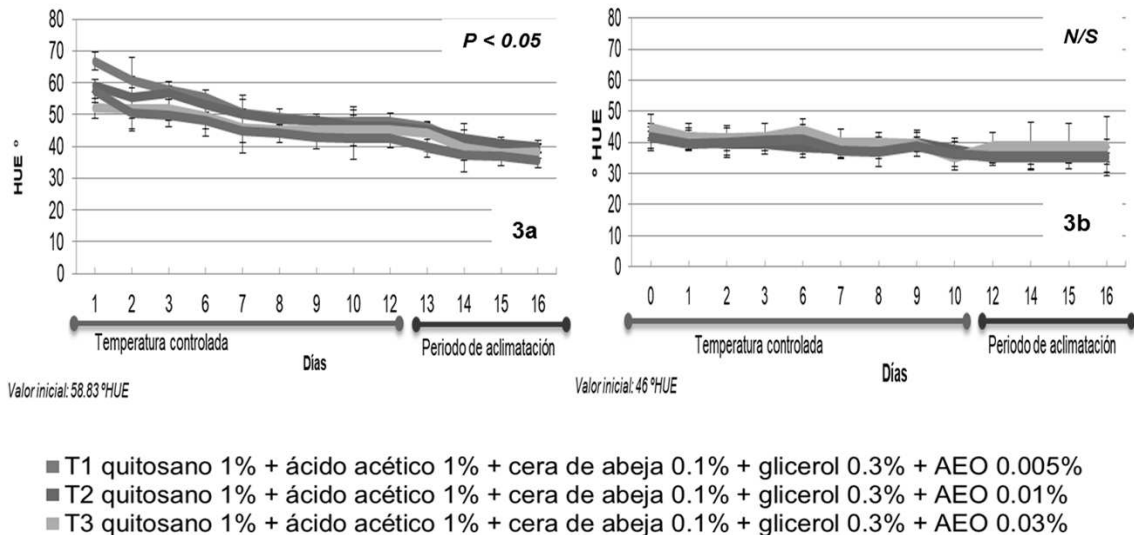


FIGURA 3. Desarrollo del color en frutos de jitomate verde-pintón (3a) y rojo-maduro (3b), tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja y AEO y almacenados a 10 °C y durante un periodo de aclimatación a 25 ± 2 °C.

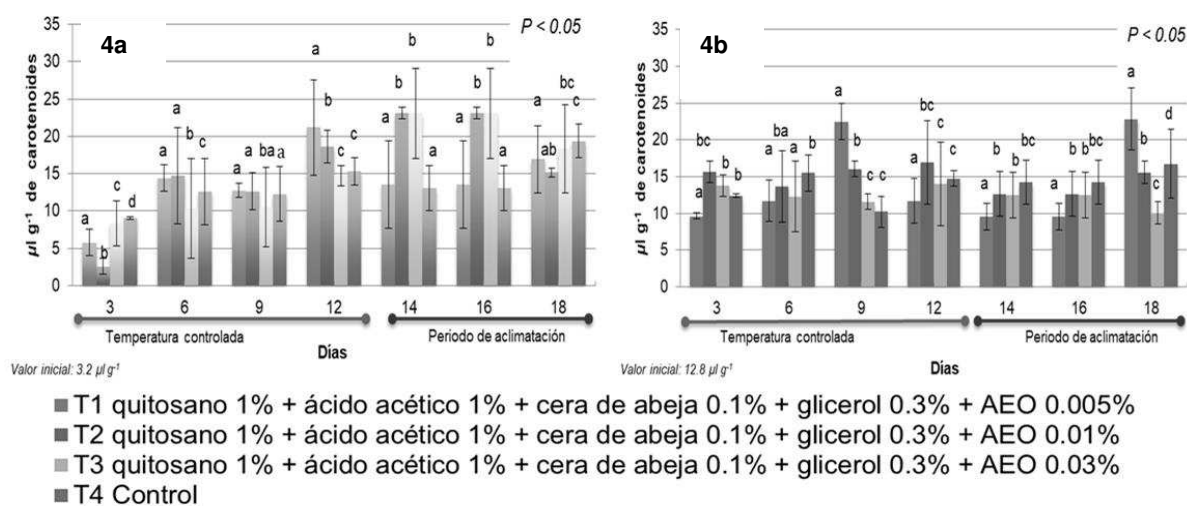


FIGURA 4. Producción de carotenoides en frutos de jitomate verde-pintón (4a) y rojo-maduro (4b), tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja y AEO y almacenados a 10 °C y durante un periodo de aclimatación a 25 ± 2 °C.

CUADRO 1. Resultados de las variables de calidad (Firmeza, SST, pH y acidez titulable) en jitomates verde-pintón y rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con cera de abeja y AEO y almacenados a 10 °C y durante un periodo de aclimatación a 25 ± 2 °C.

verde-pintón					
T (°C)	Tratamiento	Firmeza [N]	SST (° Brix)	pH	AT (%)
10	T1	36.2 ± 8.4a	4.2 ± 0.3a	4.6 ± 0.2c	0.7 ± 0.3ad
	T2	36.2 ± 9.6b	4.1 ± 0.2a	4.4 ± 0.08ab	0.3 ± 0.3b
	T3	35.6 ± 7.2c	3.8 ± 0.4b	4.5 ± 0.1a	0.3 ± 0.3b
	T4	31.5 ± 7.1d	3.5 ± 0.5b	4.5 ± 0.1a	0.3 ± 0.3b
25	T1	26.8 ± 7.3a	4.2 ± 0.1a	4.3 ± 0.04a	0.1 ± 0.04a
	T2	25.3 ± 6.5b	4.2 ± 0.5a	4.3 ± 0.04a	0.2 ± 0.05a
	T3	24.3 ± 8.6c	4 ± 0.1a	4.3 ± 0.1a	0.2 ± 0.03a
	T4	20.6 ± 5.2d	4 ± 0.9a	4.3 ± 0.1a	0.2 ± 0.03a
% CV		0.24	0.03	0.16	0.25
DMSH		0.05	0.001	0.002	0.005
Interacción T(°C) vs Tratamiento		0.05	0.05		
Valores a la cosecha		34.89 ± 5.2	3.9 ± 0.1	4.5 ± 0.1	0.35 ± 0.03

rojo-maduro					
10	T1	16.3 ± 5.9a	4.1 ± 0.7a	4.5 ± 0.06a	0.3 ± 0.02a
	T2	18 ± 3.9a	4 ± 0.8a	4.5 ± 0.1a	0.3 ± 0.02a
	T3	18 ± 4.4a	3.8 ± 0.6a	4.4 ± 0.06a	0.3 ± 0.04a
	T4	16.5 ± 3.1a	4.9 ± 0.4a	4.4 ± 0.1a	0.3 ± 0.02a
25	T1	11.4 ± 4.9b	4.5 ± 0.9a	4.5 ± 0.1a	0.3 ± 0.04a
	T2	7.8 ± 4.8bc	3.5b ± 0.4a	4.4 ± 0.07a	0.09 ± 0.05a
	T3	14.6 ± 6b	3.2bc ± 0.7a	4.4 ± 0.07a	0.3 ± 0.08a
	T4	10.2 ± 7.6b	3.5 ± 0.5a	4.5 ± 0.1a	0.3 ± 0.06a
% CV		0.37	0.17	0.01	0.25
DMSH		0.05	0.001	0.002	0.005
Interacción T(°C) vs Tratamiento		0.05			
Valores a la cosecha		18.75 ± 4.1	3.6 ± 1.1	4.7 ± 0.1	0.36 ± 0.03

Los datos se presentan como las media de tres observaciones y su respectiva desviación estándar. *Letras diferentes indican que las muestras son significativamente diferentes. Comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control.

CUADRO 2. Género, frecuencia, incidencia y severidad de los fitopatógenos aislados de frutos de jitomate rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano, cera de abeja y AEO al término del almacenamiento a 25 ± 2 °C.

Tratamiento	Géneros	Frecuencia de géneros aislados (%)	Incidencia (%)	Índice de severidad
T1	<i>Alternaria</i> sp.	44.4 %		
	<i>Fusarium</i> sp.	22.2 %	27	2.6
	<i>Geotrichum</i> sp.	33.3 %		
T2	<i>Alternaria</i> sp.	100 %	18	3.3
T3	<i>Cladosporium</i> sp.	42.8 %		
	<i>Fusarium</i> sp.	28.5 %	16	2.5

	<i>Botrytis</i> sp.	28.5 %		
T4	<i>Alternaria</i> sp.	31.8 %		
	<i>Fusarium</i> sp.	13.6 %		
	<i>Cladosporium</i> sp.	27.2 %	39	3.6
	<i>Botrytis</i> sp.	22.7 %		

Índice de severidad: 1 = 0%, 2= 1-25%, 3 = 26-50%, 4 = 51-75% y 5 = 76-100% de daño superficial. T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control.

CUADRO 3. Análisis sensorial de jitomates cosechados en estado de madurez verde-pintón y rojo-maduro, tratados con cubiertas de quitosano adicionadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano (AEO) al término del almacenamiento.

verde-pintón				
Tratamiento	Aroma	Color	Sabor	Puntaje
T1	32	39	36	107
T2	30	30	24	84
T3	32	34	37	103
T4	27	33	33	95
rojo-maduro				
T1	49	57	57	163
T2	50	57	54	161
T3	51	66	54	171
T4	56	57	73	196

T1= Q 1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.005%, T2= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.01%, T3= Q1% + ácido acético 1% + cera de abeja 0.1% + glicerol 0.3% + aceite esencial de orégano 0.03% y T4= Control

ANEXO 3

AMIDIQ

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.
La Ingeniería Química en el Desarrollo Sostenible de Nuevos Procesos y Productos

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A:

SELENE CARMEN HAIDE RIVES CASTILLO, SILVIA BAUTISTA BAÑOS, MÓNICA HERNÁNDEZ
LÓPEZ

Por la presentación del trabajo:

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE FORMULACIONES BIODEGRADABLES PARA EXTENDER LA
VIDA DE ANAQUEL DEL JITOMATE

ID: 1043

XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ
Ixtapa Zihuatanejo, Gro., México, del 9 al 12 de mayo de 2017


Dr. Matheo Sales Cruz
PRESIDENTE DE AMIDIQ




Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

ANEXO 4



CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
LABORATORIO DE ECOLOGÍA QUÍMICA Y AGROECOSISTEMAS

ANÁLISIS POR CROMATOGRFÍA DE GASES-MASAS DEL ACEITE DE OREGANO MARCA “ORE”

Características de la muestra: Aceite de orégano mexicano (*Lippia graveolens*) producido por **ORE PROCESADORA DE OREGANO SILVESTRE S. DE R.L. MI.** Fecha de destilación del aceite: 22/05/12 Región de recolección: Sierra del Municipio de Saucillo, Chih.

Fecha del análisis: 4/06/12

RESULTADOS

Se obtuvo un cromatograma con 21 picos (Fig.1), 14 de ellos resueltos, identificados y cuantificados (Cuadro 1).

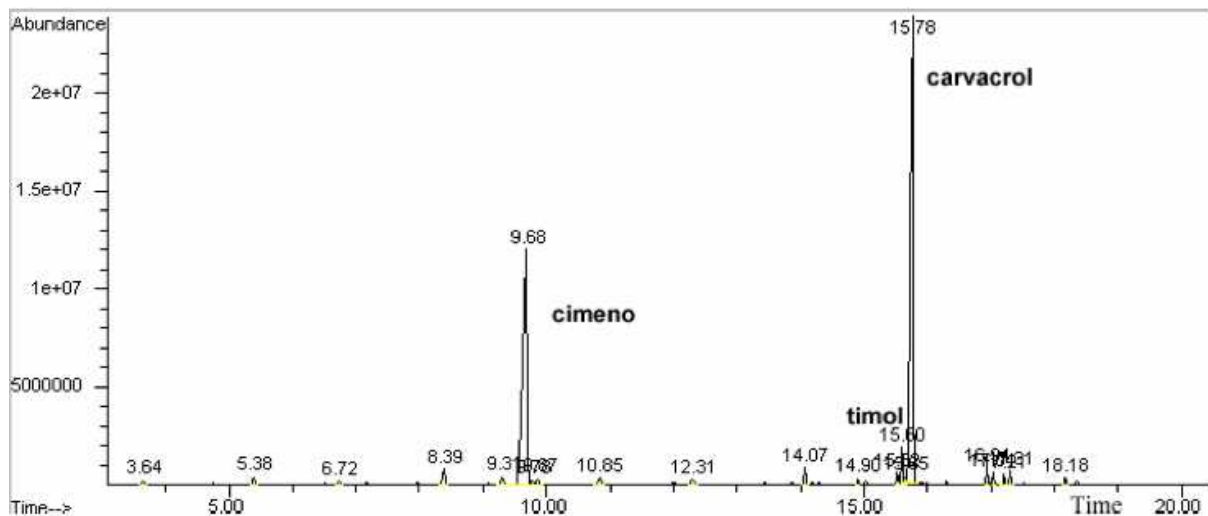


Fig.1. Cromatograma del analisis del aceite de oregano comercial marca ORE por cromatografia de gases-masas

Cuadro 1. Compuestos identificados en el aceite comercial de orégano, marca ORE, en orden ascendente según su tiempo de retención (TR). Las identidades del carvacrol y timol fueron confirmadas por medio de inyección de estándares comerciales de más del 98% de pureza (Sigma-Aldrich).

RT	Compuestos	Porcentaje
6.72	α -Pineno	0.29
8.39	β -Pineno	1.48
9.31	α -Terpineno	0.83
9.68	o-Cimeno	38.96
9.78	Limoneno	0.44
9.87	Eucaliptol	0.57
10.85	γ -Terpineno	0.77
12.31	Linalol	0.53
14.07	4-terpineol	1.10
14.9	Eter de metil-timol	0.28
15.6	Timol	3.02
15.78	Carvacrol	50.54
16.94	Cariofileno	0.73
17.21	α -Cariofileno	0.45

Concentración de Carvacrol en la muestra: 7.4 mg/mL Concentración de Timol en la muestra: 0.44 mg/mL (Concentraciones obtenidas por el método de estándar externo)

Proporción Carvacrol/Timol 16.8:1 En la mezcla de carvacrol+ timol hay 94.39 % de carvacrol y 5.61 % de timol.

Inyección y condiciones de corrida. Se inyectó 0.1 μ L de la muestra en un cromatógrafo de gases Agilent (HP6890) equipado con un detector de masas (HP5973). El cromatógrafo se operó usando helio como gas acarreador con un flujo de 1ml/min, inyección con división de flujo (split 60:1) a 250°C del inserto; columna capilar de polaridad intermedia (HP-5MS, 30m x 20mm x 20 μ m). Se usó el siguiente programa de temperatura en el horno: 55°C iniciales seguidos de una rampa de 3°C/min hasta llegar a 220°C. El espectrómetro de masas se operó a una velocidad de flujo de 1ml/min, con un voltaje de ionización a 70eV, con una temperatura de la interfase de 280°C, en modo SCAN y en un intervalo de masas de 35-550m/z.

IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS.

Se revisó la pureza de cada uno los picos de los cromatogramas y la comparación de espectros de masas de los compuestos de la muestra con los espectros de la Biblioteca National Institute of Standards and Technology (NIST02), que hace el software Data Analysis de modo automático. Solo se aceptó la identificación de aquellos espectros de la muestra que concordaban por arriba del 90 % con los de la biblioteca. Estos compuestos se reportan según su tiempo de retención (Tabla 1).

Estándares. La identificación con estándares de Sigma-Aldrich solo se realizó para el carvacrol y el timol, con un 98% y un 99% de pureza, respectivamente. Estos estándares se inyectaron en las mismas condiciones en las que se analizaron las muestras. Los tiempos de retención de los estándares coincidieron con los de carvacrol y timol, al igual que sus espectros de masas.

CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS.

Concentración relativa. Para calcular la concentración relativa de cada compuesto en la muestra, se eliminaron los picos de impurezas identificadas, de compuestos mal resueltos (mas de tres componentes en un pico) y de baja concordancia del espectro de masas de la muestra con el de la biblioteca NIST02 (menor al 90%). Se sumaron todas las áreas y se calcularon las concentraciones relativas de los compuestos(Tabla 1).

Concentración de Carvacrol y Timol.

Se usó el método de cuantificación por estándar externo. Se construyó una curva de calibración con concentraciones con el estandar de Carvacrol (Sigma-Aldrich, 98% de pureza), con concentraciones de 0.1, 0.5,1.0, 5.0 y 10.0 mg/mL (Fig.2). De esta forma se obtuvo una concentración de 7.4mg/mL de carvacrol en el aceite comercial marca ORE. Ya que el timol tiene una estructura química similar al carvacrol, la ecuación obtenida también se usó para obtener la concentración del timol: 0.44 mg/mL.

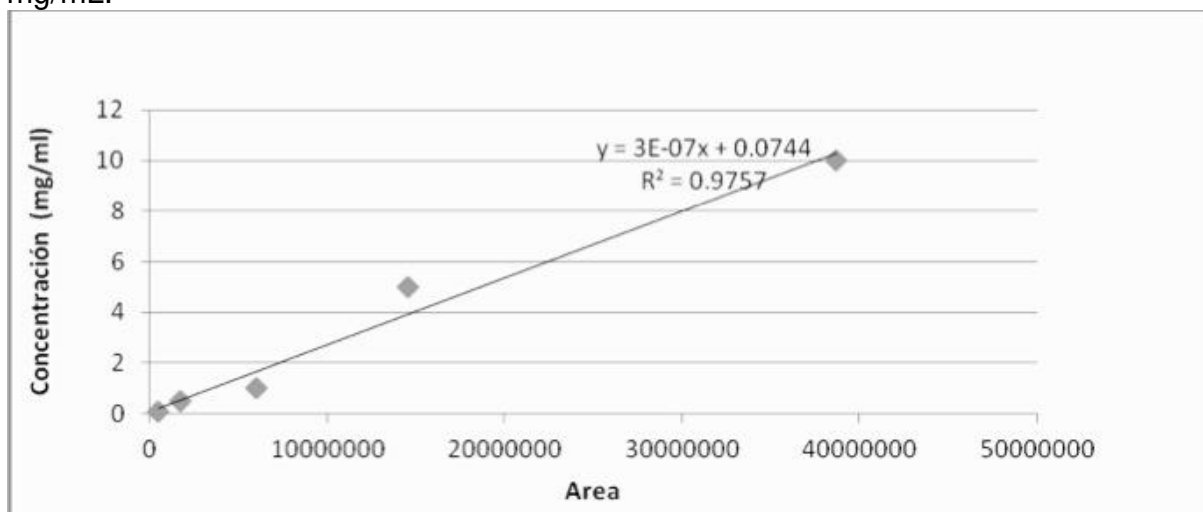


Fig.2. Curva de calibración de carvacrol, muestra la relación de área con cinco puntos de calibración.

Atentamente:

Dr. Francisco Javier Espinosa García Investigador Titular “C” Titular del Laboratorio de Ecología Química y Agroecología

CAMPUS MORELIA

APARTADO POSTAL 27-3 (SANTA MARÍA DE GUIDO), 58090, MORELIA, MICHOACÁN ANTIGUA CARRETERA A PÁTZCUARO No 8701, COL. EX HACIENDA DE SAN JOSÉ DE LA HUERTA 58190, MORELIA, MICH., MÉXICO. TEL. (443) 322 27 04 Y (55) 56 23 27 04, FAX (443) 322 27 19 Y (55) 56 23 27 19