

Saltillo, Coahuila a 27 de octubre de 2020

Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

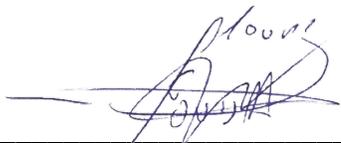
Coordinación de Posgrado

P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **MARÍA LUISA CID LÓPEZ** titulado "Recubrimiento de Poli(Acetato De Vinilo-Co-Alcohol Vinílico) Adicionado con Nanopartículas de Óxido de Calcio y su Efecto en la Poscosecha de Pepino (*Cucumis sativus*)" el cual fue presentado el día 23 de octubre de 2020, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

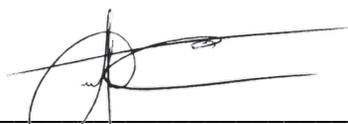
SINODALES



Dr. Oussama Mounzer
Presidente

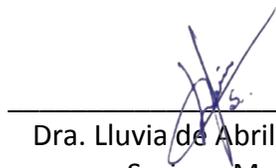


Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez



Dr. Antonio Cárdenas Flores
Vocal

Vo. Bo. de los Asesores



Dra. Lluvia de Abril Alexandra
Soriano Melgar



Dr. René Darío Peralta Rodríguez



TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: MARÍA LUISA CID LÓPEZ

FIRMA



TITULO: "Recubrimiento de Poli(Acetato De Vinilo-Co-Alcohol Vinílico) Adicionado con Nanopartículas de Óxido de Calcio y su Efecto en la Poscosecha de Pepino (*Cucumis sativus*)"

ASESORES: Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar

FIRMA



Dr. René Darío Peralta Rodríguez

FIRMA



El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 23 de Octubre de 2020

Sello de la Institución



**Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA**



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

**Recubrimiento de Poli(Acetato De Vinilo-Co-Alcohol Vinílico)
Adicionado con Nanopartículas de Óxido de Calcio y su Efecto
en la Poscosecha de Pepino (*Cucumis sativus*)**

Presentada por:

MARÍA LUISA CID LÓPEZ

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorada por:

Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar
Dr. René Darío Peralta Rodríguez

SINODALES



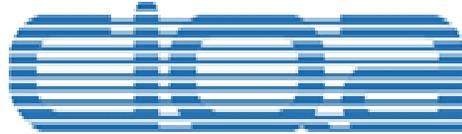
Dr. Oussama Mounzer
Presidente



Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez



Dr. Antonio Cárdenas Flores
Vocal



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

**Recubrimiento de Poli(Acetato De Vinilo-Co-Alcohol Vinílico)
Adicionado con Nanopartículas de Óxido de Calcio y su Efecto
en la Poscosecha de Pepino (*Cucumis sativus*)**

Presentada por:

MARÍA LUISA CID LÓPEZ

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorada por:

Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar
Dr. René Darío Peralta Rodríguez

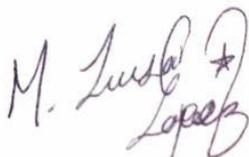
Saltillo, Coahuila. México.

Octubre, 2020

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 23 de octubre de 2020

A handwritten signature in purple ink, reading "M. Luisa Cid Lopez" with a star symbol above the "i" in "Lopez".

MARIA LUISA CID LÓPEZ

Nombre y Firma

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

RECUBRIMIENTO DE POLI(ACETATO DE VINILO-CO-ALCOHOL VINÍLICO)
ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE CALCIO Y SU EFECTO EN
LA POSCOSECHA DE PEPINO (*Cucumis sativus*)

TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Presenta:

María Luisa Cid López.

Asesores:

Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar.

Dr. René Darío Peralta Rodríguez.

Saltillo, Coahuila de Zaragoza.

Octubre, 2020.

RESUMEN

En este estudio se propuso la aplicación de recubrimientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con nanopartículas (NP) de óxido de calcio (CaO) sobre la vida poscosecha del pepino. El experimento consistió en cinco tratamientos: 1) testigo (sin recubrimiento); 2) recubrimiento de látex de P(VAc-co-VA) sin CaO-NP; 3) recubrimiento adicionado con 50 ppm de CaO-NP; 4) recubrimiento adicionado con 100 ppm de CaO-NP y 5) recubrimiento adicionado con 150 ppm de CaO-NP. Los frutos de pepino fueron cosechados 90 días después de la siembra, se seleccionaron por apariencia y calidad. Los tratamientos fueron aplicados el día de cosecha dentro de una cámara fría a 10 °C, en donde se mantuvieron en almacenamiento. Se analizaron las propiedades del látex (diámetro promedio de partícula, reología/viscosidad) y durante el almacenamiento, cada tres días, se determinaron parámetros de calidad (deshidratación, cambio de color y calidad total), físicos (color, pérdida de peso y firmeza), y químicos [pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM)], además de algunos parámetros considerados bioquímicos y antioxidantes (clorofilas *a*, *b* y totales, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total) en los frutos de pepino. Los resultados mostraron que los látex tienen un comportamiento no newtoniano y que tuvieron mayor resistencia al movimiento los latex sin CaO-NP y en menor concentración de CaO-NP (50 ppm y 100 ppm). Se mantuvo la apariencia y calidad visual de los frutos recubiertos con el látex adicionado de CaO-NP en sus diferentes concentraciones (50, 100 y 150 ppm) y controles durante todo el almacenamiento. Se apreciaron cambios en el color, pero no en la mayoría de los parámetros químicos evaluados (SST, AT e IM), lo que indica que, probablemente, los tratamientos no generaron cambios en el sabor de los frutos. El contenido de clorofilas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante fue mayor en el exocarpio y el mesocarpio en los frutos recubiertos, principalmente en los adicionados con CaO-NP. Todos los frutos mostraron buena calidad durante 24 días de acuerdo con la escala arbitraria utilizada, superando la vida útil promedio (14 días) debido al manejo pre- y poscosecha.

Palabras clave: *contenido antioxidante, compuestos fenólicos, frutos, látex, vida útil.*

ABSTRACT

In this study, the effects of the application of P(VAc-co-VA) latex coatings added with calcium oxide nanoparticles (CaO-NP) on the postharvest life of cucumbers was investigated. The experiment consisted of five treatments and controls: 1) control (no coating); 2) P(VAc-co-VA) latex coating (without CaO-NP); 3) coating added with 50 ppm of CaO-NP; 4) coating added with ppm of CaO-NP, and 5) coating added with 150 ppm of CaO-NP. The cucumber fruits were harvested 90 days after seeding and were selected according to appearance and quality. The treatments were applied the day of harvest in a cold chamber at 10 °C. The latex average particle diameter and rheological behavior were determined. During storage, sampling was carried out every three days and quality (dehydration, color change, and total quality), physical (color, weight loss, and firmness), chemical [pH, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), and ripeness index (RI)] as well as some biochemical and antioxidant (chlorophylls *a*, *b* and total, total phenolic compounds, and total antioxidant capacity) parameters in cucumber fruits were determined. The results showed that the lattices have a non-Newtonian behavior and that the latex without CaO-NP and in lower concentration of CaO-NP (50 ppm and 100 ppm) had greater resistance to flow. Appearance and visual quality of the fruits coated with CaO-NP in their different concentrations (50, 100 and 150 ppm) and controls were maintained during the whole storage time. Changes in color were observed, but no changes were found in most of the chemical parameters evaluated (TSS, TA, and RI), which indicates the likelihood that the treatments did not generate changes in the flavor of the fruits. The content of chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant capacity was higher in exocarp and mesocarp in the coated cucumber fruits, mainly in those added with CaO-NP. Furthermore, all fruits showed good quality for 24 days according to an arbitrary scale, exceeding the average shelf-life (14 days) due to pre- and postharvest treatments.

Keywords: *Antioxidant content, phenolic compounds, fruits, latex, shelf-life.*

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), a los Departamentos de Biociencias y Agrotecnología y al de Procesos de Polimerización.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (717831) para desarrollar exitosamente el Programa de Maestría.

Al Proyecto número 314907 denominado “Apoyo para acciones de mantenimiento de infraestructura científica Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica - LABMYN 2020” por el financiamiento de este trabajo de tesis.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), al Departamento de Horticultura, al Dr. Valentín Robledo Torres por permitir la donación de los frutos para el experimento y a todas las personas que apoyaron con el cultivo.

A mis Directores de Tesis, Dra. Lluvia de Abril A. y al Dr. René Darío, por su conocimiento y tiempo, cada una de las observaciones y sugerencias hechas de manera puntual y objetiva; por su atención, amabilidad y motivación durante todo el proyecto.

Al Comité de Sinodales, Dr. Antonio Cárdenas Flores, Dr. Oussama Mounzer y Dr. Antonio S. Ledezma Pérez, por su apoyo y atención durante la redacción del documento, por sus observaciones y correcciones, aportando conocimientos invaluable.

M.C. Gladis Y. Cortez Mazatán, del Departamento de Procesos de Polimerización (CIQA) por su apoyo y excelente disposición para la elaboración de los recubrimientos.

A mi madre, por su amor y apoyo incondicional en cada una de las etapas y decisiones que he tomado durante mi vida.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Importancia y producción mundial de los frutos de pepino.	1
I.2. Producción nacional del pepino.	1
I.3. Calidad del fruto.	1
I.4. Cosecha.	2
I.5. Poscosecha.	2
I.6. Problemas poscosecha.	3
I.7. Tratamientos poscosecha.	3
I.7.1. Recubrimientos.	4
I.7.1.1. Látex de poli(acetato de vinilo-co-alcohol vinílico).	7
I.8. Óxido de calcio.	7
I.9. Nanopartículas.	8
I.9.1. Nanopartículas de óxido de calcio.	8
II. HIPÓTESIS	10
III. OBJETIVOS	11
III.1. Objetivo general.	11
III.2. Objetivos particulares.	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
IV.1. Material biológico.	12
IV.1.1. Desarrollo del cultivo.	12
IV.2. Recubrimientos e incorporación de CaO-NP.	14
IV.2.1. Caracterización del látex de P(VAc-co-VA).	15
IV.2.1.1. Diámetro de partículas.	15
IV.2.2. Características reológicas del recubrimiento.	15
IV.2.2.1. Reología y viscosidad.	15
IV.3. Tratamientos en los frutos poscosecha.	15

IV.4. Determinaciones en los frutos.	17
IV.4.1. Parámetros de calidad visual.	17
IV.4.1.1. Deshidratación.	17
IV.4.1.2. Cambio en el color.	18
IV.4.1.3. Calidad general.	18
IV.4.2. Parámetros físicos.	19
IV.4.2.1. Color.	19
IV.4.2.2. Pérdida de peso.	19
IV.4.2.3. Firmeza (resistencia a la penetración).	20
IV.4.3. Parámetros químicos.	20
IV.4.3.1. pH.	20
IV.4.3.2. Sólidos solubles totales.	20
IV.4.3.3. Acidez titulable.	21
IV.4.3.4. Índice de madurez (relación SST/AT).	21
IV.4.4. Determinación de compuestos bioquímicos y antioxidantes.	21
IV.4.4.1. Clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> y totales.	21
IV.4.4.2. Compuestos fenólicos totales.	22
IV.4.4.3. Capacidad antioxidante total.	22
IV.5. Diseño experimental y análisis estadístico.	23
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
V.1. Efecto de la adición de las CaO-NP sobre el látex de P(VAc-co-VA).	24
V.1.1. Diámetro de partícula mediante dispersión de luz.	24
V.1.2. Incorporación o presencia de CaO-NP en el látex de P(VAc-co-VA).	25
V.1.2.1. Reología/viscosidad.	28
V.2. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre los parámetros de calidad visual en frutos de pepino poscosecha.	30
V.2.1. Deshidratación.	30
V.2.2. Cambio en el color.	32
V.2.3. Calidad general.	34
V.3. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre los parámetros físicos en frutos de pepino poscosecha.	36

V.3.1. Color.	36
V.3.2. Pérdida de peso.	41
V.3.3. Firmeza.	44
V.4. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre los parámetros químicos en frutos de pepino poscosecha.	45
V.4.1. pH.	45
V.4.2. Sólidos solubles totales.	47
V.4.3. Acidez titulable.	48
V.4.4. Índice de madurez.	49
V.5. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre compuestos bioquímicos y antioxidantes.	51
V.5.1. Clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> y totales.	51
V.5.1.1. En cáscara de los frutos de pepino.	51
V.5.1.2. En pulpa de los frutos de pepino.	53
V.5.2. Compuestos fenólicos totales.	56
V.5.3. Capacidad antioxidante total	57
VI. CONCLUSIONES	60
VII. PERSPECTIVAS	61
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
IX. ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diámetro promedio de partícula (nm) de los látex de P(VAc-co-VA) sin y con CaO-NP a diferentes concentraciones y en diferentes tiempos.	24
Tabla 2. Representación visual de los datos de color según los valores obtenidos de L, a^* y b^* en frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Desarrollo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Induran RZ F1 bajo condiciones de macrotúnel con cubierta de polietileno. 13
- Figura 2.** Frutos de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Induran RZ F1 seleccionados y lavados, dentro de la cámara fría antes de la aplicación de los recubrimientos. 14
- Figura 3.** Frutos sin y con recubrimientos de látex de P(VAc-co-VA) sin y con la adición de CaO-NP de la prueba preliminar, después de 12 días de almacenamiento a 10 °C. De izquierda a derecha se observa el duplicado del testigo, solo látex, látex + 50 ppm de CaO-NP, látex + 100 ppm de CaO-NP y látex + 150 ppm de CaO-NP. 16
- Figura 4.** Apariencia de los frutos tras la aplicación de los recubrimientos a base de látex de P(VAc-co-VA) dentro de una cámara refrigerada (10 ± 1.5 °C). 16
- Figura 5.** Escala arbitraria para la evaluación de la deshidratación en frutos de pepino (*Cucumis sativus*). 17
- Figura 6.** Escala arbitraria para la evaluación visual del cambio del color en frutos de pepino (*Cucumis sativus*). 18
- Figura 7.** Escala arbitraria para calificar de forma general la calidad de los frutos de pepino (*Cucumis sativus*). 19
- Figura 8.** Análisis de la película de látex (solo) sin CaO-NP mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X15000, b) X30000 y c) X50000..... 25
- Figura 9.** Análisis de la película de Látex + CaO-NP 50 ppm, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X15000, b) CaO-NP (259.9 nm, 204.7 nm, 266.3 nm) a X30000 y c) CaO-NP (271.8 nm) X50000..... 25
- Figura 10.** Análisis de la película de látex + CaO-NP 100 ppm, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X10000, b) CaO-NP (297.9 nm, 400.5 nm, 353.3 nm), X30000 y c) CaO-NP (781.6 nm, 210.6 nm), X50000..... 26
- Figura 11.** Análisis de la película de látex + CaO-NP 150 ppm, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X15000, b) CaO-NP (787.7 nm), X30000 y c) CaO-NP (328.5 nm, 252.0 nm, 365.7 nm), X50000..... 26

Figura 12. Esfuerzo de corte (A) y viscosidad aparente (B) en función a la tasa de corte de los recubrimientos de látex (sin CaO-NP) y CaO-NP (50, 100 y 150 ppm).....	29
Figura 13. Evaluación de la deshidratación mediante una escala arbitraria del 5-1, donde, 5=sin deshidratación, 3=límite comercial o permisible (línea punteada) y 1=deshidratación extrema en frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de muestreo almacenados a 10 °C.....	31
Figura 14. Evaluación del cambio de color o daño mediante una escala arbitraria del 5-1, donde, 5=sin cambio de color/daño, 3=limite comercial o permisible (línea punteada) y 1=cambio de color/daño extremo en frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de muestreo almacenados a 10 °C.	33
Figura 15. Evaluación de la calidad general mediante una escala arbitraria del 5-1, donde, 5=excelente calidad, 3=limite comercial o permisible (línea punteada) y 1=pésima calidad en frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de muestreo almacenados a 10 °C.	34
Figura 16. Valores de L (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C... ..	36
Figura 17. Valores de a^* [a^* = variación de color de un eje de verde (-) a rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de pepino bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	37
Figura 18. Valores de b^* [b^* = variación de color de un eje azul (-) a amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de pepino bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	38
Figura 19. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) durante su almacenamiento poscosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	42
Figura 20. Firmeza en los frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) expresado en Newtons (N) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	44
Figura 21. Valores de pH en el mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	46

Figura 22. Sólidos solubles totales expresados en °Brix obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	47
Figura 23. Acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico) obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	49
Figura 24. Índice de madurez (IM= SST/AT) obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C... 50	
Figura 25. Contenido de clorofila (A) <i>a</i> , (B) <i>b</i> y (C) totales obtenidos del exocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.....	52
Figura 26. Contenido de clorofila (A) <i>a</i> , (B) <i>b</i> y (C) totales obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	55
Figura 27. Compuestos fenólicos totales (µg EAG g ⁻¹ de tejido fresco) en (A) exocarpio y (B) mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	57
Figura 28. Capacidad antioxidante total (µmoles EAG g ⁻¹ de tejido fresco) por DPPH en (A) exocarpio y (B) mesocarpio de frutos de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.	59

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Importancia y producción mundial de los frutos de pepino.

El pepino (*Cucumis sativus*) presenta frutos de gran importancia económica a nivel mundial, ya que es cultivado en más de 80 países diferentes con una producción superior anual de 66 millones de toneladas (Bari y Khan, 2015). El principal problema poscosecha de este producto es su rápida pérdida de agua y crecimiento de microorganismos (Abdullah *et al.*, 2016); por lo que la vida poscosecha de los frutos de pepino no supera los 15 días (Cruz-Gómez, 2015).

En 2018, se produjeron mundialmente 131,512,972 toneladas de pepino y el principal productor fue China con una producción de 112,587,061 toneladas (FAO, 2020). La tendencia en el incremento de las áreas de producción nacional y mundial de pepino se atribuye a su alta rentabilidad y a su ciclo vegetativo corto (Fernández *et al.*, 2018).

I.2. Producción nacional del pepino.

La producción de pepino en México ha sufrido cambios significativos, y la tendencia ha sido a incrementar debido a que el consumo a nivel mundial es cada vez mayor (Peralta *et al.*, 2016). Existen variedades con alta productividad y las buenas prácticas de manejo son un factor importante para el incremento del rendimiento y, con ello, divisas y empleos (Hernández *et al.*, 2014).

Para el año 2018, en México se produjeron 846,636 toneladas de pepino, el principal productor fue el estado de Sinaloa que cosechó 256,756 toneladas con una media de rendimiento de 84 toneladas por hectárea (SIAP, 2019).

I.3. Calidad del fruto.

De acuerdo a la variedad de pepino podemos encontrar en el mercado varios tipos de fruto: europeo, holandés, americano, del este medio y oriental (Padilla y Pérez, 2017). El pepino es un fruto no climatérico que se consume en estado inmaduro (Barraza, 2015). Su composición es mayormente agua (alrededor de un 95 %), además contiene 3.6 % de carbohidratos, 0.65 % de proteínas y pocas calorías (150 kcal kg⁻¹) (Tsuchida *et al.*,

2010). Sin embargo, su consumo se justifica por su valor nutricional ya que contiene minerales como: calcio (20 mg), fósforo (22 mg), hierro (0.3 mg); vitaminas A (17 μ L), B1 (0.03 mg), B2 (0.04 mg), C (12.6 mg), miosina (0.09 mg), calorías (11 cal), agua (96.4), proteína (0.5 g), carbohidratos (2.6 g), fibra (0.4 g) y ceniza (0.4 g) por cada 100 g de parte comestible (Hidalgo, 2020). Aunque la composición del fruto puede depender de las condiciones climatológicas y tiempos de cosecha.

I.4. Cosecha.

Los días de cosecha en el cultivo de pepino dependen de la variedad, las condiciones climáticas y su forma de consumo. Para este último, se pueden mencionar: los encurtidos, cuyo proceso es de 40 a 50 días, y en fresco, el cual debe cosecharse de 50 a 65 días posteriores a la siembra. Después del primer corte, debe continuarse cosechando cada tres días. Los frutos tipo *slicers* deben medir de 20 a 30 cm de longitud y de 3 a 6 cm de diámetro, su color debe ser verde oscuro sin líneas de amarillamiento (López, 2003).

La cosecha debe ser realizada durante las primeras horas del día o por la tarde cuando la radiación solar sea reducida (Casilimas *et al.*, 2017). El fruto del pepino debe cosecharse a mano y con mucho cuidado de no causar daños mecánicos, pues esto evitará la deshidratación en frutos e incidencias de enfermedades en el almacenamiento poscosecha. Los frutos cosechados se colocan en cajas y al ser transportados al empaque o almacén deben ser protegidos de la radiación solar (Casilimas *et al.*, 2017).

I.5. Poscosecha.

De forma general, en etapas poscosecha de diferentes productos hortofrutícolas, se implementan mecanismos de conservación y mejora de los parámetros de calidad para prolongar su vida de anaquel y reducir las pérdidas antes de llegar al consumidor final (Singh *et al.*, 2014). La principal tecnología que se implementa en la conservación de la mayoría de los productos poscosecha es la refrigeración, siendo almacenados en cámaras a temperaturas de entre 0-12 °C y a una humedad relativa alta (≥ 70 %) para evitar la deshidratación (Defraeye *et al.*, 2016). En el almacenamiento, las condiciones adecuadas para el fruto de pepino son de 10-12.5 °C de temperatura y 95 % de humedad

relativa para evitar deshidratación y senescencia. El almacenamiento no sobrepasa los 14 días debido a que comienza a perder calidad visual y sensorial, con lo cual se desencadenan diferentes problemas poscosecha (Casaca, 2005).

I.6. Problemas poscosecha.

El pepino, como cualquier fruto, es susceptible al amarillamiento, incidencia de plagas y enfermedades, deshidratación, etc. (Elizalde *et al.*, 2017). Cuando no se tiene un control adecuado del almacenamiento, se pueden producir problemas como: 1) daño por frío, causado por la exposición a temperaturas por debajo de 10 °C; 2) daños físicos, causados por las malas prácticas en la cosecha (arrancar el fruto en vez de cortar con tijera) y magulladuras por mal manejo; 3) amarillamientos y pudriciones, causadas por la exposición a concentraciones no adecuadas de etileno (comúnmente sucede cuando los frutos se almacenan con otros frutos como bananas, melones, papayas, etc.); y 4) enfermedades, que son un factor importante en el almacenamiento causadas por hongos fitopatógenos, bacterias (Casaca, 2005), entre otros microorganismos.

Entre los efectos más notables en los productos hortofrutícolas por un mal manejo poscosecha se encuentran: 1) cambios en el color, debido a la degradación de pigmentos presentes como las clorofilas, los carotenoides y las antocianinas (Aguilar, 2005); 2) pérdida de peso, se da por la difusión del vapor de agua, debido al gradiente de presión que existe entre el interior y exterior de la membrana del fruto (Galietta *et al.*, 2004); y 3) desarrollo de microorganismos, cuando se hace uso de atmósferas modificadas de forma inadecuada se corre el riesgo de desarrollar patógenos por el incremento de la humedad en el empaque (Sandhya, 2010). Para evitar los problemas poscosecha existen diferentes tratamientos, los cuales, tratan de evitar cada uno de los diferentes factores que deterioran la calidad del fruto.

I.7. Tratamientos poscosecha.

Bajas temperaturas. Éstas representan la mejor opción para el mantenimiento y conservación de la calidad de los productos, así como, extender la vida poscosecha (Razavi y Hajilou, 2016). Temperaturas bajas para el almacenamiento (8-12 °C) se

pueden dar mediante cámaras de enfriamiento, agua fría (hidroenfriamiento), con hielo, con vacío o con aire forzado (Kader, 2002).

Atmósferas modificadas. El objetivo de estas es mantener la calidad del producto e incrementar su vida de anaquel. Para la modificación de la atmósfera, los gases que se utilizan son: dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N₂), etileno (C₂H₄) y vapor de agua (Polinter, 2010).

Recubrimientos. Los hidrocoloides plastificantes aditivos y compuestos activos tienen la finalidad de incrementar la duración de los frutos en poscosecha al formar una atmósfera modificada, controlando la transferencia de masa de solutos, solventes y gases (O₂, CO₂), y vapor de agua. También, controlan el desarrollo de microbios que afecten a la calidad del fruto (Quintero *et al.*, 2010). Adicionalmente, como parte de otras tecnologías de conservación se utilizan atmósferas modificadas y recubrimientos, aunque nunca se aplican solos. Generalmente, las atmósferas modificadas y recubrimientos se aplican junto con temperaturas de refrigeración y algunos aditivos (Kitinoja y Kader, 2003).

Aditivos. Dentro de los compuestos aditivos que se emplean en tratamientos poscosecha podemos mencionar al cloruro de calcio (CaCl₂) el cual, combinado con ácido salicílico, es un tratamiento eficaz contra el daño por frío debido a que tiene control sobre la permeabilidad de la membrana y disminución de la tasa de respiración, dando como resultado menor pérdida de peso y mantenimiento de la firmeza (Gang *et al.*, 2014).

I.7.1. Recubrimientos.

Se ha comprobado que el uso de recubrimientos elaborados con polímeros en frutos forma una atmósfera modificada que permite aumentar la vida útil de los alimentos (Baldwin *et al.*, 2012). Un recubrimiento actúa como una barrera semipermeable a gases y vapor de agua, lo que permite controlar la respiración, la transpiración, cambios de color, algunas fisiopatías, el desarrollo de microorganismos, mejoras en la apariencia por brillo y textura, entre otros (Domínguez *et al.*, 2003). Con el tiempo, el uso de recubrimientos para productos hortofrutícolas ha pasado de sólo tener la funcionalidad de protección a una más activa, interactuando en la absorción de sustancias producidas por éstos, prolongando la vida de anaquel, así como, la calidad del producto (Ramos-

Hernández, 2015). La finalidad de los recubrimientos es preservar la calidad poscosecha y reducir el metabolismo del fruto, ya sea en frutos enteros o como productos mínimamente procesados (Ruelas-Chacón *et al.*, 2013). En poscosecha, la tasa de respiración aumenta, consumiendo reservas de azúcares, ácidos orgánicos y proteínas, influyendo de esta forma en el contenido de sólidos solubles totales (SST) en el fruto (González, 2011). Se ha reportado que los pepinos recubiertos tienen valores mayores de SST que los frutos sin cubierta durante 15 días de almacenamiento (Moreno *et al.*, 2013).

Los materiales con los que son elaborados los recubrimientos varían mucho, siempre buscando que estos materiales sean de origen natural, comestibles y con valor agregado:

Recubrimientos comestibles. Estos recubrimientos son preparados a base de polisacáridos y proteínas, son redes moleculares de polímeros que están cohesionadas por una alta interacción molecular, esto les proporciona propiedades mecánicas que retardan la respiración al crear una barrera para O₂ y CO₂ (Dickinson, 2009). Los recubrimientos a base de polímeros son muy eficientes para controlar la pérdida de humedad en poscosecha por ser hidrofóbicos; además, reducen la transpiración, abrasión en la manipulación, mejoran el brillo y la apariencia de los alimentos, sin embargo, sus cualidades mecánicas como la integridad estructural y cohesividad son muy bajas y forman recubrimientos quebradizos (Fernández *et al.*, 2015).

Recubrimientos a base de ceras y aceites. Las ceras y los aceites son utilizados como recubrimiento principalmente por sus propiedades hidrofóbicas, forman una barrera que evita la pérdida de humedad en los frutos en poscosecha, de esta manera se recuperan en el fruto las ceras naturales perdidas en el lavado además de que se sellan heridas causadas durante el manejo poscosecha y se les aporta brillo a los frutos, lo que es atractivo para el consumidor (Valencia y Torres, 2016; Elizalde *et al.*, 2017). Sin embargo, su capacidad para formar recubrimientos con buena integridad mecánica es limitada debido a sus características no poliméricas (Dhall, 2013). Para mejorar su efectividad, las ceras y aceites son adicionados con otros recubrimientos a base de polisacáridos formando un recubrimiento bicapa, la cera o aceite es la más cercana a la cutícula y la capa de polisacáridos por encima, la primera evitará la pérdida de humedad y la segunda

formará una barrera a la transferencia de gases (Pacheco, 2015). Las ceras son un recubrimiento muy usado en cítricos, mejoran la apariencia de los frutos y retardan la transpiración. Estos recubrimientos pueden afectar el aroma y sabor del fruto. Actualmente se utilizan polietileno con alguna resina o cera natural (Salvador *et al.*, 2003). Los materiales más utilizados como recubrimientos lipídicos son la cera de abeja, cera de carnauba y candelilla, monoglicéridos acetilados, ácidos grasos, triglicéridos, alcoholes grasos y tensoactivos como ésteres de sacarosa (Valencia y Torres, 2016). Elizalde *et al.* (2017) reportaron que el recubrimiento con cera redujo la pérdida de agua en frutos de pepino entre 47 % y 150 % al compararlo con su testigo sin encerar. En cuanto a firmeza, los frutos de pepino sin encerar sufren un deterioro a los 4 días de almacenamiento mientras que los frutos recubiertos presentan disminución de la firmeza a partir de los 8 días de almacenamiento (Muy-Rangel *et al.*, 2004).

Recubrimiento a base de quitosano. El quitosano se obtiene mediante la desacetilación de la quitina, tiene actividad antimicrobiana, es biodegradable, biológicamente compatible y no tóxico (Vargas *et al.*, 2007). Por lo que es un compuesto muy abundante, económico y con gran aplicación, así los recubrimientos de quitosano son de los más empleados desde hace varios años (Vargas *et al.*, 2007).

Además de los recubrimientos ya mencionados, existe una gran cantidad de otros compuestos empleados como recubrimientos y es un área de investigación que no cesa. En nuestro grupo de trabajo, se ha estudiado el uso de un látex a base de poliacetato de vinilo y alcohol polivinílico, P(VAc-co-VA), en productos poscosecha. Por lo que, con anterioridad se ha utilizado el P(VAc-co-VA) como recubrimiento en diferentes frutos, tal como reporta Ramos *et al.* (2014) que mediante el uso de recubrimientos a base de PVAc se prolonga la vida poscosecha de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) reduciendo la pérdida de peso y firmeza durante su almacenamiento. Ortiz (2013), mejoró la apariencia y la calidad del fruto de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) por la aplicación del mismo látex. Guillén (2013) consiguió mejoras en las propiedades físicoquímicas, textura, brillo y color del fruto de tomate (*Lycopersicum esculentum* M.). Sin embargo, Cortez-Mazatán *et al.* (2011) señalaron que el uso de este recubrimiento tuvo ligera protección comparándolo con los frutos sin recubrir. Por lo anterior, en parte,

el problema a resolver se centra en la mejora del látex de P(VAc-co-VA) para su uso como tratamiento poscosecha.

I.7.1.1. Látex de poli(acetato de vinilo-co-alcohol vinílico).

El uso de P(VAc-co-VA) como polímero es adecuado para mezclar con diferentes compuestos, se trata de un material biodegradable excelente para crear películas debido a sus cualidades mecánicas; aunque sus componentes [polivinil alcohol (PVA) y polivinil acetato (PVAc)] presentan problemas de falta de resistencia a la humedad y sus propiedades solo mejoran si es mezclado con otros compuestos, como el almidón (Rahmat *et al.*, 2009). Además, existen ensayos en ratas donde no refleja evidencia sobre toxicidad y efectos cancerígenos del PVA, componente del látex de P(VAc-co-VA) (Rodwell *et al.*, 2003). El recubrimiento polimérico de P(VAc-co-VA), se ha utilizado anteriormente en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) como tratamiento poscosecha, mejorando la apariencia y calidad (Ortíz, 2013). En condiciones ambientales, el recubrimiento a base de P(VAc-co-VA) mostró mantener la firmeza, disminuyó la pérdida de peso y retardó la maduración del tomate cherry (Alvarado, 2011). En pepino, se observó menor pérdida de peso en los frutos recubiertos que en los no cubiertos en los cuales su peso disminuyó hasta 16 % durante 14 días de almacenaje (Cruz-Gómez, 2015). Sin embargo, pese a su gran efecto sobre la calidad y vida de anaquel de los productos hortofrutícolas, este látex tiene la desventaja de cambiar su textura en un ambiente alto en humedad y *per se* no presenta propiedades antimicrobianas. Por lo que se ha trabajado en la adición de otros compuestos a este látex (Vidal-Montero, 2017).

I.8. Óxido de calcio.

Desde la antigüedad, algunos pueblos primitivos utilizaban polvos con el fin de repeler insectos de productos agrícolas en poscosecha, entre estos polvos se incluía al óxido de calcio (CaO) (Stadler *et al.*, 2010). Debido a que las partículas de CaO son muy finas pueden ser usadas en bactericidas y adsorbentes de tóxicos (Roy *et al.*, 2011). Ro *et al.* (2015) reportaron que las CaO (*bulk* o partícula) han sido empleadas en alimentos con algunas restricciones (por su efecto sobre el producto), tal es el caso de su aplicación en miel, mantequilla y leche fermentada con efectos antimicrobianos. Aunque es muy

conocido el uso del CaO en la nixtamalización (Linares, 2009). Sin embargo, la información sobre el uso de este compuesto a escala nanométrica es escasa.

I.9. Nanopartículas.

Durante los últimos años se ha incrementado el interés por el estudio del efecto que tiene el uso de partículas aún más pequeñas, tal es el caso de las nanopartículas (NP), en diferentes aplicaciones. Actualmente, se han desarrollado aplicaciones en el campo agrícola, ya que las NP han adquirido importancia como agentes antimicrobianos novedosos debido a sus fuertes propiedades germicidas frente a una amplia gama de microorganismos multirresistentes (Singh *et al.*, 2017).

Desde hace cerca de una década, el estudio de diferentes NP se ha enfocado en el área de poscosecha en diversos productos hortofrutícolas. Algunas NP se han utilizado y comprobado su eficaz comportamiento como agente antimicrobiano, un ejemplo de ello son las NP de plata (Aguilar *et al.*, 2013). Uclés *et al.* (2015) demostraron que la utilización de NP es útil para absorber residuos de pesticidas en frutos en poscosecha al ser lavados. En flores de corte se han utilizado NP en soluciones florero (Soriano-Melgar *et al.*, 2018).

I.9.1. Nanopartículas de óxido de calcio.

La aplicación de NP de CaO (CaO-NP) en otros materiales, como lo son los revestimientos poliméricos de poli(metacrilato de metilo) o PMMA, han generado la modificación del material, mejorando su rendimiento con una tasa de desgaste inferior y valores de microdureza mayores a otras mezclas con diferentes partículas (Aguilera-Camacho *et al.*, 2015). En un estudio se probó la incorporación de NP de CaCO₃ en polietileno tereftalato mejorando las propiedades de barrera (Avolio *et al.*, 2013). También Avella *et al.* (2007) introdujeron NP de CaCO₃ dentro de la matriz de poliprolileno mejorando las propiedades del polímero.

Los nanocristales de CaO tienen varias aplicaciones y propiedades, entre ellas, las antimicrobianas (Marquis *et al.*, 2016). En el caso particular de las CaO-NP, éstas han demostrado un alto efecto antimicrobiano al utilizarlas contra bacterias de la piel humana

(Roy *et al.*, 2013); y en alimentos la concentración de 100 ppm muestra efectividad antibacteriana (Tang *et al.*, 2013). El uso de NP en alimentos está siendo cada vez más estudiado.

En cuanto al aspecto precosecha, el cual tiene gran impacto en la vida útil de los productos en poscosecha, se han aplicado nano-fertilizantes por su efectividad y rentabilidad dando resultado mayor crecimiento y rendimiento en frutales (Liu y Lal, 2015). El calcio se introduce vía apoplasto y se une a las paredes celulares, también interactúa con el ácido péctico presente en éstas para formar pectato de calcio, manteniendo su estructura y protegiéndolas de las enzimas degradantes (White y Broadley, 2003). Además, se ha utilizado calcio a escala nanométrica (sin indicar el compuesto utilizado) en aplicaciones foliares en plantas de manzana 'Red Delicious', encontrando mayor rendimiento y mejorando la calidad de la fruta, así como, promoviendo el retraso en el proceso de maduración (Shiva *et al.*, 2019).

Con base en lo anterior, se considera que la adición de CaO-NP al látex de P(VAc-co-VA) podría generar cambios en el polímero, mejorando sus propiedades protectoras sobre frutos. Además, podría otorgar propiedades antifitopatogénicas y de mayor estabilidad de la pared celular y membranas de los productos poscosecha, lo que permitiría prolongar la vida útil de diferentes productos de origen vegetal.

II. HIPÓTESIS

La adición de CaO-NP en el látex de P(VAc-co-VA) y su uso en recubrimientos, permitirá conservar la calidad poscosecha y alargar la vida de anaquel de los frutos de pepino, aumentando la firmeza, protegiendo a los frutos contra la pérdida de agua y el desarrollo de microorganismos, manteniendo sus características organolépticas y propiedades bioquímicas.

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto de las nanopartículas de óxido de calcio en látex de P(VAc-co-VA) como recubrimiento sobre la calidad poscosecha de frutos de pepino y las características reológicas del látex.

III.2. Objetivos particulares.

- a) Desarrollar un látex de P(VAc-co-VA) adicionado con CaO-NP como recubrimiento para frutos en donde se mantengan dispersas las NP.
- b) Determinar las características reológicas del látex por efecto de la adición de las CaO-NP.
- c) Evaluar parámetros de calidad visual en frutos de pepino modificados por efecto de la aplicación de recubrimientos de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP.
- d) Evaluar el efecto de los recubrimientos sobre los parámetros físicos y químicos de frutos de pepino durante su vida poscosecha.
- e) Establecer si existen efectos sobre parámetros bioquímicos y/o el contenido antioxidante de frutos de pepino en poscosecha tratados con recubrimientos adicionados con CaO-NP.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo colaborando dos instituciones: en el Centro de Investigación en Química Aplicada en el Departamento de Biociencias y Agrotecnología y en el Departamento de Procesos de Polimerización, y en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

IV.1. Material biológico.

Se emplearon frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Induran RZ F1 (22-960), un híbrido *slicer* partenocárpico, producido por la empresa Rijk Zwaan; variedad que fue injertada sobre un portainjerto de chilacayote (*Cucurbita ficifolia*) y los cuales fueron cultivados en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Departamento de Horticultura, Buenavista, Saltillo.

IV.1.1. Desarrollo del cultivo.

La ubicación para el establecimiento y desarrollo del cultivo fue dentro de un macrotúnel con cubierta de polietileno y ventilación mediante extractor de aire (Figura 1). La siembra fue en charolas y se trasplantó en suelo con un marco de plantación de 40 cm entre plantas y 160 cm entre hileras, las camas fueron acolchadas con plástico negro de polietileno, utilizando riego por goteo y para la fertilización se empleó solución nutritiva de Steiner según los requerimientos del cultivo. Además, se realizaron las actividades culturales oportunamente, tales como: deshierbe del invernadero, tutorado de las plantas y manejo a dos tallos, podas requeridas de hojas y frutos deformes y/o dañados con material debidamente desinfectado.



Figura 1. Desarrollo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Induran RZ F1 bajo condiciones de macrotúnel con cubierta de polietileno.

La cosecha fue realizada por la mañana, conservando el pedúnculo, los frutos fueron empacados en rejas plásticas con sumo cuidado para evitar daño mecánico y se trasladaron al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) donde se seleccionaron por su apariencia (color y tamaño) y calidad (sin daño mecánico o de microorganismos) con el fin de tener uniformidad en las características de los frutos, se lavaron y secaron para posteriormente aplicar los recubrimientos de forma manual a los frutos (Figura 2). Debido a que las condiciones del desarrollo del cultivo fueron las mismas para todos los frutos, el uso de portainjertos de chilacayote e injertos de pepino no fue considerado dentro de los tratamientos o condiciones a considerar durante las evaluaciones poscosecha. Todos los frutos fueron obtenidos bajo las mismas condiciones y en el mismo día de corte.



Figura 2. Frutos de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Induran RZ F1 seleccionados y lavados, dentro de la cámara fría antes de la aplicación de los recubrimientos.

IV.2. Recubrimientos e incorporación de CaO-NP.

Todos los reactivos usados en la preparación del látex se adquirieron de Sigma-Aldrich®. El tamaño de las CaO-NP fue <160 nm, de acuerdo al proveedor. La preparación del látex de P(VAc-co-VA) se comenzó haciendo una previa destilación del acetato de vinilo (VAc). El monómero fue colocado en un matraz bola de 500 mL con un agitador magnético y se conectó a un sistema de destilación. Posteriormente, se hizo vacío para iniciar la destilación a 30 °C y con agitación constante. El producto destilado se almacenó a 4 °C, tapado y protegido de la luz. Se preparó en un reactor enchaquetado una solución micelar con 300 mL de agua destilada y filtrada, 0.068 g de persulfato de amonio, 0.7 g de dodecil sulfato de sodio, CaO-NP a diferente concentración (50, 100 y 150 ppm para cada reacción), estabilizadas con glicerol al 0.1 % y 25.05 g de alcohol polivinílico (PVA). Se agitó por 1 h a 250 rpm. Una vez disuelto el PVA, se pasó argón de ultra alta pureza durante 60 min. Por separado, se preparó una solución de 60 g de acetato de vinilo y 4.2 mL de éter etílico en un matraz bola, a la cual también se le pasó argón de ultra alta pureza durante 3 min. Las degasificaciones se hicieron con el fin de eliminar el oxígeno que inhibiera la reacción de polimerización. La solución de acetato de vinilo y éter etílico se colocó en una jeringa GasTight purgada con argón y se dosificó al reactor mediante una bomba dosificadora calibrada previamente a un flujo de 0.249 mL min^{-1} durante 4 h, manteniendo la temperatura de la reacción en 60 °C en agitación (250 rpm) y flujo de argón dentro del reactor en la mezcla reaccionante hasta agotar el monómero y se mantuvo en esas condiciones durante 2 h (tiempo de post-reacción).

IV.2.1. Caracterización del látex de P(VAc-co-VA).

IV.2.1.1. Diámetro promedio de partículas.

El látex se caracterizó mediante dispersión de luz para determinar el diámetro promedio de las partículas. Para este procedimiento se realizó una dispersión en un vial con 0.01 g de látex y agua hasta alcanzar 10 g de mezcla. El producto se conservó en el frasco original dentro de un desecador debidamente etiquetado para su uso. Adicionalmente, para confirmar la presencia de las CaO-NP y su dispersión en el látex, éste último se visualizó y analizó como películas de látex mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en un equipo de barrido de emisión de campo JEOL JSM-7401F.

IV.2.2. Características reológicas del recubrimiento.

IV.2.2.1. Reología y viscosidad.

El comportamiento reológico de los látex se determinó a 25 °C, en un reómetro AR-G2 (TA Instruments, EUA). En el reómetro, la muestra se colocó sobre un plato de 60 mm y un espacio de 0.058 mm, y con una espátula de plástico se movió hasta formar una capa que cubriera por completo el plato.

IV.3. Tratamientos en los frutos poscosecha.

Se aplicaron los siguientes recubrimientos y se tuvieron los siguientes controles considerados como tratamientos: 1) testigo (sin recubrimiento); 2) recubrimiento [látex de P(VAc-co-VA)] sin CaO-NP; 3) recubrimiento adicionado con 50 ppm de CaO-NP; 4) recubrimiento adicionado con 100 ppm de CaO-NP y 5) recubrimiento adicionado con 150 ppm de CaO-NP. Estos tratamientos fueron considerados debido a pruebas preliminares, donde los frutos tratados con látex de P(VAc-co-VA) adicionados con 50 ppm de CaO-NP mostraban buena calidad en comparación con el resto de los tratamientos (controles, 100 y 150 ppm de CaO-NP) y los cuales tuvieron una vida útil promedio de 12 días poscosecha (Figura 3).



Figura 3. Frutos sin y con recubrimientos de látex de P(VAc-co-VA) sin y con la adición de CaO-NP de la prueba preliminar, después de 12 días de almacenamiento a 10 °C. De izquierda a derecha se observa el duplicado del testigo, solo látex, látex + 50 ppm de CaO-NP, látex + 100 ppm de CaO-NP y látex + 150 ppm de CaO-NP.

La aplicación de los recubrimientos se llevó a cabo manualmente, untando con los dedos y distribuyendo el látex de manera uniforme en una capa fina, sin formar grumos o burbujas, se aplicó por todo el fruto y con mayor atención en el ápice y la región del pedúnculo. El recubrimiento se dejó secar y los frutos se mantuvieron dentro de una cámara fría a 10 ± 1.5 °C desde su procesamiento y durante todo el periodo de almacenamiento (Figura 4).



Figura 4. Apariencia de los frutos tras la aplicación de los recubrimientos a base de látex de P(VAc-co-VA) dentro de una cámara refrigerada (10 ± 1.5 °C).

A continuación, se describen las determinaciones realizadas en los frutos, así como, los parámetros y variables estudiadas.

IV.4. Determinaciones en los frutos.

IV.4.1. Parámetros de calidad visual.

Para evaluar los parámetros de calidad o sensoriales, se elaboraron escalas arbitrarias, considerando los principales atributos de calidad visual de los frutos de pepino: deshidratación, cambio en el color/daño y calidad total.

IV.4.1.1. Deshidratación.

Para evaluar el parámetro de deshidratación se empleó la siguiente escala arbitraria con base en la rugosidad de la piel del fruto (Figura 5), donde:

- 5) Sin deshidratación.
- 4) Deshidratación ligera.
- 3) Deshidratación límite comercial o permisible.
- 2) Deshidratación grave.
- 1) Deshidratación extrema (Pésima calidad).



Figura 5. Escala arbitraria para la evaluación de la deshidratación en frutos de pepino (*Cucumis sativus*).

IV.4.1.2. Cambio en el color.

Para el parámetro cambio de color/daño en el fruto se utilizó la siguiente escala arbitraria, observando la variación de color verde oscuro a verde-amarillo (Figura 6), donde:

- 5) Sin cambios de color.
- 4) Cambio de color/daño ligero.
- 3) Cambio de color/daño limite comercial o permisible.
- 2) Cambio de color/daño grave.
- 1) Cambio de color/daño extremo.



Figura 6. Escala arbitraria para la evaluación visual del cambio del color en frutos de pepino (*Cucumis sativus*).

IV.4.1.3. Calidad general.

En la evaluación de calidad general de los frutos de pepino se utilizó la siguiente escala arbitraria, estableciendo un límite comercial permisible cuando el fruto raya amarillo (Figura 7), donde:

- 5) Excelente calidad.
- 4) Buena calidad.
- 3) Calidad limite comercial o permisible.

2) Grave disminución de calidad.

1) Pésima calidad.



Figura 7. Escala arbitraria para calificar de forma general la calidad de los frutos de pepino (*Cucumis sativus*).

IV.4.2. Parámetros físicos.

IV.4.2.1. Color.

Para evaluar el color se utilizó un colorímetro (HunterLab MiniScan EZ, modelo MSEZ-4500L) en escala CIELab obteniendo las coordenadas de L, a^* y b^* , siendo L=luminosidad, a^* = la desviación del eje de verde (-) a rojo (+) y b^* = desviación sobre el eje azul (-) a amarillo (+). Los datos fueron representados usando el programa *Color Express*.

IV.4.2.2. Pérdida de peso.

La pérdida de peso se evaluó con una balanza digital (OHAUS® CS Series), considerando el peso inicial y final de cada uno de los frutos. Los datos se expresaron en porcentaje con respecto al peso inicial (Esquivel *et al.*, 2006), según se indica en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ pérdida de peso} = ((PI - PF) / PI) * 100$$

ecuación 1

Donde:

PI= Peso inicial del fruto

PF= Peso final

IV.4.2.3. Firmeza (resistencia a la penetración).

Se empleó un texturómetro digital automatizado (TA.TX express modelo 2000) con una plataforma (SMS P/75) y un puntal o punzón de 2 mm de diámetro, obteniendo la fuerza aplicada en newtons (N). Los frutos fueron colocados de manera transversal, siendo perforados por el puntal en la zona media y obteniendo tres lecturas con perforaciones transversales equidistantes. La velocidad de perforación fue de 1 mm s⁻¹ a una penetración de 10 mm (Abdussamad *et al.*, 2016).

IV.4.3. Parámetros químicos.

Una vez realizadas las pruebas destructivas se separó la epidermis o exocarpio y la pulpa o mesocarpio del fruto, eliminando las semillas y la placenta. El exocarpio fue separado con ayuda de un pelador de frutos y el mesocarpio de todo el fruto fue molido para extraer el jugo, y realizar las siguientes determinaciones.

IV.4.3.1. pH.

Se determinó el pH en el jugo extraído del mesocarpio de pepino con un potenciómetro (Thermo Scientific ORION STAR A211) el cual fue calibrado previamente con las soluciones estándar (pH 4, 7 y 10).

IV.4.3.2. Sólidos solubles totales.

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó por el método de la AOAC, (1990) el cual se obtuvo colocando dos gotas de jugo extraído del mesocarpio de frutos de pepino en un refractómetro digital (Atago PAL-1, Atago Co, Ltd., Bellevue, WA, EUA), calibrado previamente con agua destilada. Los resultados se reportaron como grados Brix (°Brix: gramos de azúcar en 100 gramos de solución o por ciento en peso de azúcar).

IV.4.3.3. Acidez titulable.

Para determinar la acidez titulable (AT) se vertieron 1 mL de jugo de pepino y 2 gotas del indicador fenolftaleína. Se tituló la solución con NaOH 0.05 N agitando el contenedor hasta su viraje a color rosa, usando como referencia la NMX-F-102-S-1978. Los datos obtenidos se emplearon para calcular la AT con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido cítrico} = [(mL \text{ NaOH})(N \text{ NaOH})(meq \text{ del ácido cítrico})/(mL \text{ de la muestra})] \times 100$$

ecuación 2.

IV.4.3.4. Índice de madurez (relación SST/AT).

El índice de madurez (IM) se expresa como la relación entre los SST y la AT (SST/AT) según Rodríguez-Félix *et al.* (2001), el cual es un indicativo del estado de madurez y dulzor de los frutos.

IV.4.4. Determinación de compuestos bioquímicos y antioxidantes.

IV.4.4.1. Clorofilas a, b y totales.

Se determinó el contenido de clorofilas a, b y totales mediante la técnica descrita por Sumanta *et al.* (2014). Para ello se pesó por separado 300 mg del exocarpio (cáscara) y/o 300 mg del mesocarpio (pulpa) de pepino, y se extrajeron los pigmentos con una solución de metanol al 80 % (4 °C), los cuales se mantuvieron en oscuridad. Las muestras se agitaron por 5 min en el vortex. Una vez pasado este tiempo, las muestras se centrifugaron para eliminar los restos de tejido a 15,000 rpm por 10 min a 4 °C (Z 36 HK, Hermle, Alemania). Se midió la absorbancia a 652.4 y 665.2 nm de longitud de onda, en un espectrofotómetro (UV/Visible Jenway serie 7305, UK) y se calcularon las concentraciones de clorofila de acuerdo a las siguientes ecuaciones (3-4):

$$C_a = 16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4} \quad \text{ecuación 3.}$$

$$C_b = 34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2} \quad \text{ecuación 4.}$$

$$CI \text{ Total} = CI a + CI b \quad \text{ecuación 5.}$$

Donde:

C_a = Clorofilas *a*

C_b = Clorofilas *b*

Cl Total= Clorofilas totales

A=Absorbancia

Los resultados fueron expresados como μg de clorofila g^{-1} de peso fresco.

IV.4.4.2. Compuestos fenólicos totales.

Para la determinación de compuestos fenólicos totales, se pesaron 300 mg de muestra, la cual fue puesta durante 24 h en metanol al 80 %, en refrigeración y protegida de la luz. Al cumplirse el tiempo de reposo, se agitó con un vortex y se centrifugó a 15,000 rpm durante 10 min. Para la mezcla de reacción se emplearon 100 μL del sobrenadante, 500 μL de reactivo Folin-Ciocalteu (1:10 v/v en agua) y 400 μL de carbonato de sodio al 7.5 %. La mezcla de reacción se dejó incubar durante 1 h a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro (UV/Visible, Jenway serie 7305, UK). Se realizó una curva patrón de ácido gálico y los resultados fueron expresados como μg equivalentes de ácido gálico (EAG) g^{-1} de peso fresco.

IV.4.4.3. Capacidad antioxidante total.

Para la determinación de la capacidad antioxidante total se empleó 2,2-difenil-2-picril-hidracil (DPPH) a 0.125 mM en metanol. Se pesaron 300 mg de muestra y se añadió metanol al 80 % (2 mL) para generar un extracto el cual se incubó durante 24 h a 4 °C. Posteriormente, se agitó con un vortex durante 5 min y se centrifugó a 15,000 rpm a 4 °C durante 10 min. La mezcla de reacción consistió en 100 μL del extracto vegetal (obtenido del exocarpio y mesocarpio) y 900 μL de la solución de DPPH. Después de 15 min de incubación se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro (UV/Visible Jenway, serie 7305, UK). Se llevó a cabo una curva patrón de ácido gálico para reportar los resultados como μmoles EAG g^{-1} de peso fresco.

IV.5. Diseño experimental y análisis estadístico.

Para los parámetros de calidad visual, físicos y químicos, el diseño experimental fue completamente al azar, donde se emplearon tres frutos por triplicado ($n=9$) por tratamiento y por cada día de muestreo (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 24 días de almacenamiento), requiriendo un total de 369 frutos. Para pérdida de peso se contó con una $n=9$ por cada tratamiento, requiriéndose un total de 45 frutos adicionales. Sumando un total de $N=414$ frutos de pepino con la mejor calidad poscosecha posible.

Debido a la propia naturaleza de los datos en las escalas de calidad (5-1) donde no pueden cumplir los supuestos, los resultados fueron transformados a base logarítmica ($[\log(x + 1)]$) para poder analizarlos.

El diseño para el análisis de clorofilas (*a*, *b* y totales), compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total fue empleando tres frutos por triplicado ($n=9$) por tratamiento y por los siguientes días de muestreo (0, 6, 12, 18 y 24 días de almacenamiento) en exocarpio y mesocarpio de pepino. Para todos los diseños mencionados, los frutos del día 0 son frutos antes de la aplicación de los tratamientos o frutos recién cosechados.

Una vez obtenidos los resultados de las diferentes determinaciones, se evaluaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad. El análisis de las variables se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparaciones de Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico NCSS 2007 (Hintze, 2006) para determinar la diferencia entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento, cuyos resultados son presentados en los anexos. Debido a que se busca obtener evidencia de la diferencia entre tratamientos, no se consideró el análisis por día de muestreo sino a lo largo de todo el periodo de almacenamiento según los diseños antes descritos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Efecto de la adición de las CaO-NP sobre el látex de P(VAc-co-VA).

V.1.1. Diámetro de partícula mediante dispersión de luz.

En pruebas previas del diámetro de partícula de las NP de calcio (CaO-NP) en solución y diferentes tensoactivos (Tween 20, Tween 80 y etanol) las CaO-NP mostraron comportamientos de aglomeración y sedimentación; mientras que el uso de glicerol mantuvo suspendidas a las NP. Por lo anterior, se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de glicerol, siendo glicerol al 0.1 % la concentración que permitió mantener dispersas las NP. El alcohol tiene afinidad con el calcio (Ca^{2+}) como medio dispersante, Michalopoulou *et al.*, (2020) reportaron que NP de hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ forman aglomerados de 50 a 600 nm en soluciones acuosas empleando diferentes alcoholes como medio dispersante. Mediante dispersión de luz se obtuvo el diámetro promedio de las partículas del látex de P(VAc-co-VA) y del látex de P(VAc-co-VA) adicionado con CaO-NP a diferentes concentraciones para su reporte. Al ser un látex, éste tiene partículas, las cuales se modifican al agregarles las NP (CaO-NP). El diámetro de partícula osciló entre 153 a 268 nm (Tabla 1). Las partículas mantuvieron su tamaño en cada látex a diferentes concentraciones de CaO-NP durante al menos 7 días después de su elaboración (Tabla 1).

Tabla 1. Diámetro promedio de partícula (nm) de los látex de P(VAc-co-VA) sin y con CaO-NP a diferentes concentraciones y en diferentes tiempos.

Días transcurridos desde su elaboración	Látex sin CaO-NP	Látex + 50 ppm CaO-NP	Látex + 100 ppm CaO-NP	Látex + 150 ppm CaO-NP
1	*	153	216	192
2	*	158	*	*
3	215	167	232	*
4	268	*	223	*
5	245	*	*	*
6	215	*	*	*
7	*	*	*	192
9	*	165	*	*
10	*	*	216	*
12	215	*	*	*

CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. * Sin lectura o medición.

V.1.2. Incorporación o presencia de CaO-NP en el látex de P(VAc-co-VA).

Mediante SEM se confirmó la incorporación, presencia y dispersión de las CaO-NP en películas del látex usado como recubrimiento, también se observó que las CaO-NP tienden a formar aglomerados con dimensiones >200 nm. A continuación, se presentan una serie de imágenes (Figuras 8-11), en donde se aprecia el tamaño de los aglomerados, la sedimentación o tendencia de estos aglomerados a posicionarse cerca a la base en donde se encontraría el fruto y la dispersión que las CaO-NP presentan en los látex.

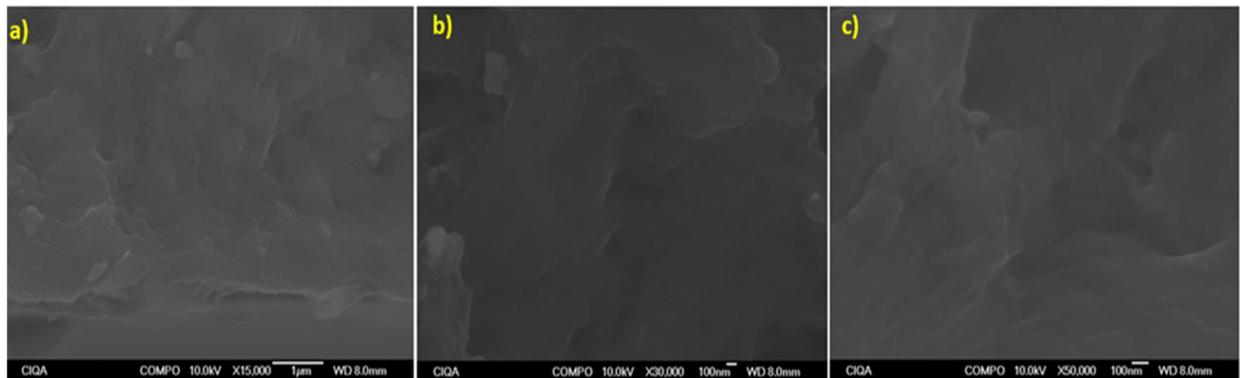


Figura 8. Análisis de la película de látex (solo) sin CaO-NP mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X15000, b) X30000 y c) X50000. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio.

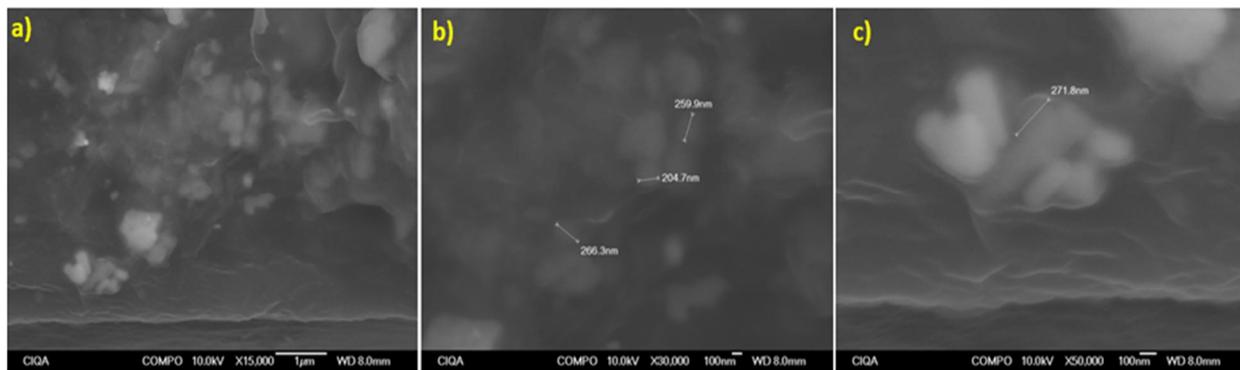


Figura 9. Análisis de la película de Látex + CaO-NP 50 ppm, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X15000, b) CaO-NP (259.9 nm, 204.7 nm, 266.3 nm) a X30000 y c) CaO-NP (271.8 nm) X50000. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio.

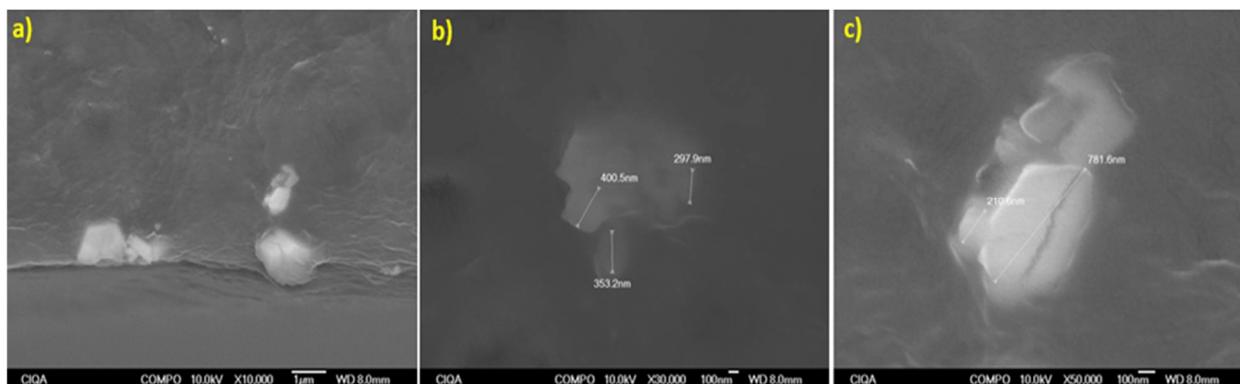


Figura 10. Análisis de la película de látex + CaO-NP 100 ppm, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X10000, b) CaO-NP (297.9 nm, 400.5 nm, 353.3 nm), X30000 y c) CaO-NP (781.6 nm, 210.6 nm), X50000. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio.

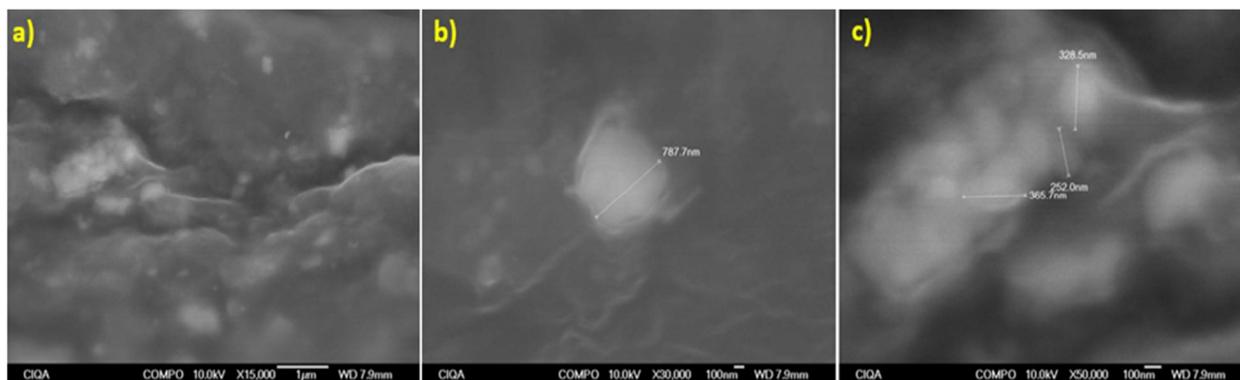


Figura 11. Análisis de la película de látex + CaO-NP 150 ppm, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). a) X15000, b) CaO-NP (787.7 nm), X30000 y c) CaO-NP (328.5 nm, 252.0 nm, 365.7 nm), X50000. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio.

Como se mencionó anteriormente, pudo observarse mediante SEM que las CaO-NP tienden a asentarse hacia la zona del látex más cercano al fruto (Figuras 9A, 9C y 10A), donde hay una línea horizontal correspondiente al límite inferior de la película de látex. Un comportamiento similar reportaron Michalopoulou *et al.*, (2020) sobre la formación de conglomerados y deposición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -NP. Así mismo, durante el desarrollo del experimento se observó que el látex adicionado con CaO-NP presentaba características de adherencia diferentes al látex (solo) después de su aplicación en los frutos y durante todo el almacenamiento, durante el cual, el secado fue más rápido y con menor efecto de la humedad sobre él (sin datos mostrados). La humedad durante el almacenamiento es un problema para la conservación de las características del látex, éste se vuelve viscoso y pegajoso, lo que complica el almacenamiento y manipulación de los frutos poscosecha.

Rahmat *et al.* (2009) reportaron que los componentes del P(VAc-co-VA) presentan el problema de falta de resistencia a la humedad; lo cual ocurre para el látex de P(VAc-co-VA) utilizado en este trabajo. Por lo que, eliminar este problema representaría una ventaja importante para el uso del látex de P(VAc-co-VA) como tratamiento poscosecha. Recientemente, se ha demostrado que las partículas nanométricas mejoran propiedades mecánicas de los polímeros (Molki *et al.*, 2018). Por lo tanto, la adición de CaO-NP puede tener efecto positivo en las propiedades del P(VAc-co-VA), ya que se observaron diferencias de adherencia, tales como menor efecto de la humedad (la cual genera que el látex se vuelva viscoso o pegajoso y pierda su apariencia como recubrimiento) sobre el material adicionado con CaO-NP una vez aplicado en los frutos de pepino y durante el almacenamiento.

Por otra parte, Tang *et al.* (2013) indican que, un atributo de las CaO-NP es su acción antibacteriana a una concentración de 100 ppm, y tiene potencial en el área de alimentos. Ro *et al.* (2015), reportan pruebas con CaO-NP en empanadas de carne, y se observó inhibición del crecimiento de patógenos. La actividad antimicrobiana de las CaO-NP se debe a las especies reactivas de oxígeno (ERO); cuando se generan aniones superóxido aumenta el estrés oxidativo, además que se modifica el pH por la hidratación del CaO (Dizaj *et al.*, 2014). Existen reportes que indican que los compuestos usados en alimentos reflejan mayor reactividad, mejor biodisponibilidad y desplazamiento debido a su escala nanométrica (Acevedo-Fani *et al.*, 2017). Por lo que el uso de compuestos de calcio a escala nanométrica podría tener ventajas en su aplicación en el área de poscosecha y, aplicados en el látex de P(VAc-co-VA) podría mejorar las propiedades de éste como recubrimiento de frutos poscosecha. Como información adicional, los reportes del uso de compuestos de calcio como NP en pre-y poscosecha son muy pocos.

Con los resultados anteriores, al asegurar la presencia, dispersión y tamaño de las CaO-NP, se espera que las CaO-NP adicionadas en los recubrimientos sean capaces de interactuar con la superficie del fruto para mejorar la firmeza, presentar actividad antibacteriana y otros efectos positivos que puedan generar en los frutos. Naveena *et al.* (2017, 2019) reportaron que al utilizar cloruro de calcio como tratamiento poscosecha de pepino, el Ca^{2+} mejora la cohesión de las paredes celulares, retrasando la maduración y, por tanto, prolongando la vida útil a los frutos. Sin embargo, el cloruro de calcio se ha

asociado a sabores amargos por lo que Martin *et al.* (2007) recomiendan al lactato de calcio como alternativa en tratamientos poscosecha, teniendo como efecto benéfico la reducción de la tasa respiratoria de frutos mínimamente procesados. En este trabajo no fue posible determinar si el calcio es capaz de unirse a las paredes celulares del fruto o movilizarse a través del látex, pero Deepa *et al.* (2014) reportaron la translocación de las CaO-NP a través del floema en plantas de cacahuete con aplicación foliar de éstas, lo cual tuvo efectos positivos sobre las plantas (corrigieron la deficiencia de calcio, incrementó la tasa de germinación y crecimiento). Por lo que el calcio a nivel nanoescala es capaz de trasladarse por la planta, aunque no existen reportes de su uso y movilidad en recubrimientos como tratamientos poscosecha.

El calcio (Ca^{2+}) actúa mediante la formación de enlaces cruzados dentro de la matriz de pectina dando rigidez a la membrana, mejorando la calidad de la fruta producida; adicionalmente, confiere resistencia a enfermedades bacterianas y virales (Usten *et al.*, 2006); esto permite mantener la firmeza y disminuir la senescencia de los frutos. Es por lo anterior que se realizaron diferentes pruebas tanto a las características del látex como a la calidad poscosecha de los frutos de pepino, los cuales se presentan a continuación, a fin de poder conocer el posible efecto o acción de las CaO-NP adicionadas en los recubrimientos.

V.1.2.1. Reología/viscosidad.

La Figura 12 muestra los reógramas del látex sin CaO-NP y adicionado con CaO-NP a diferentes concentraciones (50, 100 y 150 ppm). Por el comportamiento, se trata de fluidos típicamente no newtonianos. Todos los látex presentan un comportamiento pseudoplástico (Figura 12A).

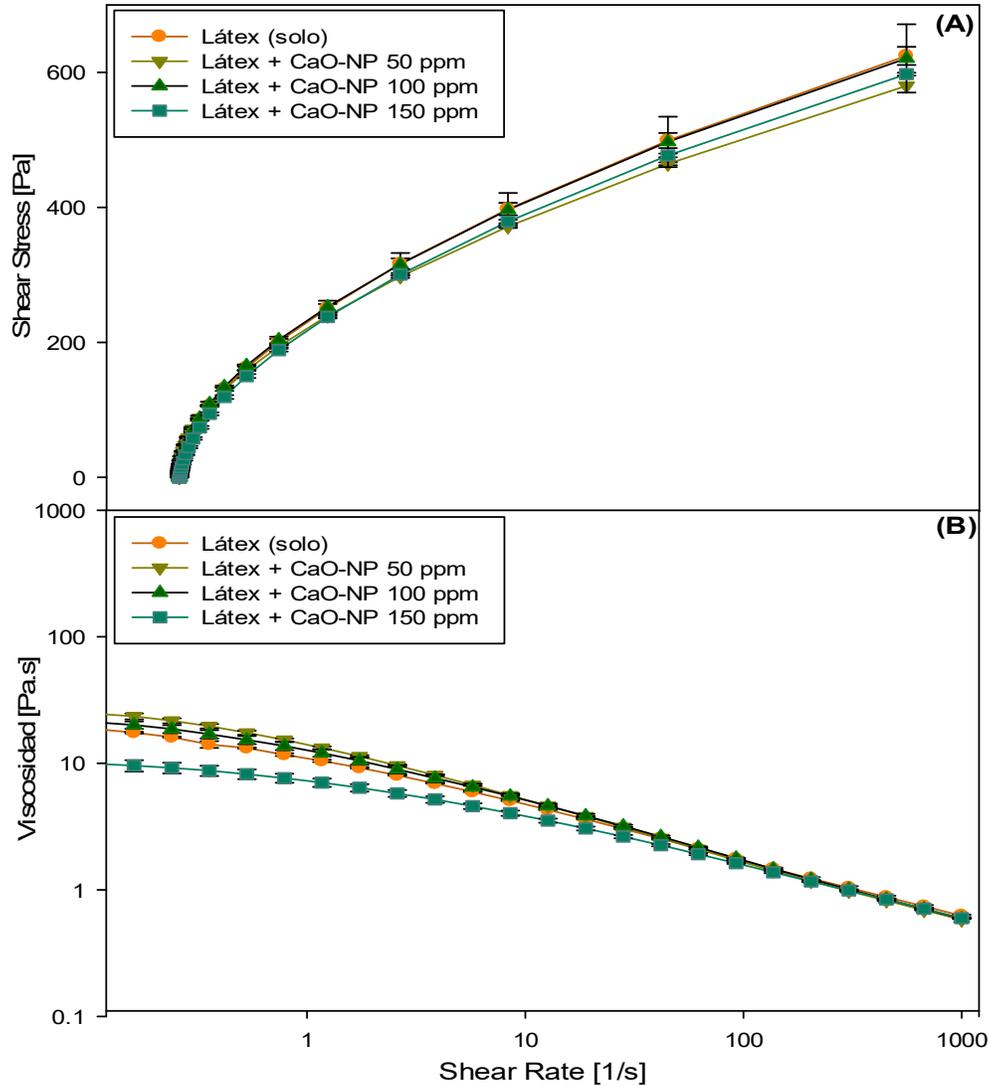


Figura 12. Esfuerzo de corte (A) y viscosidad aparente (B) en función a la tasa de corte de los recubrimientos de látex (sin CaO-NP) y CaO-NP (50, 100 y 150 ppm). CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio.

El comportamiento del flujo de los látex en función del esfuerzo aplicado se manifiesta como de adelgazamiento, es decir, a medida que se aumenta el esfuerzo de corte la viscosidad aparente disminuye (Figura 12B); lo cual es deseable al momento de aplicación de los recubrimientos. El látex que presenta menor resistencia a la deformación es el Látex + CaO-NP 150 ppm, mientras que Látex (solo) y a menor concentración de CaO-NP (50 y 100 ppm) tienen mayor viscosidad aparente (Figura 12B). Ya que la viscosidad del Látex + CaO-NP 150 ppm es menor en comparación con el resto de los látex (Figura 12B).

El PVA es un polímero con ventajas para su uso como recubrimiento, ya que puede estar en contacto con los alimentos. Liu *et al.* (2014) indicaron que el PVA tiene propiedades de barrera, sin embargo, también alta absorción de agua, haciendo deficiente la protección en condiciones de humedad relativa alta (60-90 %; Li *et al.*, 2018). Durante el desarrollo de este trabajo, no se apreciaron modificaciones del látex de P(VAc-co-VA) adicionado con CaO-NP en comparación con el látex de P(VAc-co-VA) solo, al menos visualmente (observaciones sin datos mostrados), a pesar de transcurrir 24 días en condiciones de alta humedad relativa; posible efecto de la adición de CaO-NP, al mejorar la reticulación y estructura del PVA como lo reportaron Wang *et al.* (2016) al adicionar calcio (Ca^{2+}) en una mezcla de PVA + goma gellan. Con el fin de mejorar las propiedades de diferentes materiales se ha reportado mezclas de PVA con ácido cítrico (Zhan *et al.*, 2014), almidón (Rahmat *et al.*, 2009), con nanomateriales como nanocristales de celulosa (Pereira *et al.*, 2014) y NP de óxido de zinc (ZnO-NP). Estas últimas no tuvieron efecto en el comportamiento reológico ni la viscosidad del PVA (Pulit-Prociak *et al.*, 2018). En cuanto a la adición de CaO, Hattab *et al.* (2020) elaboraron un polvo nanobiocerámico compuesto por óxido de circonio (ZrO_2), óxido de calcio (CaO) y óxido de titanio (TiO_2), el cual fue añadido a poli(metacrilato de metilo) (PMMA) para reforzarlo, obteniendo mejoras tanto en los nanocompuestos como en el polímero respecto a sus propiedades térmicas. La incorporación de NP o nanocompuestos para mejorar propiedades del PVA es una excelente opción debido a los procesos sencillos de elaboración, disponibilidad de materia prima y el bajo costo, según lo indican Liu *et al.* (2014). Por lo anterior, se esperaba la mejora y modificación de los diferentes látex de P(VAc-co-VA) empleados debido a la adición de las CaO-NP, con lo cual se busca mejorar las propiedades de este látex [P(VAc-co-VA)] para su aplicación en productos poscosecha, la cual implica condiciones de almacenamiento de alta humedad.

V.2. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre los parámetros de calidad visual en frutos de pepino poscosecha.

V.2.1. Deshidratación.

Respecto a la evaluación del parámetro de deshidratación en los frutos poscosecha con el uso de una escala arbitraria, los resultados obtenidos se muestran en

la Figura 13, los cuales no muestran diferencias significativas entre tratamientos considerando todo el tiempo de almacenamiento ($p > 0.05$, Anexo 1, Figura 13). Al observar solo los resultados del día 24 (al final del almacenamiento), se observa que los tratamientos que permitieron obtener valores aceptables en la escala de deshidratación de los frutos de pepino fueron los tratamientos de Testigo (sin látex), seguido por Látex + CaO-NP 150 ppm; mientras que el valor menor de la escala correspondió a Látex (solo).

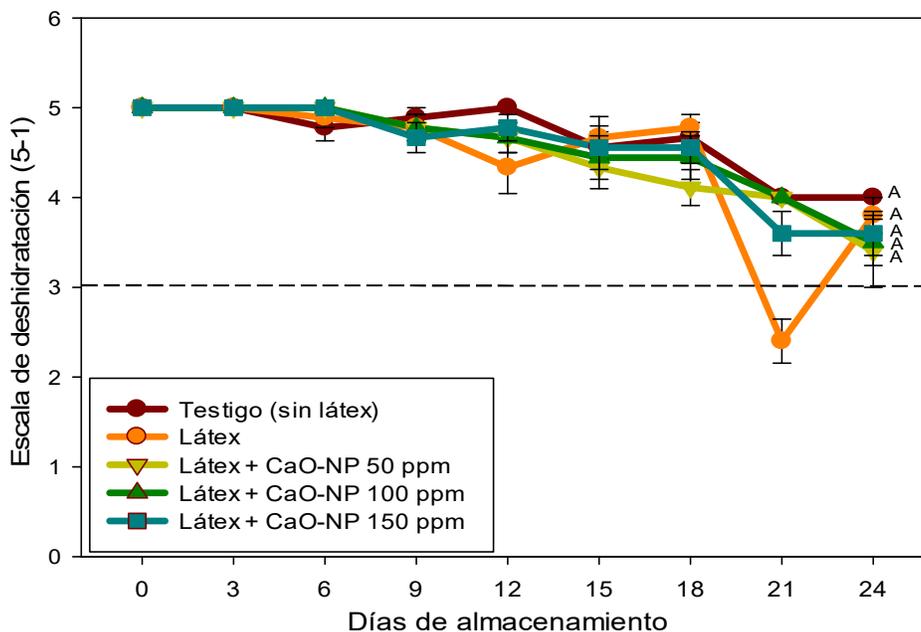


Figura 13. Evaluación de la deshidratación mediante una escala arbitraria del 5-1, donde, 5=sin deshidratación, 3=límite comercial o permisible (línea punteada) y 1=deshidratación extrema en frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de muestreo almacenados a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

La mayoría de los frutos de pepino bajo los diferentes tratamientos, aún después de 24 días de almacenamiento, se encontraron dentro del límite de deshidratación permisible (valores superiores a 3 en la escala arbitraria), excepto los frutos correspondientes al tratamiento de Látex (solo) (valor inferior a 3 en la escala arbitraria, Figura 13). En los primeros nueve días de almacenamiento no se presentó deshidratación en los frutos; los cambios fueron perceptibles a partir del día 15 de almacenamiento (Figura 13). Todos los frutos, aún después de 24 días, seguían presentando buena calidad visual incluso para

ser comercializados. Estos resultados indican que el cultivo fue cuidado adecuadamente y que el manejo poscosecha también fue apropiado en este experimento.

Los frutos y vegetales son productos altamente perecederos, por lo cual tienen grandes pérdidas durante el almacenamiento poscosecha, debido a reacciones como respiración, producción de etileno y senescencia (Thakur *et al.*, 2018; Yan *et al.*, 2019). Este metabolismo produce cambios en la apariencia y textura de los frutos, lo cual se aprecia en pepino como deshidratación, generando frutos rugosos y flácidos. Estos fenómenos se propician por las condiciones de almacenamiento y su fisiología propia, así como, la pérdida de agua, textura, color y nutrientes durante el proceso de almacenaje (Thakur *et al.*, 2018; Yan *et al.*, 2019). Los frutos de pepino variedad Induran no mostraron cambios que nos permitieran determinar diferencias entre los tratamientos, en cuanto a su apariencia visual determinada como deshidratación o daño durante todo el almacenamiento a 10 °C. Por lo anterior, la calidad visual de los frutos no fue modificada durante los 24 días de almacenamiento en todos los tratamientos y controles aplicados, permitiendo mantener frutos comerciables debido al procesamiento, manejo y condiciones de almacenamiento, pese a que los frutos de pepino son altamente perecederos.

V.2.2. Cambio en el color.

Respecto a la evaluación del cambio en el color o daño del exocarpo de los frutos, los datos obtenidos no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$, Anexo 2, Figura 14). Respecto al comportamiento de los datos durante el almacenamiento se observa que, durante los primeros 18 días de almacenamiento no se presentó el amarillamiento típico de los frutos de pepino (Figura 14). En este parámetro (cambio de color), se alcanzaron hasta 24 días de almacenamiento dentro del límite considerado como permisible (valor 3 en la escala arbitraria, Figura 14). Los frutos aún mantenían su calidad y color presentando un mínimo de daño y/o cambio que pudiera indicar síntomas de senescencia. Como se mencionó anteriormente, los pigmentos o clorofilas se degradan durante la senescencia de los frutos de pepino, por lo cual se produce su amarillamiento durante su almacenamiento; esto último no se apreció durante el desarrollo de este trabajo.

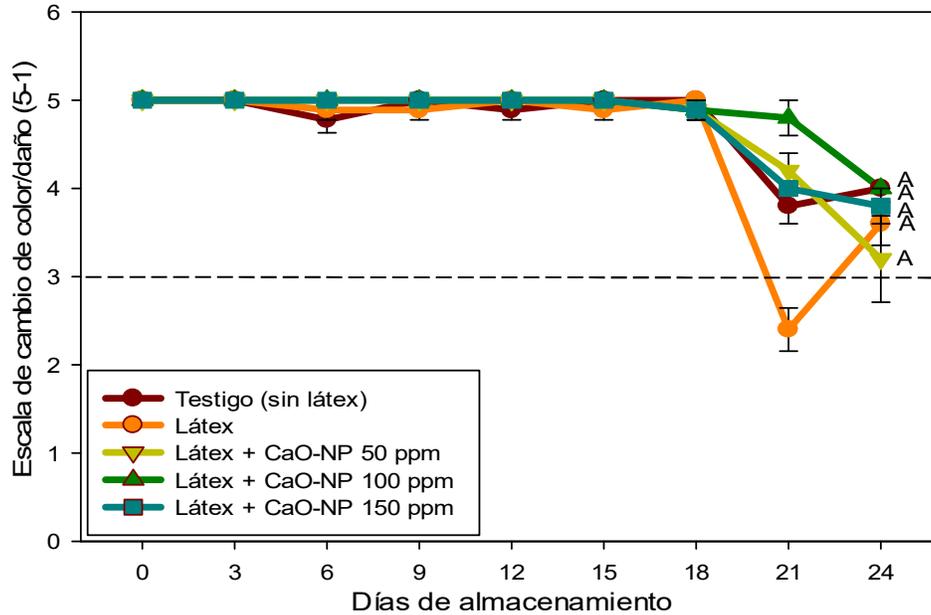


Figura 14. Evaluación del cambio de color o daño mediante una escala arbitraria del 5-1, donde, 5=sin cambio de color/daño, 3=limite comercial o permisible (línea punteada) y 1=cambio de color/daño extremo en frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de muestreo almacenados a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Manjunatha *et al.* (2012) reportaron que la conservación del color verde en frutos se logra mediante el almacenamiento en cuarto frío y en ausencia de luz; similar a lo que pudimos apreciar en los frutos de pepino mediante la escala de color en los frutos tratados con recubrimientos y sus controles, debido al almacenamiento en refrigeración (10 °C) y oscuridad. Adicionalmente, Yang *et al.* (2012) reportaron que el calcio regula la activación de genes responsables del cambio de color del pericarpio de frutos durante la maduración, observado tanto en frutos climatéricos como no climatéricos. Por lo que se esperaba hubiera cambios en el color en los frutos de pepino tratados con recubrimientos adicionados con CaO-NP, sin embargo, este cambio de color no fue observable. Dhall *et al.* (2011) indican que el cambio de color verde-amarillo se debe a la disminución del contenido de clorofilas en pepinos recubiertos, presentando mayor amarillamiento los frutos sin recubrir. Por lo que se esperaba observar la pérdida del color verde y un incremento en el color amarillo del exocarpo del pepino, debido a que de forma visual

mediante las escalas arbitrarias no fue posible apreciar estos cambios, es necesario realizar mediciones adicionales a la percepción visual para determinar si existen o no cambios en el color que no se hayan podido apreciar y las cuales se describen más adelante mediante el uso del colorímetro en escala CIELab y la determinación de contenido de clorofilas.

V.2.3. Calidad general.

Respecto a la evaluación de calidad general de los frutos de pepino tratados con diferentes recubrimientos, los resultados obtenidos se representan en la Figura 15. En ella, se observa que no existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$, Anexo 3).

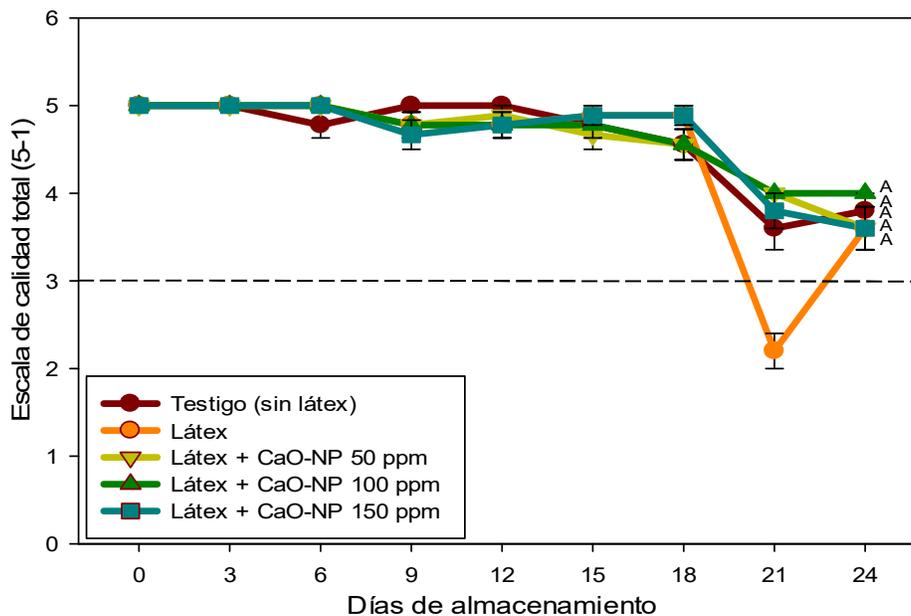


Figura 15. Evaluación de la calidad general mediante una escala arbitraria del 5-1, donde, 5=excelente calidad, 3=limite comercial o permisible (línea punteada) y 1=pésima calidad en frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de muestreo almacenados a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

La percepción de calidad comenzó a modificarse a partir del día 6 de almacenamiento, sin embargo, los mayores cambios ocurrieron hasta el día 18 de almacenamiento. Para el día 21 se observa una grave disminución en cuanto al valor de calidad general, que

para la evaluación de este parámetro se incluía la percepción de deshidratación (Figura 13) y cambio de color/daño (Figura 14), esto se debe a que las pruebas realizadas cada tres días fueron destructivas, por lo que los frutos correspondientes este día, presentaban un mayor deterioro que el resto de los frutos. A pesar de ello, todos los frutos bajo los diferentes tratamientos se mantuvieron dentro de los límites permisibles con respecto a su calidad total comerciable durante los 24 días de almacenamiento (Figura 15). Esto indica que las condiciones, procesamiento y manejo desde cultivo fueron capaces de generar frutos de excelente calidad y mantenerla durante todo el almacenamiento.

Algunos autores afirman que la calidad poscosecha solo puede preservarse, mas no mejorarse (Fallik e Ilic, 2018). Por lo tanto, preservar compuestos nutricionales valiosos es el objetivo de aplicar tratamientos poscosecha, adicionalmente tener presente que variables sensoriales (apariencia) es crucial para la aceptabilidad de los consumidores (Aked, 2002). Con las evaluaciones mediante escalas arbitrarias en este trabajo no se logró observar cambios en la apariencia visual de los frutos con los diferentes recubrimientos adicionados con CaO-NP, por lo que la calidad de los frutos se mantuvo durante todo el almacenamiento, así mismo, la aplicación de los recubrimientos no disminuyó o modificó la calidad de los frutos.

El uso de este recubrimiento [látex de P(VAc-co-VA)] ha sido reportado por Ortiz (2013) como benéfico para la apariencia y calidad de frutos. Existen ensayos en ratas donde mencionan que el componente PVA del látex de P(VAc-co-VA) no tiene efectos tóxicos o cancerígenos (Rodwell *et al.*, 2003), por lo que el látex puede emplearse como un recubrimiento para alimentos de origen vegetal sin restricciones. Mientras que Tang *et al.* (2013) indica que las CaO-NP tienen propiedades antibacterianas; lo que podría darle nuevas propiedades al recubrimiento de látex de P(VAc-co-VA). Los resultados reportados por estos investigadores, explicarían en parte, porque los frutos de pepino mantuvieron un estatus de buena calidad después de 24 días almacenados y sin presencia visual de microorganismos. Sin embargo, los frutos de pepino del grupo Testigo (sin látex) también mantuvieron su calidad poscosecha durante el mismo periodo de almacenamiento; lo cual estaría indicando que el manejo pre- y poscosecha de estos frutos fue el adecuado para mantener la calidad durante todo el almacenamiento.

V.3. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre los parámetros físicos en frutos de pepino poscosecha.

V.3.1. Color.

En la Figura 16, se muestran los resultados de *L* (luminosidad), en donde se observan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 4). La aplicación de látex visiblemente presenta mayor luminosidad en los frutos con respecto a los frutos del tratamiento Testigo o frutos no tratados, siendo el tratamiento de Látex + CaO-NP 100 ppm el que permitió tener frutos con valores mayores de *L* durante todo el periodo de almacenamiento ($p < 0.05$, Anexo 4, Figura 16), esto debido posiblemente a la senescencia de los frutos y a la variación del color en el exocarpio (cáscara) mostrando un verde más claro (Tabla 2). Esto puede observarse con la diferencia entre los frutos iniciales y los cambios observados al día 3 de almacenamiento (Figura 16), donde los frutos del tratamiento Testigo (sin látex) presenta valores más bajos en comparación con los tratamientos de Látex + CaO-NP 100 ppm, Látex (solo) y Látex + CaO-NP 50 ppm.

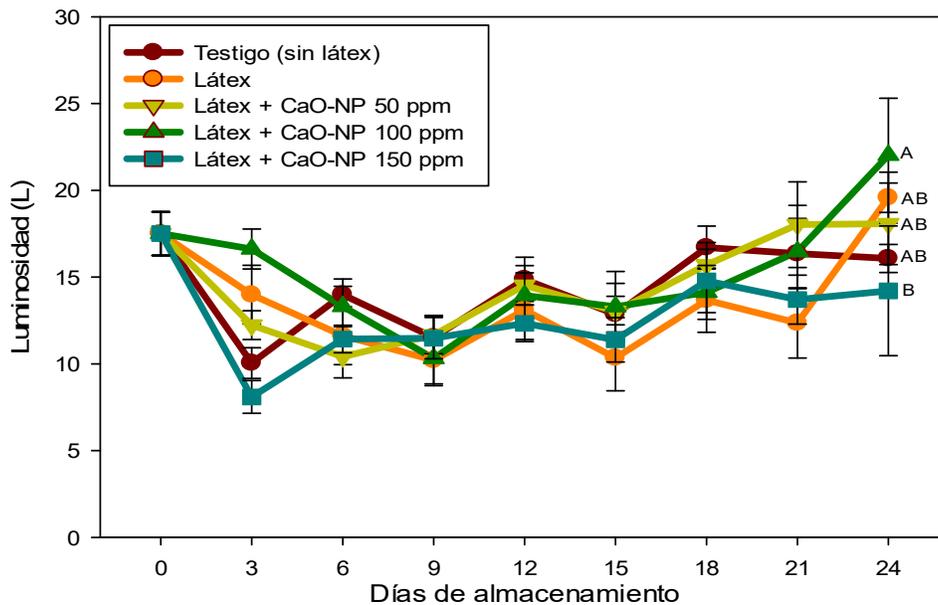


Figura 16. Valores de *L* (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Durante el almacenamiento, los valores de L disminuyen desde el día 6 hasta el día 15; a partir del día 18 estos valores vuelven a incrementar. Al final del almacenamiento (día 24), los valores de L siguen siendo mayores en los frutos tratados con Látex + CaO-NP 100 ppm, principalmente, y seguido de los tratamientos de Látex (solo), Látex + CaO-NP 50 ppm y Testigo (sin látex) (Figura 16). Los cambios en L nos indican cambios de color, entre mayor sea el valor de L mayor será la luminosidad o claridad del color.

En la Figura 17, se reportan los resultados obtenidos respecto al parámetro a^* [a^* = variación de un eje de verde (-) a rojo (+)], los cuales indican que hubo diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 5). Los frutos tratados con Látex + CaO-NP 100 ppm presentaron los valores mayores (más cercanos al cero) en la coordenada a^* , mientras que el Testigo (sin látex) y Látex + CaO-NP 150 ppm presentaron valores más pequeños (más alejados del cero) ($p < 0.05$, Anexo 5, Figura 17).

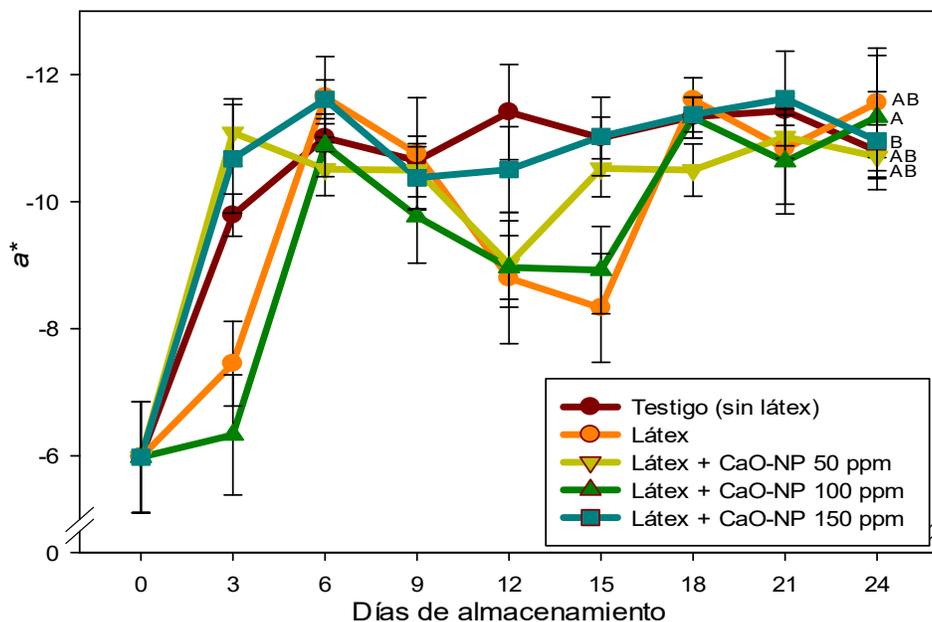


Figura 17. Valores de a^* [a^* = variación de color de un eje de verde (-) a rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de pepino bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Respecto a los días de almacenamiento, los resultados de a^* muestran valores más positivos los primeros días de muestreo (día 0 y 3; Figura 17). Estas variaciones en los

valores de a^* nos indican cambios en el color, donde los frutos con valores mayores presentaron un color verde ligeramente más claro que los que obtuvieron valores negativos (más alejados del cero), conservando el color verde.

En la Figura 18, se aprecian diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 6) entre los tratamientos para el parámetro b^* , el cual indica una variación de color de un eje azul (-) a amarillo (+). Los resultados de las diferencias entre tratamientos indican que los valores más altos de b^* durante el almacenamiento fue en el Testigo (sin látex) ($p < 0.05$, Anexo 6, Figura 18), es decir, frutos con mayor cambio de color. Los valores del parámetro de color b^* incrementa según aumentan los días de almacenamiento (días: 18, 21 y 24), lo que nos estaría indicando valores más amarillos y posiblemente la senescencia de los frutos (Figura 18).

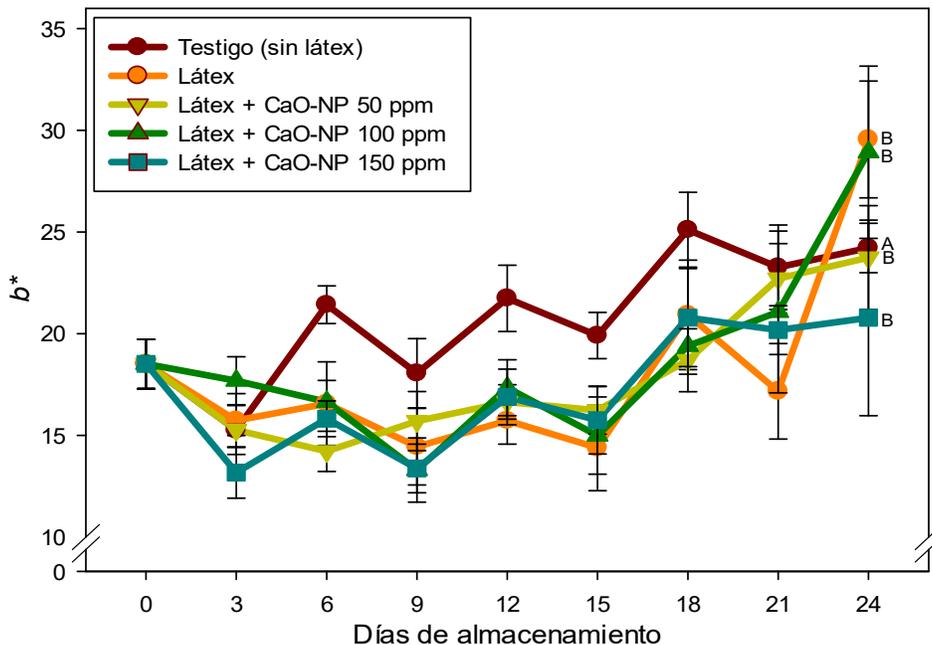


Figura 18. Valores de b^* [b^* = variación de color de un eje azul (-) a amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de pepino bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Los cambios en los parámetros L , a^* y b^* en conjunto, nos indican cambios en el color de los frutos. Por lo que, para poder observar estos cambios, se utilizó el programa *Color*

Express como ayuda visual de la interpretación de los valores de las diferentes coordenadas obtenidas. En la Tabla 2 se muestra el cambio de color que presentaron los frutos de pepino según el tratamiento aplicado y el tiempo en días de almacenamiento a 10 °C. Se tomaron datos de los días 0, 6, 12, 18 y 24 para representar el tiempo de almacenaje para cada uno de los tratamientos aplicados. Pese a que esto permite observar (Tabla 2) que los cambios en a^* y b^* (Figuras 17 y 18) para los frutos tratados con Látex (solo) y Látex + CaO-NP 100 ppm generan frutos de color verde ligeramente más claro en comparación con el resto de los tratamientos, esto no pudo ser observable mediante la escala arbitraria (Figura 5) de cambios de color para el tratamiento de Látex (solo) (Figura 14), por lo que la medición menos subjetiva de los valores de color es importante. Ya que, mediante el colorímetro, los frutos tratados con el Testigo (sin látex) mostraron un color más amarillo dando un color verde claro al final del almacenamiento y en comparación con el resto de los tratamientos.

Tabla 2. Representación visual de los datos de color según los valores obtenidos de L , a^* y b^* en frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C.

	Muestra	Frutos de pepino				
Tratamientos	Días	0	6	12	18	24
Testigo (sin látex)						
Látex						
Látex + CaO-NP 50 ppm						
Látex + CaO-NP 100 ppm						
Látex + CaO-NP 150 ppm						

CaO-NP =nanopartículas de óxido de calcio. Colores obtenidos mediante del software *Color Express*.

Manjunatha *et al.* (2014) en un estudio con pepinos recubiertos con una combinación de quitosano-limoneno reportaron valores de L más altos por efecto de luz y acumulación de agua en la superficie; sin embargo, en nuestros resultados la tendencia de los datos es a presentar una menor luminosidad a mayor concentración de CaO-NP, aunque sin obtener diferencias significativas entre tratamientos.

Los cambios mínimos en las tonalidades del fruto se deben a un lento proceso de maduración, donde la clorofila se descompone y se genera poca cantidad de carotenos por la luz como lo describen Castellanos *et al.* (2016). Las variaciones en a^* y b^* fueron suficientes para denotar cambio de color en los frutos del Testigo (sin látex) mediante la escala CIELab. Al respecto de los cambios en el color de los frutos durante la poscosecha, Waliszewski *et al.* (1999) indicaron que el color marrón en pepinos

recubiertos fue a causa de la presencia de feofitina (derivado de la conversión de la clorofila) en mayor nivel de CO₂, generando una apariencia visual de un color verde oscuro debido al aporte de color de los compuestos color marrón. Franck *et al.* (2003) mencionan que el trastorno de ennegrecimiento en la poscosecha es por varios factores precosecha, como las condiciones climáticas, la carga del cultivo y su manejo. Sin embargo, pese a los tratamientos, manejo poscosecha y largo periodo de almacenamiento, todos los frutos de pepino de este trabajo no presentaron ni ennegrecimiento ni el amarillamiento típico de los pepinos durante su poscosecha.

En la etapa de maduración y senescencia, los factores imperativos en la variación del color son el contenido fenólico y la actividad de la polifenol oxidasa (PPO) (Lo'ay y Dawood, 2017). Por lo que la baja actividad de PPO o el contenido sin variación de fenoles permitió que el cambio en el color de los frutos de pepino fuera poco perceptible; siendo esto un factor importante para el consumidor. Dong *et al.* (2004) y Jiang *et al.* (2005) reportaron que con el uso de un recubrimiento de quitosano sobre frutos de litchi en almacenamiento refrigerado, hubo inhibición de la actividad de las enzimas PPO y peroxidasas (POX). En mango se observó que las Ca-NP pueden ser compatibles con la membrana de las células plasmáticas (lípidos y proteínas), durante el almacenamiento en frío (Lo'ay, 2005), contrarrestando las ERO al potencializar sistemas antioxidantes en células saludables (Foyer *et al.*, 2017). En este trabajo no hay cambios en el color ni modificaciones visuales (parámetros de calidad), lo que indica que las condiciones de almacenamiento, tratamientos poscosecha y manipulación mantuvieron las características de los frutos durante todo su almacenamiento.

V.3.2. Pérdida de peso.

La calidad de los frutos de pepino es afectada principalmente por la deshidratación, lo que genera una pérdida de peso debido a la pérdida de agua y apariencia visual poco atractiva. Es por ello que se determinó el porcentaje de la pérdida de peso (% PP) de los frutos a lo largo de su almacenamiento. Una PP superior a 6 % puede tener consecuencias graves en la calidad de los frutos (Arias y Toledo, 2000).

En la Figura 19 se muestran los resultados de PP en los frutos durante su almacenamiento. La PP mostró diferencias significativas entre tratamientos, donde la PP

fue mayor en los frutos del tratamiento con Látex (solo), en comparación con el resto de los tratamientos [Testigo (sin látex), Látex + CaO-NP 50 ppm, Látex + CaO NP 100 ppm y Látex + CaO-NP 150 ppm] ($p < 0.05$, Anexo 7, Figura 19). Siendo la tendencia de los datos que el tratamiento de Látex + CaO-NP 50 ppm fue el que permitió que los frutos de pepino perdieran menos peso durante el almacenamiento en comparación de los Látex + CaO-NP 100 ppm y Látex + CaO-NP 150 ppm, pero esto sin diferencias significativas (Figura 19).

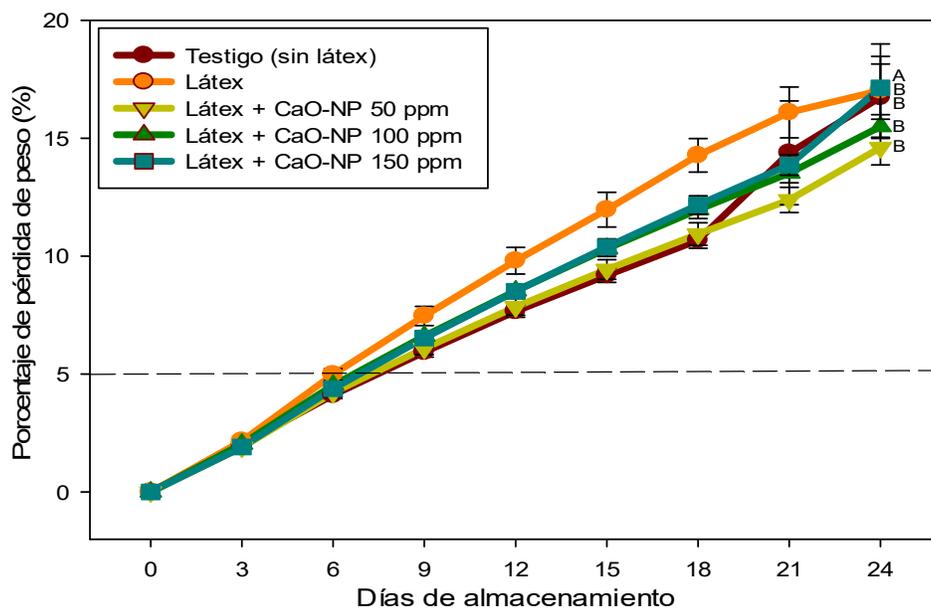


Figura 19. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de pepino (*Cucumis sativus*) durante su almacenamiento poscosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento. La línea punteada indica el límite de pérdida de peso poscosecha sugerida.

Respecto a los días de almacenamiento se observa que entre más días han transcurrido, la PP en los frutos es mayor. Adicionalmente, la PP rebasó el 6 % a partir del día 9 de almacenamiento, lo que puede explicar los cambios visuales en apariencia obtenidos en las determinaciones de deshidratación (Figura 13), cambio en el color (Figura 14) y calidad general (Figura 15) a partir del 12 día de almacenamiento.

El uso de recubrimientos como tratamiento poscosecha para preservar la calidad de los frutos sirve como una barrera en el intercambio gaseoso (O_2 y CO_2) y al vapor de agua,

reduciendo la concentración de O₂ en los frutos y su respiración, lo que reduce la transpiración o pérdida de agua (Park, 1999). Los pepinos toleran concentraciones bajas de O₂ (3-5 %), es decir, la aplicación de recubrimientos; lo cual ayuda a retrasar su senescencia y pudriciones (Infoagro, 2020). Es por ello que el uso de los recubrimientos en pepino es importante, ya que reduce la respiración y aumenta su vida útil. Particularmente en este trabajo, los frutos con el tratamiento de Látex (solo) fue el que mostró mayor pérdida de peso en los frutos en comparación con el resto de los tratamientos, por lo que los frutos pudieron estar respirando más y, por tanto, perdiendo más agua durante este proceso metabólico debido a que el Látex (solo) no fue capaz de funcionar como barrera al intercambio gaseoso y la transpiración. Al-Juhaimi *et al.* (2012) reportaron la pérdida de peso en frutos de pepino recubiertos con goma arabiga debido a la baja concentración de O₂ y aumento en CO₂, así como, la generación de calor y productos de una fermentación anaeróbica. Este aumento en el calor genera un incremento en la transpiración de los frutos y, por tanto, mayor pérdida de agua.

Cortez-Mazatán *et al.* (2011) señalaron que el uso de recubrimiento de látex de P(VAc-co-VA) tuvo una acción protectora, aunque ligera, pero mayor en comparación de los frutos a los cuales no se les adicionó este recubrimiento; lo que se debe a la acción de látex en la permeabilidad al vapor de agua (Hernández *et al.*, 2011). Lo anterior, no corresponde a lo observado en los frutos de pepino con recubrimientos a base de látex de P(VAc-co-VA) solo en comparación con los frutos Testigo. Una posibilidad de la falta del efecto barrera del látex de P(VAc-co-VA) es la forma de aplicación del recubrimiento, que crea variabilidad de éste sobre la superficie de los frutos, como lo señalan Locasso *et al.* (2007). Lo anterior, podría indicar el comportamiento de los resultados obtenidos, ya que el tratamiento de Látex (solo) genera mayor PP en los frutos por volatilización de los productos generados por condiciones fermentativas que puede causar una atmósfera modificada por el uso de recubrimientos, mientras que los recubrimientos adicionados con CaO-NP presentaron % PP menor y constante, sugiriendo que la adición de las CaO-NP han modificado al látex y, por tanto, el comportamiento en cuanto a la PP; el comportamiento de los frutos sin recubrir [Testigo (sin látex)] se debe a la cera natural del fruto teniendo un mayor % PP hacia el final del almacenamiento, ya que esta cera se degrada según el tiempo poscosecha. Por lo que las CaO-NP estarían actuando en las

propiedades del látex, tal y como lo reportó Molki *et al.* (2019) al adicionar NP de CaCO_3 en materiales de PVA, mejorando sus propiedades de barrera.

V.3.3. Firmeza.

Junto con la pérdida de agua existe pérdida de la firmeza de los frutos, lo cual trae consigo cambios en la textura (Elizalde *et al.*, 2017). Por lo anterior, fue determinada la firmeza de los frutos a lo largo del almacenamiento, cuyos resultados obtenidos están expresados en Newton (N) en la Figura 20. En ella, se observa el comportamiento de los frutos de pepino durante su almacenamiento, en donde no hubo diferencias significativas entre tratamientos a lo largo de todo el periodo de almacenamiento ($p > 0.05$, Anexo 8, Figura 20). Los valores de la firmeza oscilaron entre 2.84 y 4.72 N (Figura 20). A partir del día 15 y hasta el día 24, parece incrementar la firmeza de los frutos. Sin embargo, los frutos al perder agua propiciaron elasticidad (Figura 20). Lo anterior no parece ser efecto de los tratamientos sino más bien de la senescencia y almacenamiento.

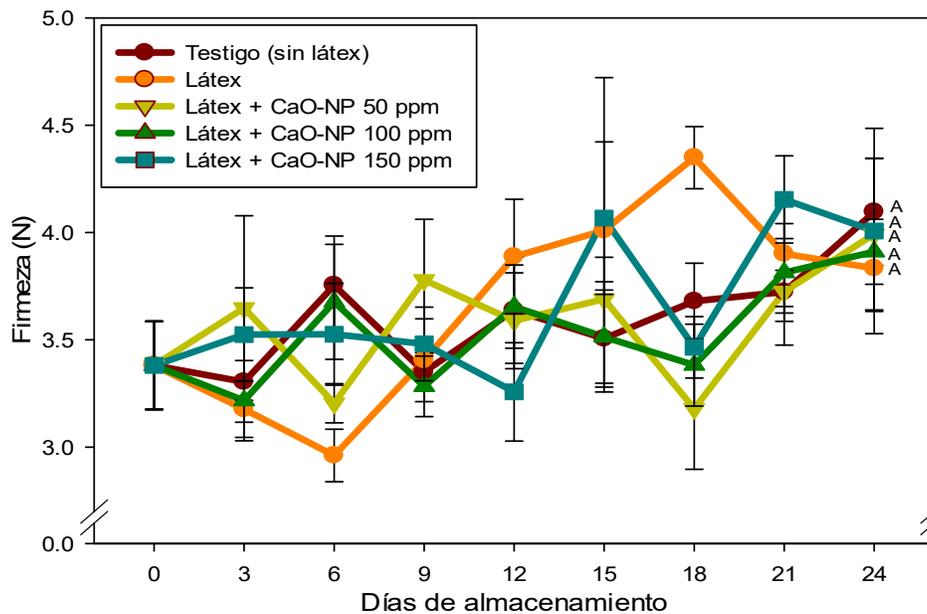


Figura 20. Firmeza en los frutos de pepino (*Cucumis sativus*) expresado en Newtons (N) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

La transferencia de humedad del fruto al medio ambiente es la principal causante de la pérdida de peso durante su almacenamiento (Duan *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2015), además de la pérdida de biomasa, la cual está constituida por los hidratos de carbono que son usados como sustratos en la respiración (Mattos *et al.*, 2012) y, como consecuencia, pérdida de firmeza. Con los resultados obtenidos en este trabajo se muestra un aparente incremento en la firmeza, conforme pasan los días de almacenamiento, lo cual se debe al aumento en la elasticidad adquirida por los frutos durante la poscosecha. Ésto es explicado por Sogvar *et al.* (2016), quienes señalan que la degradación de la lámina media de la pared celular del parénquima cortical tras 15 días de almacenamiento de frutos de pepino tuvo un efecto suavizante sobre la textura. Resultados similares fueron reportados por Arnon *et al.* (2014) en cítricos y Xiao *et al.* (2010) en peras recién cortadas recubiertas con quitosano. El ablandamiento de los tejidos puede deberse a la fermentación en una atmósfera modificada, aunque la finalidad del recubrimiento sea conservar el agua, la textura y la firmeza (Mohammadi *et al.*, 2015). En el caso de los resultados obtenidos en los frutos de pepino, pese a los cambios en la firmeza, estos no son suficientes para generar frutos de mala calidad, apariencia ni efectos sobre su calidad general.

V.4. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre los parámetros químicos en frutos de pepino poscosecha.

V.4.1. pH.

La calidad de un producto hortofrutícola también está dada por su contenido químico, bioquímico y nutracéutico (Domene y Segura, 2014), por lo que es importante observar si los tratamientos ejercen algún efecto sobre estos valores. A fin de determinar el efecto de los recubrimientos adicionados con CaO-NP en los frutos de pepino, se llevó a cabo la medición de las variables mencionadas, incluyendo pH.

Para el pH se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 21), en donde se muestra que entre tratamientos existe diferencia significativa ($p < 0.05$, Anexo 9). Los frutos tratados con Látex + CaO-NP 50 ppm presentaron el valor más alto de pH, mientras que los frutos que obtuvieron el pH más bajo fueron bajo el tratamiento Testigo (sin látex) ($p < 0.05$,

Anexo 9, Figura 21). El intervalo de pH observado en frutos de pepino tratados y sin tratar oscilaron entre 4.98-5.44 (Figura 21).

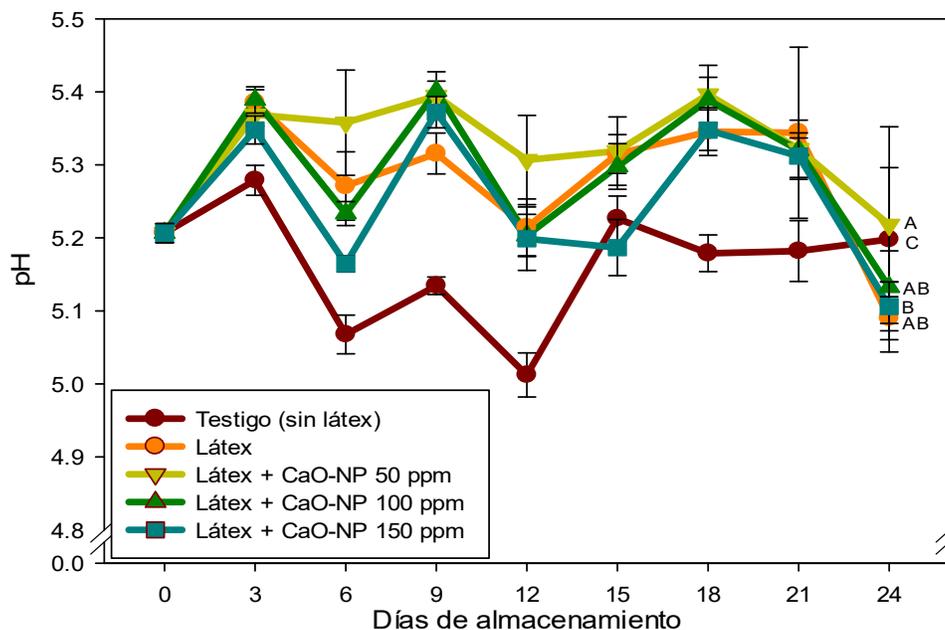


Figura 21. Valores de pH en el mesocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Niedziela *et al.* (1993) asociaron valores altos de pH como indicador de mejor calidad de los frutos, ya que una caída en los valores de pH en frutos recubiertos indica estrés por atmósfera modificada dando como resultado mayor velocidad del deterioro del fruto como lo indican Sabir *et al.* (2010). Con los resultados obtenidos en este trabajo, se puede inferir que los recubrimientos influyeron a que los frutos tratados presentaran los valores mas altos de pH, mientras que los no recubiertos tuvieron los valores más bajos. Moreno *et al.* (2013) reportaron en tres cultivares de pepino un intervalo de pH 5.6-6.0, en los que no se utilizaron recubrimientos y se le atribuyó el cambio a la respiración. En este estudio existió una tendencia en valores más altos para los frutos tratados, sin embargo, Domene y Segura (2014) sugieren que valores bajos de pH permiten mayor vida de anaquel; con lo que se puede pensar que los frutos tratados tuvieron mejora en cuanto a calidad, pero tendrán menor vida de anaquel.

V.4.2. Sólidos solubles totales.

Los resultados de SST obtenidos de la pulpa de los frutos de pepino están expresados en grados Brix ($^{\circ}$ Brix) en la Figura 22. Los resultados no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$, Anexo 10) entre tratamientos durante el almacenamiento. Sin embargo, se observa el comportamiento de los datos a presentar valores menores de SST en el Testigo (sin látex) (Figura 22). Además, esta tendencia o comportamiento de los datos indica valores más altos y variables al día 22, seguido de los días 12 y 24; mientras que en los días en los que se encuentran los valores más bajos de SST corresponden a los primeros días de almacenamiento (días: 0, 3, 6 y 9). No obstante, no se logró observar algún efecto de los tratamientos sobre esta variable. Los valores de $^{\circ}$ Brix en frutos de pepino oscilaron entre 3.08-4.28.

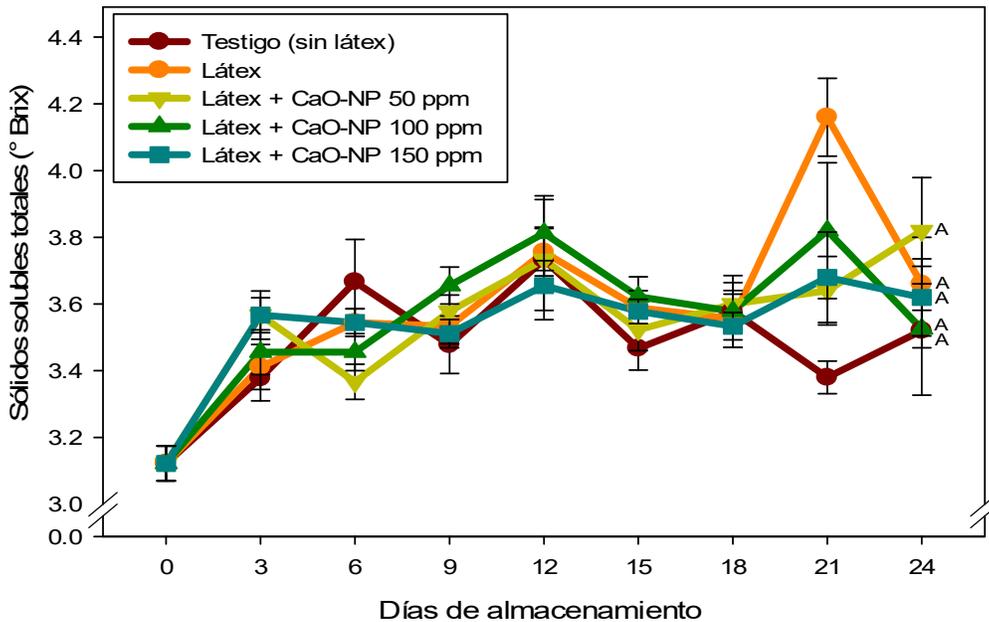


Figura 22. Sólidos solubles totales expresados en $^{\circ}$ Brix obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 $^{\circ}$ C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

En poscosecha, el contenido de SST se ve afectado por el incremento de la tasa de respiración, ya que se consumen las reservas de azúcares, ácidos orgánicos y proteínas del fruto (González, 2011). Moreno *et al.* (2013) reportó mayor contenido de SST en

pepinos recubiertos que los frutos sin cubierta durante 15 días de almacenamiento. Los frutos de pepino de este estudio mostraron mantener el contenido de SST por 18 días, a partir de ahí, se observa un aumento de SST en frutos recubiertos, propio del proceso de maduración, coincidiendo esto con Bayat (2016), quien señala que la reducción en SST se debe a una menor tasa de respiración y actividad metabólica. Ramana-Rao *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares en pimiento dulce donde aplicaron NP de calcio en poscosecha.

V.4.3. Acidez titulable.

En la Figura 23, se muestran los resultados de la AT, expresada en porcentaje de ácido cítrico. No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$, Anexo 11). Respecto a los días de almacenamiento, se observó una tendencia a incrementar la acidez al día 21 de almacenamiento (Figura 23). Así mismo, el comportamiento de los datos indica un incremento en el porcentaje de ácido cítrico en los frutos tratados con Látex (solo) hacia el final del almacenamiento (Figura 23). El intervalo de AT en frutos de pepino fue 0.069-0.097 % (Figura 23).

Li y Yu (2002) señalan que una alta acidez titulable en los frutos indica un retraso en la maduración. Nuestros resultados muestran que la AT se mantuvo al menos por 18 días en almacenamiento, principalmente en los frutos con recubrimiento, tanto con CaO-NP como en el Látex (solo); mostrando un incremento de la AT al final del periodo de almacenamiento propio de la senescencia de los frutos. Bayat (2016) indica que la estabilidad de la acidez titulable se debe a una reducción en la actividad metabólica de los ácidos orgánicos (ácido cítrico y málico) en dióxido de carbono y agua, provocado por el tratamiento de nanopartículas de calcio. Esto último es similar a lo observado en los frutos de pepino donde no hubo modificaciones de la AT sino que esta se mantuvo estable durante el almacenamiento.

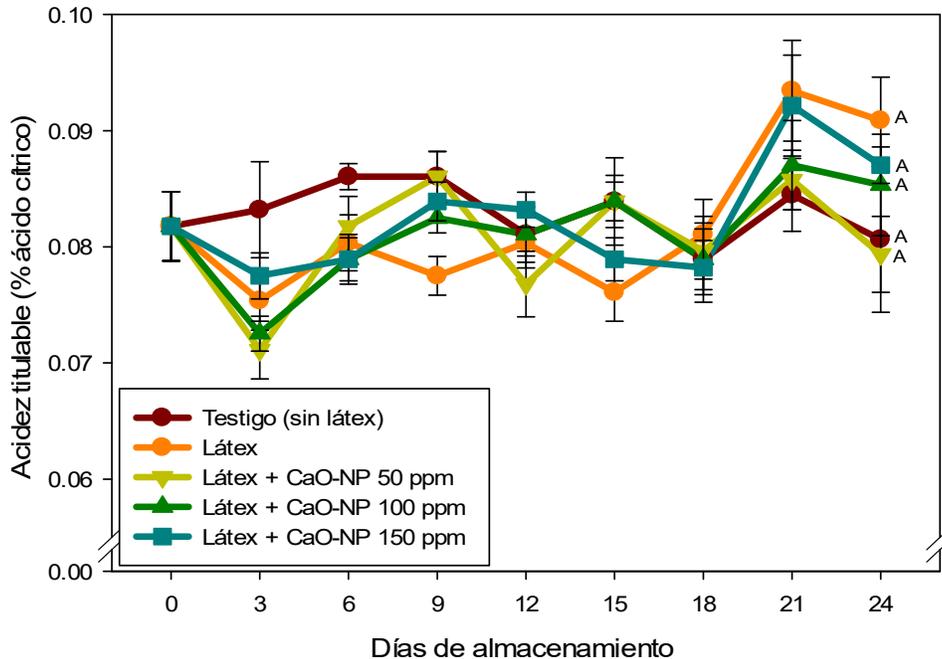


Figura 23. Acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico) obtenidos del mesocarpo de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

V.4.4. Índice de madurez.

La relación entre SST y AT es un indicativo del sabor de los frutos. En la Figura 24 se muestran los resultados obtenidos del índice de madurez (IM) los cuales no indican diferencias significativas entre tratamientos durante el almacenamiento ($p > 0.05$, Anexo 12, Figura 24). Se observa que, el valor de IM se mantuvo en un intervalo de 2.4-3.4, mientras estuvieron almacenados los frutos (Figura 24). Por lo que no parece existir un efecto de los tratamientos sobre el sabor de los frutos (Figura 24).

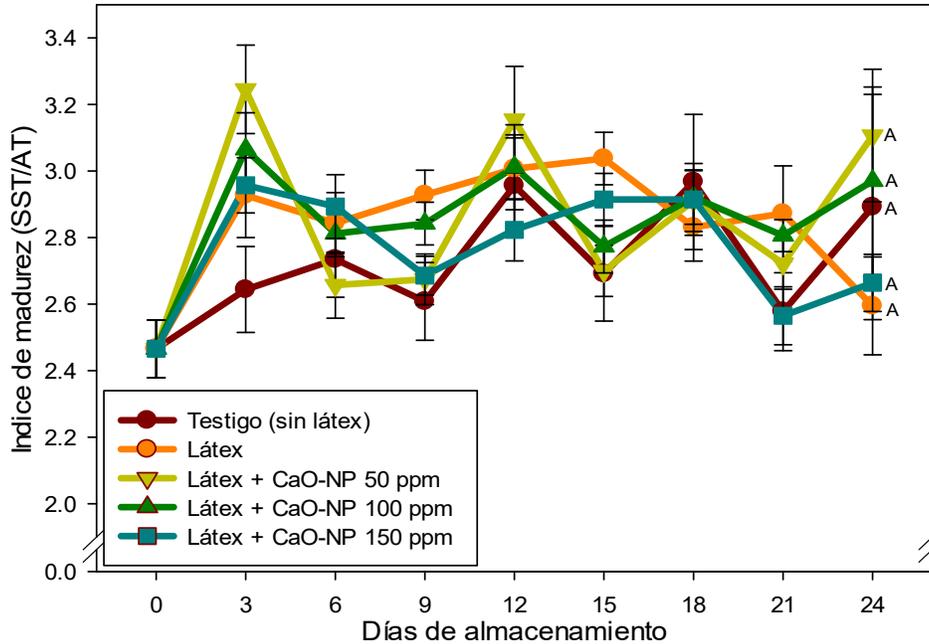


Figura 24. Índice de madurez (IM= SST/AT) obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Velázquez *et al.* (2013) reportaron valores altos de IM para frutos de pepino sin películas y valores bajos para frutos recubiertos; lo cual no coincide con los resultados obtenidos Gomez-Artes (2005) señala que una atmósfera modificada tiene reducción en la tasa respiratoria retrasando la pérdida de azúcares y manteniendo el contenido de ácidos orgánicos. Por lo que, al tratarse de un fruto no climatérico, el contenido de SST se acumuló durante el crecimiento de los frutos de pepino y no en el proceso de senescencia. Lo anterior se explica debido al mantenimiento de los valores de SST (Figura 22) y la conservación de ácidos orgánicos, como lo indica la acidez titulable durante todo el almacenamiento (Figura 23) en los frutos de pepino. Además, una relación alta en SST/AT da como resultado un sabor dulce debido a la conversión de los ácidos orgánicos presentes en el fruto en azúcares, mientras que obtener IM bajos indicaría sabores ácidos en los frutos. En el caso de pepino, el IM general es bajo en comparación con otros frutos poscosecha.

V.5. Efecto de los tratamientos de látex de P(VAc-co-VA) adicionados con CaO-NP sobre compuestos bioquímicos y antioxidantes.

V.5.1. Clorofilas *a*, *b* y totales.

V.5.1.1. Contenido de clorofilas en exocarpio (cáscara) de los frutos de pepino.

En la Figura 25A se muestran los resultados para el contenido de clorofila *a* en el exocarpio del fruto de pepino, expresado en μg de clorofila g^{-1} de tejido fresco, donde se indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 13); los frutos con valores más altos corresponden a los tratados con Látex + CaO-NP 100 ppm y Látex + CaO-NP 150 ppm, y los valores más bajos corresponden a los frutos del Testigo (sin látex). Se observa una disminución en el contenido de clorofila *a* en todos los frutos al final del almacenamiento (Figura 25A).

En cuanto al contenido de clorofilas *b* en el exocarpio de los frutos, se muestran los resultados en la Figura 25B, indicando diferencias significativas entre tratamientos, donde los frutos tratados con Látex + CaO-NP 50 ppm, Látex + CaO-NP 100 ppm y Látex + CaO-NP 150 ppm obtuvieron los valores más altos; mientras que los valores más bajos pertenecen a los frutos recubiertos sin CaO-NP [Látex (solo)] y, sobre todo, a los frutos sin recubrir [Testigo (sin látex)] ($p < 0.05$, Anexo 14, Figura 25B).

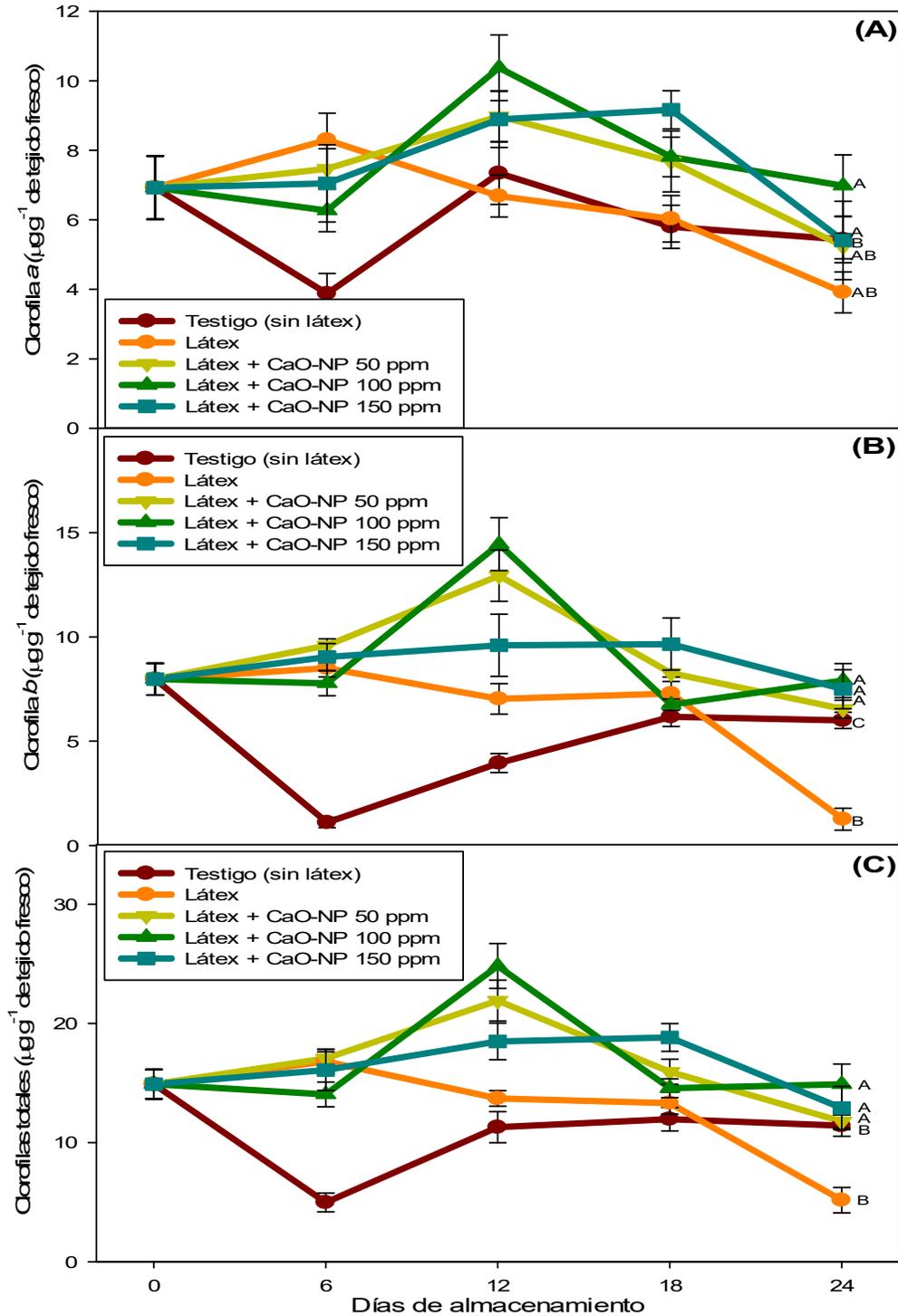


Figura 25. Contenido de clorofila (A) a, (B) b y (C) totales obtenidos del exocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

En la Figura 25C se muestran los resultados para el contenido total de clorofilas en el exocarpio de los frutos, donde existió diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 15); los valores más altos pertenecen a los frutos tratados con Látex + CaO-NP 100 ppm, Látex + CaO-NP 50 ppm y Látex + CaO-NP 150 ppm; los valores más bajos los obtuvieron los frutos correspondientes al Testigo (sin látex) y Látex (solo), haciéndose notar una disminución en el contenido de clorofilas totales a partir del día 12 de almacenamiento ($p < 0.05$, Anexo 15, Figura 25C). Adicionalmente, se observa que se obtienen valores más altos en frutos tratados con los recubrimientos adicionados con CaO-NP a diferencia de los frutos sin recubrir que obtuvieron los valores más bajos (Figura 25C).

Los frutos recubiertos y principalmente los adicionados con CaO-NP mantuvieron durante el almacenamiento el color verde (Figuras 16-18 y Tabla 2) y altos contenidos de clorofilas en el exocarpio (Figura 25) en comparación con los frutos no recubiertos donde se reporta mayor amarillamiento de los frutos valores obtenidos mediante el colorímetro (Figura 18) y menor contenido de clorofilas (Figura 25). Esto puede deberse a que la degradación de la clorofila es influenciada por cambios de pH, sistemas oxidativos y actividad de las clorofilasas; ya que éstos se modifican según avanza el proceso de respiración y maduración (Hamzah *et al.*, 2013). Como en los resultados obtenidos, la aplicación de un recubrimiento a base de P(VAc-co-VA) pudo reducir la tasa respiratoria disminuyendo la degradación de clorofila, lo que coincide con lo reportado por Mohammadi *et al.* (2016), quienes obtuvieron resultados similares en frutos de pepinos recubiertos con partículas de quitosano menores a 200 nm.

V.5.1.2. Contenido de clorofilas en el mesocarpio (pulpa) de los frutos de pepino.

En la Figura 26A se muestran los resultados para el contenido de clorofilas *a* en el mesocarpio del fruto de pepino, expresado en μg de clorofilas g^{-1} de tejido fresco, donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$, Anexo 16). El comportamiento de los datos indica que los frutos con valores más altos corresponden a los tratados con Látex + CaO-NP 100 ppm y Látex + CaO-NP 150 ppm, mientras que los valores más bajos corresponden a los frutos del Látex + CaO-NP 50 ppm. Se observa

una disminución en el contenido de clorofila *a* en el mesocarpio de todos los frutos al final del almacenamiento, sin embargo, no se observan diferencias significativas (Figura 26A).

En cuanto al contenido de clorofilas *b* en el mesocarpio de los frutos, se muestran los resultados en la Figura 26B. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$, Anexo 17, Figura 26B).

En la Figura 26C se muestran los resultados para el contenido total de clorofilas en el mesocarpio de los frutos, y se observa que no existió diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$, Anexo 18). El comportamiento de los datos podría indicarnos que los valores más altos de clorofilas totales pertenecen a los frutos tratados con Látex + CaO-NP 150 ppm, y los valores más bajos los obtuvieron los frutos correspondientes al tratamiento Látex + CaO-NP 50 ppm, haciéndose notar una disminución en el contenido de clorofilas totales a partir del día 12 de almacenamiento ($p > 0.05$, Anexo 18, Figura 26C). Por lo anterior, el principal efecto de los recubrimientos sobre el contenido de clorofila parece estar dada en el exocarpio (Figura 25) y no tanto en el mesocarpio de pepino (Figura 26). Así mismo, el Testigo (sin látex) presentó la menor concentración de clorofilas tanto en el exocarpio como en el mesocarpio. Al respecto, durante el proceso de maduración se registra un incremento en la producción de carotenoides y paralelamente degradación de clorofilas (Ornelas-Paz *et al.*, 2008). En este estudio, los frutos recubiertos con látex adicionados con CaO-NP conservaron el color verde y el contenido de clorofilas, por dos posibles razones: el efecto de barrera del recubrimiento y la acción del CaO-NP como retardantes de la maduración.

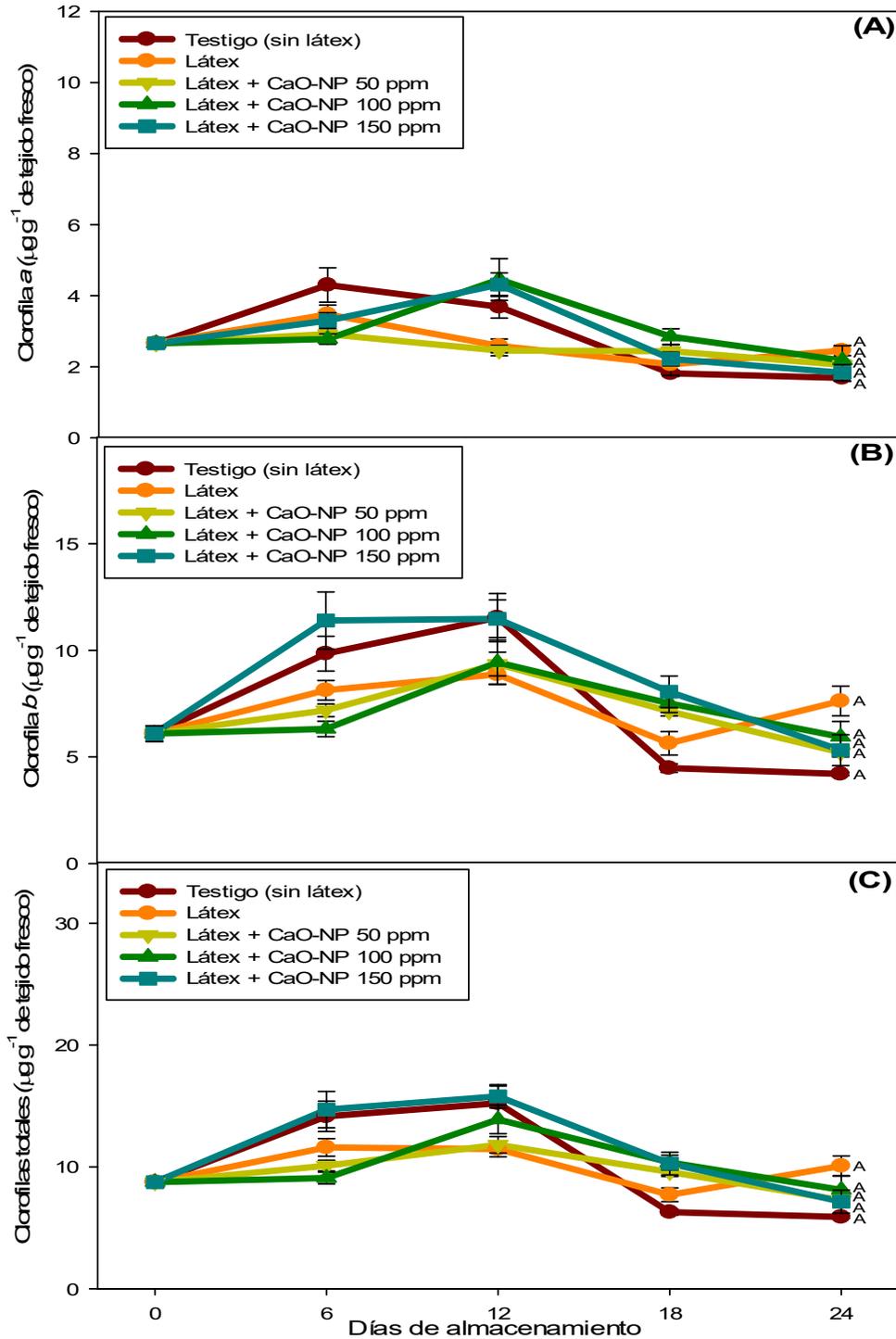


Figura 26. Contenido de clorofila (A) *a*, (B) *b* y (C) totales obtenidos del mesocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 10 °C. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media (n=9) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

V.5.2. Compuestos fenólicos totales.

En la Figura 27A se muestran los resultados para el contenido de compuestos fenólicos totales en el exocarpio del fruto de pepino, expresado en $\mu\text{g EAG g}^{-1}$ de tejido fresco, donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 19); los frutos con valores más altos corresponden a los tratados con Látex (solo), Látex + CaO-NP 50 ppm, Látex + CaO-NP 150 ppm y Látex + CaO-NP 100 ppm, mientras que los valores más bajos corresponden a los frutos del Testigo (sin látex).

Los resultados correspondientes al contenido de compuestos fenólicos totales en el mesocarpio de pepino, se muestran en la Figura 27B, donde se indica que existió diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 20); los frutos con mayor contenido de compuestos fenólicos totales fueron los tratados con Látex + CaO-NP 50 ppm, mientras que los de valores más bajos corresponden al Testigo (sin látex).

Los compuestos fenólicos son responsables de características sensoriales, así como, de propiedades organolépticas (aroma, color, astringencia) en frutas y vegetales (Alasalvar, 2005). Los frutos recubiertos tuvieron mayor contenido de compuestos fenólicos totales, lo que puede ser explicado por Kumari *et al.* (2015), quienes indican que un recubrimiento evita la desecación de la piel de los frutos lo que provoca la descomposición de las vacuolas y pérdida de pigmentos, por acción de enzimas relacionadas al oscurecimiento (PPO y/o POX); esto coincidiría con los resultados obtenidos respecto al contenido de clorofilas en los frutos con recubrimientos adicionales (Figura 25). Jacobo-Velázquez (2011) sugiere que el calcio participa con las ERO bajo el estrés poscosecha o daño mecánico en frutos, activando el sistema fenilpropanoide que da como resultado la acumulación de compuestos fenólicos. El consumo regular de alimentos con contenido de compuestos fenólicos tiene beneficios en la salud humana (Gómez-Gómez *et al.*, 2019), lo que podría ser una ventaja del uso de los recubrimientos de P(VAc-co-VA) adicionales con CaO-NP en frutos de pepino.

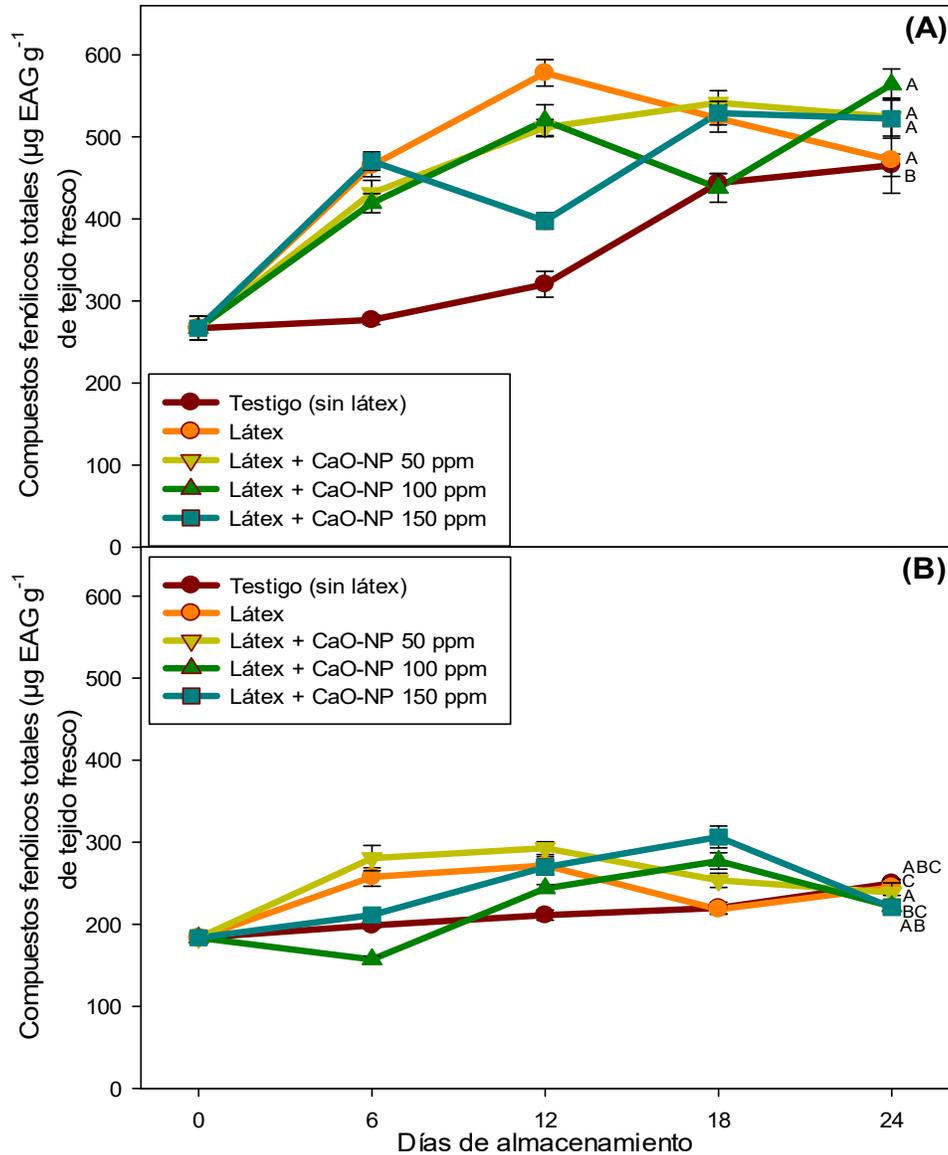


Figura 27. Compuestos fenólicos totales ($\mu\text{g EAG g}^{-1}$ de tejido fresco) en (A) exocarpio y (B) mesocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

V.5.3. Capacidad antioxidante total.

En la Figura 28A se muestran los resultados para la capacidad antioxidante total en el exocarpio del fruto de pepino, expresado en $\mu\text{moles EAG g}^{-1}$ de tejido fresco, donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 21); los frutos

con valores mas altos en el exocarpio pertenecen al tratamiento de Látex + CaO-NP 100 ppm, mientras que los valores mas bajos corresponden a los frutos del Testigo (sin látex). Se observa que a partir del día 12 los frutos recubiertos con Látex + CaO-NP tuvieron un incremento hacia el final del almacenamiento, mientras que los frutos con Látex (solo) y Testigo (sin látex), mantuvieron o disminuyeron sus valores.

Los resultados correspondientes a la capacidad antioxidante total en mesocarpio de pepino, se muestran en la Figura 28B, donde se pudieron observar diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 22); los frutos con mayor contenido de compuestos fenólicos fueron los del Testigo (sin látex), mientras que los de valores mas bajos corresponden al recubrimiento Látex + CaO-NP 50 ppm, Látex + CaO-NP 100 ppm y Látex+ CaO-NP 150 ppm, o bien, aquellos que tienen adicionado CaO-NP.

Nuevamente, el principal efecto de los recubrimientos sobre la capacidad antioxidante total se observó en el exocarpio cáscara (Figura 27) en comparación con el mesocarpio (Figura 28). La capacidad antioxidante total está dada por varios compuestos bioactivos presentes en la fruta, tales como los compuestos fenólicos y pigmentos (por mencionar algunos); en el proceso de maduración hay disminución de la capacidad antioxidante debido a la disminución de estos compuestos (Kumari *et al.*, 2015). Lo anterior, coincide con los resultados obtenidos, ya que, el exocarpio de los frutos del tratamiento Testigo (sin látex) presentan los valores mas bajos, asi como, en los contenidos de clorofilas (Figura 25A y 25B). En el caso de los frutos recubiertos y, principalmente los adicionados con CaO-NP, mostraron mayor capacidad antioxidante, posible efecto por las CaO-NP ya que por medio de SEM se observó sedimentación de las CaO-NP estando más cercanas al exocarpio del fruto (Figura 8-11). Bayat (2016) reportó mayor contenido de calcio en frutos de pimiento en comparación con los frutos de los tratamientos control tras aplicarlo en precosecha como NP de calcio. An *et al.* (2012) reportaron que la aplicación exógena de calcio de forma pulverizada sobre frutas durante precosecha o acompañado de tratamiento térmico en la poscosecha mejora la capacidad antioxidante. Por lo anterior, la presencia de calcio en los recubrimientos pudo tener acción sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en los frutos de pepino, la cual se apreció principalmente en el exocarpio de los frutos, el cual está más en contacto con los recubrimientos en comparación con la pulpa o mesocarpio de los frutos.

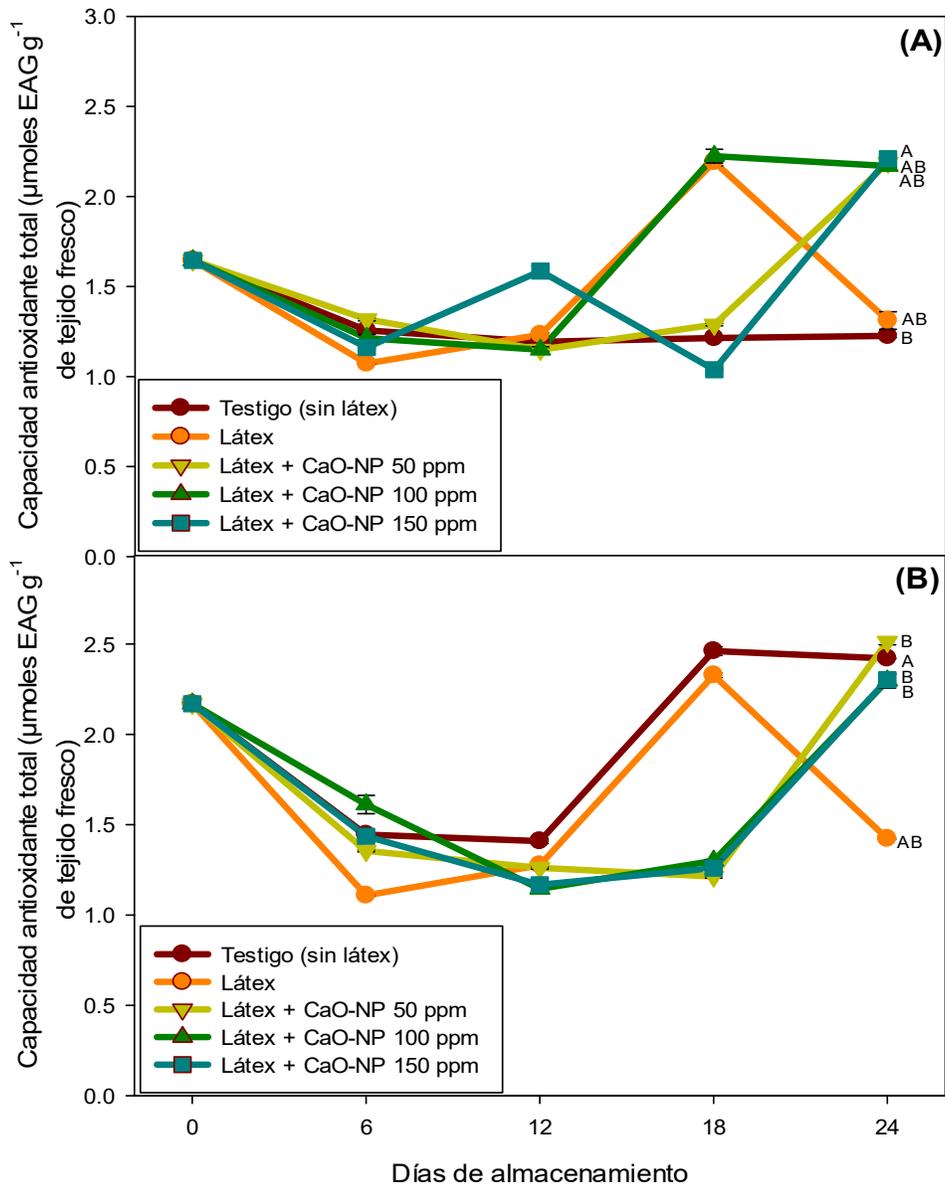


Figura 28. Capacidad antioxidante total ($\mu\text{moles EAG g}^{-1}$ de tejido fresco) por DPPH en (A) exocarpio y (B) mesocarpio de frutos de pepino (*Cucumis sativus*) bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. CaO-NP = nanopartículas de óxido de calcio. Las líneas indican los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media ($n=9$) por día de muestreo \pm error estándar y letras diferentes indican significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

VI. CONCLUSIONES

Las CaO-NP (150 ppm) modifican la viscosidad aparente, aunque su comportamiento reológico como fluidos no – newtonianos, no cambia. La aplicación de recubrimientos adicionados con CaO-NP no muestra cambios sobre la calidad visual de los frutos. El color del exocarpio de los frutos se modifica por la aplicación de recubrimientos adicionados con CaO-NP, manteniendo el color verde por mayor contenido de clorofilas; mientras que el contenido de clorofilas en el mesocarpio no se ve afectado. Variables relacionadas con el sabor (SST, AT e IM) no se modificaron durante el almacenamiento. El contenido de compuestos fenólicos tanto en exocarpio como en mesocarpio es mayor en frutos recubiertos y principalmente en los adicionados con CaO-NP. La capacidad antioxidante tiene un incremento en el exocarpio de los frutos recubiertos con látex adicionados. Por lo anterior, la adición de CaO-NP al P(VAc-co-VA) tiene mejoras en las propiedades del material como recubrimientos en poscosecha, por la posible interacción del calcio (Ca^{2+}) en la reticulación del alcohol polivinílico, conservando propiedades químicas y aumentando compuestos nutraceuticos en los frutos durante el almacenamiento.

VII. PERSPECTIVAS

Se requiere llevar a cabo la determinación del efecto microcida o de inhibición de las CaO-NP adicionadas en el látex sobre el fruto y en condiciones del almacenamiento, aunque sus propiedades antibacteriales y microcidas como NP libres están reportadas en la literatura, se desconoce si su aplicación en látex pueda mantener estas propiedades. Adicionalmente, pruebas respecto al estrés oxidativo ayudarían a complementar el efecto de los recubrimientos adicionados con CaO-NP, así como, pruebas de permeabilidad y grosor de los recubrimientos de P(VAc-co-VA).

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah R, Bashir N, Iqtedar M, Kaleem A, Aftab M, Naz S. (2016). Reduction of microbial flora to prolong the shelf life of *cucumis sativus* through gamma irradiation. *Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series)*. 48(4), 935-940.
- Abdussamad TR, Rasco BA, Sablani SS. (2016). Ultraviolet-C light sanitization of english cucumber (*Cucumis sativus*) packaged in polyethylene film. *Journal of Food Science*. 81(6), 1419-1430. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13314>
- Acevedo-Fani A, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. (2017). Nanostructured emulsions and nanolaminates for delivery of active ingredients: Improving food safety and functionality. *Trends in Food Science and Technology*. 60, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.027>
- Aguilera-Camacho LD, Hernández-Navarro C, Moreno KJ, García-Miranda JS, Arizmendi-Morquecho A. (2015). Improvement effects of CaO nanoparticles on tribological and microhardness properties of PMMA coating. *Journal of Coatings Technology and Research*. 12(2), 347-355. <https://doi.org/10.1007/s11998-014-9639-y>
- Aguilar-Méndez MA, San Martín-Martínez E, Ortega-Arroyo L, Cobián-Portillo G. (2013). Evaluación de la actividad antifúngica de nanopartículas de plata. Memorias del XXXI encuentro nacional de la AMIDIQ. 3-8.
- Aguilar M. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Coordinación General de Postgrados e Investigación. México D.F., México. 112.
- Aked J. (2002). Maintaining the post-harvest quality of fruits and vegetables. En: Fruit and vegetable processing. Boca Raton: Woodhead Publishing. pp. 119-149.
- Alasalvar C, Al-Farsi M, Quantick PC, Shahidi F, Wiktorowicz R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded

orange and purple carrots. *Food Chem.* 89, 69-76.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.013>

Al-Juhaimi F, Ghafoor K, Babiker EE. (2012). Effect of gum arabic edible coating on weight loss, firmness and sensory characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit during storage. *Pak. J. Bot.* 44(4), 1439-1444.

Alvarado RL. (2011). Síntesis de poliacetato de vinilo compatible con alimentos mediante polimerización en heterofase para aplicación en el recubrimiento de frutas. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Durango. Durango. 27-28.

An B, Li B, Qin G, Tian S. (2012). Exogenous calcium improves viability of biocontrol yeasts under heat stress by reducing ROS accumulation and oxidative damage of cellular protein. *Current Microbiology.* 65(2), 122-127. <https://doi.org/10.1007/s00284-012-0133-4>

AOAC (1990). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. Washington, D.C.

Arias C, Toledo J. (2000). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales. FAO. 136 pp.

Arnon H, Zaitsev Y, Porat R, Poverenov E. (2014). Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest. Biol. Technol.* 87, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.007>

Avella M, Bruno G, Errico ME, Gentile G, Piciocchi N, Sorrentino A, Volpe MG. (2007). Innovative packaging for minimally processed fruits. *Packaging Technology and Science.* 20, 325-33. <https://doi.org/10.1002/pts.761>

Avolio R, Gentile G, Avella M, Carfagna C, Errico ME. (2013). Polymer–filler interactions in PET/CaCO₃ nanocomposites: Chain ordering at the interface and physical properties. *European Polymer Journal.* 49, 419-427. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.10.008>

Baldwin E, Hagenmaier RD, Bay J. (2012). Edible coatings and films to improve food quality. CRC Press, New York. 448 p.

- Barraza-Álvarez FV. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 9(1), 60-71. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>
- Bari MA, Khan SA. (2015). Effects on the quality of fresh cucumber (*Cucumis sativus* L.) treated with ionizing, non-ionizing radiations and their combined treatments. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*. 3(1), 13-18.
- Bayat L. (2016). Influence of preharvest nano calcium applications on postharvest of sweet pepper (*Capsicum annuum*). *Nusantara Bioscience*. 8(2), 215-220. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080213>
- Bhaskara-Reddy MV, Belkacemi K, Corcuff R, Castaigne F, Arul J. (2000). Effect of pre-harvest chitosan sprays on post-harvest infection by *Botrytis cinerea* quality of strawberry fruit. *Postharvest. Biol. Technol.* 20, 39-51. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00108-3)
- Casaca-Daniel A. (2005). El cultivo de pepino, guía técnica de frutas y vegetales, proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola. 8-10 p.
- Casilimas-Díaz HA, Monsalve OI, Bojacá-Aldana CR, Gil-Castañeda R, Villagrán E Arias-Rodríguez LA, Fuentes-Quintero LS. (2017). Manual de producción de pepino bajo invernadero. 21-24 p.
- Castellano G, Ramírez R, Sindoni MJ, Hidalgo PR, Burgos ME, Marín C, Martínez L. (2016). Efecto de la temperatura de almacenaje sobre las características organolépticas de frutos de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81346341002>
- Cortez-Mazatán GV, Lira-Saldivar H, Peralta-Rodríguez R. (2011). Polyvinyl acetate an edible coating for fruits. Effect on selected physiological and quality characteristics of tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17(1), 15-22. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60920046003>
- Cruz-Gómez BA. (2015). Efectos de la aplicación de biofertilizantes y fosfitos de potasio durante cultivo y un recubrimiento de poli (acetato de vinilo-co-alcohol vinílico) sobre

la calidad y vida poscosecha de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Maestría. CIQA. México. 87 pp.

Dhall RK, Sharma SR, Mahajan BVC. (2011). Effect of shrink wrap packaging for maintaining quality of cucumber during storage. *Journal of Food Science and Technology*. 49(4), 495-499. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0284-5>

Deepa M, Sudhakar P, Nagamadhuri KV, Balakrishna Reddy K, Giridhara Krishna T, Prasad TNVKV. (2014). First evidence on phloem transport of nanoscale calcium oxide in groundnut using solution culture technique. *Applied Nanoscience*. 5(5), 545-551. <https://doi.org/10.1007/s13204-014-0348-8>

Defraeye T, Nicolai B, Kirkman W, Moore S, van Niekerk S, Verboven P, Cronjé P. (2016). Integral performance evaluation of the fresh-produce cold chain: A case study for ambient loading of citrus in refrigerated containers. *Postharvest Biol. Technol.* 112, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.033>

Dhall RK. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(5), 435-450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>

Dickinson E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*. 23(6), 1473-1482. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.005>

Dizaj SM, Lotfipour F, Barzegar-Jalali M, Zarrintan MH, Adibkia K. (2014). Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*. 44, 278-284.

Domene M, Segura M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria alimentaria. Fichas de transferencia: 005.

Domínguez E, Cortés V, Ávila RM, Olvera L, Vernon J, Bosques E, Domínguez J. (2003). Aumento de la vida poscosecha del limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) producido en Apatzingán, Mich., mediante el uso de recubrimientos naturales a diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 5(2), 128-133. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81350210>

- Dong H, Cheng L, Tan J, Zheng K, Jiang Y. (2004). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *J. Food Eng.* 64, 355-358. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.003>
- Duan J, Wu R, Strik BC, Zhao Y. (2011). Effects of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest. Biol. Technol.* 59, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.006>
- Elizalde MG, Manjarrez IR, García YH, Meza LO, Robles JG, Ruiz JM, Sañudo RB. (2017). Calidad fisicoquímica y sensorial de pepino orgánico (*Cucumis sativus* L.) encerado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.* 18(2), 17-18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81353563001>
- Esquivel GL, Galarza MDLA, Rosales SA, Monter ÁV, Ramos MA, Ruelas GL. (2006). Calidad de mango ataulfo sometido a tratamiento hidrotérmico. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 29, 123-128. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009821>
- Fallik E, Ilic Z. (2018). Pre-and postharvest treatments affecting flavor quality of fruits and vegetables. En: MW Siddiqui (Ed.), Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality. London: Academic Press. pp. 139-168.
- Fernández CM, Quesada-Roldán G. (2018). Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana.* 29(2), 235-250.
- Fernández-Valdés D, Bautista-Baños S, Fernández-Valdés D, Ocampo-Ramírez A, García-Pereira A, Falcón-Rodríguez A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* 24(3), 52-57.
- Franck C., Baetens M, Lammertyn J, Scheerlinck N, Davey M, Nicolai BM. (2003). Ascorbic acid mapping to study core breakdown development in 'Conference' pears. *Postharv. Biol. Technol.* 30, 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00108-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00108-X)
- Galiotta GH, Molinari F, Capdevielle D, Washington, D (2004). 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.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81360209>

Gang C, Li J, Chen Y, Wang Y, Li H, Pan B, Odeh I. (2014). Synergistic Effect of Chemical Treatments on Storage Quality and Chilling Injury of Honey Peaches. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39(6), 1108-1117. <https://doi:10.1111/jfpp.12325>

Gomez PA, Artes F. (2005). Improved keeping quality of minimally fresh processed celery sticks by modified atmosphere packaging. *LWT-Food Sci. Technol.* 38, 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.06.014>

Gomez-Gomez HA, Borges CV, Minatel IO, Luvizon AC, Lima GPP. (2019). Health benefits of dietary phenolic compounds and biogenic amines. *Reference Series in Phytochemistry*. 3-27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_27

González V. (2011). Reconocimiento e inspección de alimentos de origen vegetal parámetros indicadores de calidad. Frutas y Hortalizas. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. <http://es.slideshare.net/monicaglezglez/frutas-y-hortalizas6965719>

Guillen J. (2013). Parámetros fisiológicos y vida de anaquel en tomates cubiertos con película plástica. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México. 93.

Hamzah HM, Osman A, Tan CP, Ghazali FM. (2013). Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Postharvest Biol. Technol.* 75, 142-146. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.08.012>

Hattab AK, Farhan FK, Yusr HA. (2020). The effect of adding (CaO: ZrO₂: TiO₂) (CZT) NPs powder on the thermal properties and thermal expansion of (PMMA) in bio-compatible applications. *NeuroQuantology*, 18(6), 27. <https://doi.org/10.14704/nq.2020.18.6.NQ20179>

Hernández JF, Ruiz JM, Félix AR. (2011). Efecto de recubrimiento con quitosano y cera comercial en la calidad de naranja 'valencia' durante el almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 12(2), 164-174. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81320900007>

- Hernández J. (2014). Evaluación de bioestimulantes a base de fosfitos para el control de enfermedades en el cultivo de pepino; Guanagazapa, Escuintla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Rafael Landívar, Guatemala de la Asunción. 78.
- Hintze J. (2006). NCSS, PASS, and GUESS. NCSS. Kaysville, Utah. www.ncss.com
- Infoagro (2020). El cultivo del pepino. Consultado en agosto, 2020. [https://www.infoagro.com/documentos/el cultivo del pepino parte ii .asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_pepino_parte_ii_.asp)
- Hidalgo-Rosas RJ. (2020). Evaluación del rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) ante la aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas en la zona de Simón Bolívar provincia del Guayas.
- Jacobo-Velázquez DA, Martínez-Hernández GB, del C. Rodríguez S, Cao CM, Cisneros-Zevallos L. (2011). Plants as biofactories: physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot tissue under wounding and hyperoxia stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(12), 6583–6593. <https://doi.org/10.1021/jf2006529>
- Jiang Y, Li J, Jiang W. (2005). Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *LWT Food Sci. Technol.* 38, 757-761. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.004>
- Kader A. (2002). Postharvest technology of horticultural crops. Agriculture and Natural Resources. 3a Ed., University of California. Publication 3311: 575.
- Kitinoja L, Kader A. (2003). Técnicas de manejo postcosecha a pequeña escala: manual para los productos hortofrutícolas. Serie Horticultura No. 8. Universidad de California, Davis EUA. 260 pp.
- Kumari P, Barman K, Patel VB, Siddiqui MW, Kole B. (2015). Reducing postharvest pericarp browning and preserving health promoting compounds of litchi fruit by combination treatment of salicylic acid and chitosan. *Scientia Horticulturae*. 197, 555-563. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.017>

- Linares VP. (2009). Historia de la producción de cal en el norte de la cuenca de México. *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*. 16(3), 227-234. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412057002>
- Li H, Yu T. (2000). Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81(2), 269-274. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(20010115\)81:2<269::aid-jsfa806>3.0.co;2-f](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20010115)81:2<269::aid-jsfa806>3.0.co;2-f)
- Li S, Lei Y, Wang J. (2018). Research progress of polyvinyl alcohol film. *Coat. Prot.* 39(8), 44-49.
- Liu G, Ye S, Wang J. (2014). Effects of nanoclay type on the physical and antimicrobial properties of PVOH-based nanocomposite films. *LWT-Food Sci. Technol.* 57(2), 562-568. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.009>
- Liu R, Lal R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*. 514, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104>
- Liu T, Zhu Y, Zhang X, Zhang T, Zhang T, Li X. (2010). Synthesis and characterization of calcium hydroxide nanoparticles by hydrogen plasma-metal reaction method. *Materials Letters*. 64(23), 2575-2577. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2010.08.050>
- Lo'ay AA. (2005). Chilling injury in mangoes. Tesis. University, Wageningen. 224 pp. (ISBN:90-8504-309-3).
- Lo'ay AA, ElKhateeb AY. (2018). Antioxidant enzyme activities and exógeno us ascorbic acid treatment of 'Williams' banana during long-term cold storages tress. *Sci. Hortic.* 234, 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.038>
- Locaso DE, Cruañes MDC, Velázquez MS, Pisonero MO, Gerard OA, Terenzano I. (2007). Conservación de naranjas con un recubrimiento formulado con terpenos obtenidos a partir de *Pinus elliotis*. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. (35), 153-173.
- Lopez-Zamora CM. (2003). Cultivo del pepino, Centro Nacional de Tecnología Agropedcuaria y Forestal. 44p.

- Martin-Diana AB, Rico D, Frias JM, Barat JM, Henehan GTM, Barry-Ryan C. (2007). Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), 210-218. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.11.027>
- Mattos LM, Moretti CL, Ferreira MD. (2012). Modified atmosphere packaging for perishable plant products. En F. Dogan, F. Dogan (Ed.), Polypropylene. IntechOpen. 95-110.
- Michalopoulou A, Maravelaki PN, Kilikoglou V, Karatasios I. (2020). Morphological characterization of water-based nanolime dispersions. *Journal of Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.06.005>
- Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini SM. (2015). Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage. *Postharvest. Biol. Technol.* 110, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.019>
- Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini SM. (2016). Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *Zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 33, 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.015>
- Molki B, Aframehr WM, Bagheri R, Salimi J. (2018). Mixed matrix membranes of polyurethane with nickel oxide nanoparticles for CO₂ gas separation. *Journal of Membrane Science*. 549, 588-601. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.12.056>
- Molki B, Heidarian P, Aframehr WM, Nasri-Nasrabadi B, Bahrami B, Ahmadi M, Bagheri R. (2019). Properties investigation of polyvinyl alcohol barrier films reinforced by calcium carbonate nanoparticles. *Materials Research Express*, 6(5), 055311. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0315>
- Moreno DCW, García E, Ibañez A, Barrios JM, Barrios B. (2013). Postharvest Physicochemical changes in three cucumber cultivars with and without plastic film. *Mexican Journal of Agricultural Sciences*. 4 (6), 909-920.
- Muy-Rangel DSJ, Diaz J, Valdéz B. (2004). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Rev.*

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027206>

- Naveena B, Immanuel G. (2017). Effect of calcium chloride, sodium chloride and lime juice on physico-chemical properties of cucumber. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 7(4), 765-770.
- Naveena B, Immanuel G. (2019). Effect of calcium chloride & sodium chloride on storage life of vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 1989-1994.
- Niedziela CEN, Willits DH, Peet MM. (1993). Short-term salt-schock effects on tomato fruit quality, yield and vegetative prediction of subsequent fruit quality. *J. Am. Soc. Horticultural Sciencie*. 118: 12-16.
- Ornelas-Paz JJ, Yahia EM, Gardea AA. (2008). Changes in external and internal color during postharvest ripening of “Manila” and “Ataulfo” mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography–APCl+–time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 50(2-3), 145-152. <https://doi:10.1016/j.postharvbio.2008.05.001>
- Ortíz G. (2013). Efectos del acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la calidad y vida de anaquel de pimiento, asistida con recubrimiento biodegradable de poliacetato de vinilo-alcohol polivinílico. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México. 154.
- Park H. (1999). Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends Food Sci Tech.* 10 (8), 254-260.
- Pacheco MMG. (2015). Propiedades de barrera a la humedad y al crecimiento microbiano de recubrimientos de quitosano-cera de carnauba-aceite esencial de orégano en frutos de pepino. 21-35 p.
- Padilla KC, Pérez JEM. (2017). Rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo invernadero. *Pensamiento Actual*. 17(29), 39-50. <https://doi.org/10.15517/PA.V17I29.31550>
- Peralta CA. (2016). Elementos fundamentales en el cálculo de dietas. Editorial El Manual Moderno.

- Pereira AL, Nascimento DM, Filho MS (2014) Improvement of polyvinyl alcohol properties by adding nanocrystalline cellulose isolated from banana pseudostems. *Carbohydr Polym.* 112(1), 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.090>
- Polinter (2010). Boletín técnico de poliolefinas internacionales En: <http://polinter.com.ve.5p>. Consulta febrero de 2019.
- Pulit-Prociak J, Pszczółka K, Chwastowski J, Staroń P, Staroń A, Sikora E, Banach M. (2018). Preparation of PVA-based composites with the addition of zinc oxide nanoparticles. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials.* <https://doi.org/10.1007/s10904-018-1009-2>
- Quintero CF, Muñoz A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga.* 1(5), 93-118.
- Rahmat AR, Rahman WAWA, Sin LT, Yussuf AA (2009). Approaches to improve compatibility of starch filled polymer system: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 29(8), 2370-2377. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2009.06.009>
- Ramana-Rao TV, Gol NB, Shah KK. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Sci. Hort.* 132, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.032>
- Ramos GL, Peralta R, Cortez G., Cárdenas A. (2014). Extensión de la vida de poscosecha en frutos de tomate por efecto de un látex polimérico comestible. *Revista Internacional de Botánica Experimental.* 1-5.
- Ramos-Hernández G. (2015). Control del hongo *Botrytis cinerea* en frutos de tomate durante poscosecha mediante un recubrimiento polimérico. Tesis de maestría en ciencias de la agroplsticultura. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México. Págs. 129.
- Razavi F, Hajilou J. (2016). Mejora de la calidad nutricional de postcosecha y antioxidante capacidad de frutas melocotón por tratamiento con ácido oxálico antes de la cosecha. *Scientia Horticulturae.* 200, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.04.072>
- Ro EY, Ko YM, Yoon KS. (2015). La supervivencia de enterohe- patógena morrhagic *Escherichia coli* (EHEC) y control con óxido de calcio en los productos cárnicos

congelados. *Microbiol. Alimentos.* 49, 203-210.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.02.010>

Rodríguez-Félix A, Villegas-Ochoa MA, Camarena-Gómez GA, Martínez-Antúnez BR. (2001). Calidad de naranja 'valencia' durante el almacenamiento a baja temperatura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 7(2), 259-274.

Rodwell D, Kelly C, DeMerlis C, Schoneker D, Borzelleca J. (2003). Effects of polyvinyl alcohol administered in the diet to rats on fertility, early embryonic development, growth and development. *Food and Chemical Toxicology*. 41, 729-737.
[https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00024-3](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00024-3)

Roy A, Gauri SS, Bhattacharya M, Bhattacharya J. (2013). Antimicrobial activity of CaO nanoparticles. *Journal of Biomedical Nanotechnology*. 9(9), 1570-1578.
<https://doi.org/10.1166/jbn.2013.1681>

Roy A, Bhattacharya J. (2011). Microwave-assisted synthesis and characterization of CaO nanoparticles. *International Journal of Nanoscience*. 10(03), 413-418.
<https://doi.org/10.1142/S0219581X11008150>

Ruelas-Chacón X, Reyes-Vega ML, Valdivia-Urdiales B, Contreras-Esquivel JC, Montañez-Saenz JC, Aguilera-Carbó AF, Peralta-Rodríguez RD (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 5(9), 31-37.

Sabir FK, Agar IT. (2010). Effects of modified atmosphere packaging on postharvest quality and storage of mature green and pink tomatoes. *Acta Horticulturae*. 876, 201-208. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.876.26>

Sandhya L. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Food Science and Technology*. 43, 381-392.

Salvador A, Cuquerella J, Monterde A. (2003). Efecto del quitosano aplicado como recubrimiento en mandarinas fortune. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 5(2), 122-127. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81350209>

- Shiva R, Asghar R, Majid R. (2019). Nano-calcium and its potential to improve 'Red Delicious' apple fruit characteristics; research report. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00168-y>
- Singh V, Hedayetullah M, Zaman P, Meher J. (2014). Postharvest technology of fruits and vegetables: An overview. *Journal of Postharvest Technology*. 2(2), 124-135.
- Singh KP, Kumar R, Verma PK. (2017). Opportunities in floriculture for livelihood security. *Advances in Floriculture and Landscape Gardening*. pp. 66.
- Sogvar OB, Koushesh Saba M, Emamifar A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest. Biol. Technol.* 114, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>
- Soriano-Melgar LAA, López-Guerrero AG, Cortéz-Mazatan G, Mendoza-Mendoza E, Peralta-Rodríguez RD. (2018). Nanopartículas de óxido de zinc y óxido de zinc/grafeno empleadas en soluciones florero durante la vida poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Agroproductividad*. 11(8), 137-144.
- Stadler T, Buteler M, Weaver DK. (2010). Nanoinsecticidas: Nuevas perspectivas para el control de plagas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 69(3-4), 149-156. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322028487016>
- Sumanta N, Haque CI, Nishika J, Suprakash R. (2014). Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*. 4(9), 63-69.
- Tang XZ, Li X, Cao Z, Yang J, Wang H, Pu X, Yu ZZ. (2013). Síntesis de grafeno decorado con nanopartículas de plata por reducción simultánea de óxido de plata y los iones de grafeno con glucosa. *Carbón*. 59, 93-99.
- Thakur R, Pristijono P, Golding JB, Stathopoulos CE, Scarlett CJ, Bowyer M, Vuong QV. (2018). Development and application of rice starch based edible coating to improve the postharvest storage potential and quality of plum fruit (*Prunus salicina*). *Scientia Horticulturae*. 237, 59-66. <https://doi:10.1016/j.scienta.2018.04.005>

- Tsuchida H, Kozukue N, Han GP, Choi SH, Levin CE, Friedman M. (2010). Low-temperature storage of cucumbers induces changes in the organic acid content and in citrate synthase activity. *Postharvest Biol. Technol.* 58(2), 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.06.006>
- Uclés A, López SH, Hernando MD, Rosal R, Ferrer C, Fernández-Alba AR. (2015). Application of zirconium dioxide nanoparticle sorbent for the clean-up step in post-harvest pesticide residue analysis. *Talanta.* 144, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.05.055>
- Usten NH, Yokas AL, Saygili H. (2006). Influencia de potasio y nivel de calcio en la severidad de la necrosis de tomate médula y rendimiento de tomates de invernadero. *ISHS Acta Hortic.* 808, 345-350.
- Valencia S, Torres J. (2016). Recubrimientos comestibles aplicados en productos de IV y V gamma. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha.* 17(2), 162-174. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041004>
- Vargas M, González-Martínez C, Chiralt A, Cháfer M. (2007). Estudio preliminar del uso de recubrimientos de quitosano y de microorganismos eficaces en el control postcosecha de la podredumbre azul de naranjas. En: V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. 1416-1423.
- Velázquez DM, Romero WC, Lara EG, Martínez A, Díaz JM, Díaz BB. (2013). Postharvest physicochemical changes in three cucumber cultivars with and without plastic film. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 4(6), 909-920.
- Vidal-Montero C. (2017). Evaluación del efecto de recubrimientos poliméricos en la conservación de calidad y vida postcosecha de naranja (*Citrus x sinensis*). Tesis de Maestría. CIQA. México. 103 pp.
- Waliszewski KN, Cortes HD, Pardo VT, Garcia MA. (1999). Color parameter changes in banana slices during osmotic dehydration. *Dry Technol.* 17, 955-960.
- White PJ, Broadley MR. (2003). de calcio en las plantas. *Ann Bot.* 92, 487-511.
- Xiao CL, Zhu LW, Luo W, Song XY, Deng Y. (2010). Combined action of pure oxygen pretreatment and chitosan coating incorporated with rosemary extracts on the quality

of fresh-cut pears. *Food Chem.* 121, 1003-1009.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.038>

Yan J, Luo Z, Ban Z, Lu H, Li D, Yang D, Li L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 147, 29-38. <https://doi:10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>

Yang T, Whitaker DB, Conway SW. (2010). Expression analysis of calmodulin and calmodulin-binding transcription factor SR gene family in tomato. *Plant Biology Electronic Abstract Center*. p. 08133.

Zhang Y, Yang F, Jiang S. (2014). Study on the properties of citric acid/PVA antibacterial films. *Packag Eng.* 35(21), 10-14.

IX. ANEXOS

ANEXO 1. DESHIDRATACIÓN.

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	1.761534E-02	4.403836E-03	0.94	0.441022	0.297855
S	360	1.687364	4.687123E-03			
Total (Adjusted)	364	1.70498				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
9.174577E-02	4.362487E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=4.687123E-03 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
Latex	73 A	0.739726	
NP CaO 100	73 A	0.739726	
NP CaO 50	73 A	0.7432877	
NP CaO 150	73 A	0.7490411	
Sin Latex	73 A	0.7580822	

ANEXO 2. CAMBIO DE COLOR/ DAÑO

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	1.045918E-02	2.614795E-03	0.68	0.607255	0.220281
S	360	1.387419	3.853942E-03			
Total (Adjusted)	364	1.397878				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
8.136981E-02	2.360379E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=3.853942E-03 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
Latex	73 A	0.7512329	
NP CaO 100	73 A	0.7627397	
NP CaO 50	73 A	0.7630137	
Sin Latex	73 A	0.7643836	
NP CaO 150	73 A	0.7665753	

ANEXO 3. CALIDAD GENERAL.
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	7.184658E-03	1.796164E-03	0.42	0.791473	0.148972
S	360	1.52583	4.238417E-03			
Total (Adjusted)	364	1.533015				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
8.621711E-02	3.498419E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=4.238417E-03 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
Latex	73 A	0.7463014	
NP CaO 100	73 A	0.7484931	
NP CaO 50	73 A	0.7553425	
Sin Latex	73 A	0.7561644	
NP CaO 150	73 A	0.7572603	

ANEXO 4. COLOR L*.
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	256.5619	64.14047	3.60	0.006898*	0.871346
S	360	5683.811	17.81759			
Total (Adjusted)	364	8431.047				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.3485034	0.2841967

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=22.91525 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 150	76 B	12.6374	NP CaO 100
Latex	76 AB	13.33658	
NP CaO 50	76 AB	14.19192	
Sin Latex	76 AB	14.23885	
NP CaO 100	76 A	14.75125	NP CaO 150

**ANEXO 5. COLOR a*.
Analysis of Variance Report**

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	79.74707	19.93677	3.13	0.014871*	0.816001
S	360	2283.228	6.359966			
Total (Adjusted)	364	2362.975				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
-0.2593394	-0.1788466

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=6.359966 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 150	73 B	-10.36671	NP CaO 100
Sin Latex	73 AB	-10.2963	NP CaO 100
NP CaO 50	73 AB	-9.88548	
Latex	73 AB	-9.492602	
NP CaO 100	73 A	-9.139444	NP CaO 150, Sin Latex

**ANEXO 6. COLOR b*.
Analysis of Variance Report**

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	595.29	148.8225	4.92	0.000714*	0.958829
S	360	10859.81	30.25017			
Total (Adjusted)	365	11455.1				
Total	364					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.3115853	0.2388832

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=30.25017 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 150	73 B	16.89685	Sin Latex
NP CaO 50	73 B	17.39137	Sin Latex
Latex	73 B	17.53575	Sin Latex
NP CaO 100	73 B	17.80389	Sin Latex
Sin Latex	73 A	20.51356	NP CaO 150, NP CaO 50, Latex, NP CaO 100

**ANEXO 7. PÉRDIDA DE PESO (%PP).
Analysis of Variance Report**

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	118.2785	29.56962	12.87	0.000000*	0.999993
S	360	762.6321	2.297085			
Total (Adjusted)	364	9498.922				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.6732548	0.5496117

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=24.55462 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 50	73 B	6.992	Latex
Sin Latex	73 B	7.147368	Latex
NP CaO 150	73 B	7.603553	Latex
NP CaO 100	73 B	7.625	Latex
Latex	73 A	8.556216	NP CaO 50, Sin Latex, NP CaO 150 NP CaO 100

**ANEXO 8. FIRMEZA.
Analysis of Variance Report**

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	0.7010834	0.1752709	0.32	0.867356	0.120894
S	360	191.4712	0.5549889			
Total (Adjusted)	364	192.1723				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.2082106	0.1497512

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=0.5549889 Critical Value=3.8781

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 100	73 A	3.490348	
NP CaO 50	73 A	3.541898	
Sin Latex	73 A	3.568472	
NP CaO 150	73 A	3.599775	
Latex	73 A	3.617942	

ANEXO 9. PH
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	1.147078	0.2867696	17.60	0.000000*	1.000000
S	360	5.848533	1.629118E-02			
Total (Adjusted)	364	6.995611				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.0263695	2.082898E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=1.629118E-02 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	73 C	5.162329	NP CaO 150, Latex, NP CaO 100, NP CaO 50
NP CaO 150	73 B	5.25452	Sin Latex, NP CaO 50
Latex	73 AB	5.284794	Sin Latex
NP CaO 100	73 AB	5.294583	Sin Latex
NP CaO 50	73 A	5.326712	Sin Latex, NP CaO 150

ANEXO 10. SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST).
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	0.2337425	5.843562E-02	0.68	0.605050	0.221197
S	360	30.77601	8.572705E-02			
Total (Adjusted)	364	31.00975				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
8.285112E-02	6.208791E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=8.572705E-02 Critical Value=3.8773

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	73 A	3.483562	
NP CaO 150	73 A	3.521918	
NP CaO 50	73 A	3.530137	
NP CaO 100	73 A	3.545833	
Latex	73 A	3.557534	

ANEXO 11. ACIDEZ TITULABLE.
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	3.021118E-04	7.552794E-05	1.11	0.351337	0.349372
S	360	2.435039E-02	6.801786E-05			
Total (Adjusted)	364	0.0246525				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.1015097	7.586353E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=6.801786E-05 Critical Value=3.8774

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 50	73 A	8.048219E-02	
NP CaO 100	73 A	8.067606E-02	
Latex	73 A	8.074521E-02	
NP CaO 150	73 A	8.162192E-02	
Sin Latex	73 A	8.293699E-02	

ANEXO 12. ÍNDICE DE MADUREZ.
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	4	184.942	46.2355	1.47	0.211479	0.455108
S	360	11246.35	31.50239			
Total (Adjusted)	364	11431.3				
Total	365					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.1284316	9.950792E-02

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=360 MSE=31.50239 Critical Value=3.8775

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	73 A	42.58377	
NP CaO 150	73 A	43.45589	
NP CaO 100	73 A	44.20111	
NP CaO 50	73 A	44.39541	
Latex	73 A	44.45432	

ANEXO 13. CLOROFILAS *a* EN CÁSCARA.
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	103.7759	25.94398	4.00	0.003858*	0.904104
S	200	1292.313	6.494034			
Total (Adjusted)	204	1396.089				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.3702216	0.3139787

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=6.494034 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	41 B	5.919268	NP CaO 150, NP CaO 100
Latex	41 AB	6.609756	
NP CaO 50	41 AB	7.456585	
NP CaO 150	41 A	7.689756	Sin Latex
NP CaO 100	41 A	7.7585	Sin Latex

ANEXO 14. CLOROFILAS *b* EN CÁSCARA.
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	575.579	143.8947	14.97	0.000000*	0.999999
S	200	1913.332	9.614732			
Total (Adjusted)	204	2488.911				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.4476244	0.3153627

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=9.614732 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	41 C	4.943415	Latex, NP CaO 150, NP CaO 100, NP CaO 50
Latex	41 B	6.911707	Sin Latex, NP CaO 150, NP CaO 100, NP CaO 50
NP CaO 150	41 A	8.876098	Sin Latex, Latex
NP CaO 100	41 A	9.104	Sin Latex, Latex
NP CaO 50	41 A	9.308292	Sin Latex, Latex

ANEXO 15. CLOROFILAS TOTALES EN CÁSCARA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	1156.735	289.1839	12.72	0.000000*	0.999991
S	200	4524.018	22.73376			
Total (Adjusted)	204	5680.754				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.35488	0.2709909

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=22.73376 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	41 B	10.86293	NP CaO 150, NP CaO 50, NP CaO 100
Latex	41 B	13.52195	NP CaO 150, NP CaO 50, NP CaO 100
NP CaO 150	41 A	16.56707	Sin Latex, Latex
NP CaO 50	41 A	16.76488	Sin Latex, Latex
NP CaO 100	41 A	16.863	Sin Latex, Latex

ANEXO 16. CLOROFILAS a EN PULPA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	8.125747	2.031437	1.96	0.102796	0.581945
S	200	206.7409	1.038899			
Total (Adjusted)	204	214.8666				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.3619145	0.2701017

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=1.038899 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 50	41 A	2.552195	
Latex	41 A	2.669756	
Sin Latex	41 A	2.943659	
NP CaO 150	41 A	2.966585	
NP CaO 100	41 A	3.08725	

ANEXO 17. CLOROFILAS *b* EN PULPA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	76.15768	19.03942	2.62	0.036399*	0.726707
S	200	1447.996	7.276361			
Total (Adjusted)	204	1524.154				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.3613155	0.2822957

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=7.276361 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 50	41 A	7.171463	
NP CaO 100	41 A	7.2	
Latex	41 A	7.236585	
Sin Latex	41 A	7.52561	
NP CaO 150	41 A	8.775366	

ANEXO 18. CLOROFILAS TOTALES EN PULPA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	103.2637	25.81593	2.18	0.073042	0.634846
S	200	2360.92	11.86392			
Total (Adjusted)	204	2464.184				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.3341701	0.2628385

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=11.86392 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 50	41 A	9.72317	
Latex	41 A	9.906097	
NP CaO 100	41 A	10.28675	
Sin Latex	41 A	10.46829	
NP CaO 150	41 A	11.74268	

ANEXO 19. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES EN CÁSCARA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	340084.1	85021.02	7.25	0.000018*	0.995513
S	200	2332084	11719.01			
Total (Adjusted)	204	2672168				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.2722693	0.2159486

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=11719.01 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	41 B	343.8449	NP CaO 100, NP CaO 150, NP CaO 50, Latex
NP CaO 100	41 A	426.1403	Sin Latex
NP CaO 150	41 A	428.9132	Sin Latex
NP CaO 50	41 A	448.3929	Sin Latex
Latex	41 A	459.779	Sin Latex

ANEXO 20. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES EN PULPA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	48720.32	12180.08	6.01	0.000139*	0.984391
S	200	403362.3	2026.947			
Total (Adjusted)	204	452082.7				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.2050552	0.1651743

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=2026.947 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	41 C	209.0044	NP CaO 150, NP CaO 50
NP CaO 100	41 BC	216.0683	NP CaO 50
Latex	41 ABC	234.2956	
NP CaO 150	41 AB	240.0244	Sin Latex
NP CaO 50	41 A	250.959	Sin Latex, NP CaO 100

ANEXO 21. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL EN CÁSCARA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	1.954594	0.4886484	3.66	0.006673*	0.874328
S	200	26.55593	0.1334469			
Total (Adjusted)	204	28.51053				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.2548376	0.2283782

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=0.1334469 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
Sin Latex	41 B	1.314634	NP CaO 100
NP CaO 50	41 AB	1.452683	
NP CaO 150	41 AB	1.461463	
Latex	41 AB	1.50878	
NP CaO 100	41 A	1.619	Sin Latex

ANEXO 22. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL EN PULPA
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamientos	4	3.152755	0.7881888	3.43	0.009788*	0.848996
S	200	45.75696	0.2299345			
Total (Adjusted)	204	48.90972				
Total	205					

* Term significant at alpha = 0.05

Coefficient Variation	Coefficient of Dispersion
0.2893532	0.2994466

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Alpha=0.050 Error Term=S DF=200 MSE=0.2299345 Critical Value=3.8933

Group	Count	Mean	Different From Groups
NP CaO 150	41 B	1.604146	Sin Latex
NP CaO 50	41 B	1.623171	Sin Latex
NP CaO 100	41 B	1.6305	Sin Latex
Latex	41 AB	1.683902	
Sin Latex	41 A	1.938537	NP CaO 150, NP CaO 50, NP CaO 100