

Estudio comparativo de dos recubrimientos comestibles a base de biopolímeros y cinamaldehído en la conservación de pepino *Cucumis sativus* L.

Comparative study of two edible coatings based on biopolymers and cinnamaldehyde in the conservation of cucumber *Cucumis sativus* L

José Luis Cevallos-Lino^a  josecevalloslino@gmail.com

Marlon Reinaldo Castro-García^a  marlon.castro@uleam.edu.ec

Vanessa Gabriela Espinoza-Posligua^a  apsanchezg@sena.edu.co

Julio Enrique Ávila-Roca^a  julio.avila@uleam.edu.ec

Cesar Fabian López-Zambrano^a  cesar.lopez@uleam.edu.ec

Italo Pedro Bello-Moreira^a  italop.bello@uleam.edu.ec

^aUniversidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Laboratorio de Investigación de Ciencias de Alimentos, Avenida circunvalación, Manta Ecuador., P.O. Box 13-05-2732

Recibido: 07/05/2022 Aceptado: 27/11/2022

Citar, APA: Cevallos-Lino, J. L., Castro-García, M. R., Espinoza-Posligua, V. G., Ávila-Roca, J. E., López-Zambrano, C. F., y Bello-Moreira, I. P. (2023). Estudio comparativo de dos recubrimientos comestibles a base de biopolímeros y cinamaldehído en la conservación de pepino *Cucumis sativus* L. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (1), 64–79. <https://doi.org/10.23850/24220582.4756>

Resumen Se estudió la conservación de frutos de pepino *Cucumis sativus* L. con recubrimientos comestibles a base de almidón de yuca y quitosano, incorporándole cinamaldehído. Las muestras fueron tratadas con recubrimientos de almidón y quitosano al 1 % (p/v) y aceite esencial en concentraciones de 0,05 % y 0,15 % (v/v), respectivamente. Las muestras se almacenaron a 10 °C y 80 % de humedad relativa durante 21 días. Se evaluó sólidos solubles, acidez titulable, pH, firmeza y pérdida de peso cada 24 horas, y los análisis microbiológicos se evaluaron cada 72 horas. Se determinó que el tratamiento T4 (quitosano 1% + cinamaldehído 0,15%) extendió la vida útil de los frutos de pepino en 8 días en comparación con los pepinos sin recubrimiento (control). Adicionalmente, se observó que los tratamientos presentaron mayor firmeza y menor pérdida de peso en comparación con el control. En relación con el análisis microbiológico de mohos y levaduras, los resultados demuestran que los tratamientos T3 (quitosano 1% + cinamaldehído 0,05%), y T4 (quitosano 1% + cinamaldehído 0,15%) fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) a los otros tratamientos y al control durante los 21 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos en este estudio expresan la eficacia de los recubrimientos comestibles de quitosano con cinamaldehído como método de conservación en postcosecha del pepino.

Palabras clave: conservación; quitosano; almidón; cinamaldehído, pepino.

Abstract We studied edible coatings based on cassava starch and chitosan incorporating it (cinnamaldehyde) to preserve cucumber *Cucumis sativus* L. fruits. The samples were treated with coatings of starch and 1% (w / v) chitosan and essential oil in concentrations of 0,05% and 0,15% (v / v). The samples were stored at 10 °C and 80% relative humidity for 21 days. Soluble solids, titrable acidity, pH, firmness, and weight loss were evaluated every 24 hours, microbiological analyzes were evaluated every 72 hours. It was determined that the treatment T4 (chitosan 1% + cinnamaldehyde 0,15%) extended the useful life of the cucumber fruits in 8 days in comparison with the uncoated cucumbers (control). Additionally, it was observed that the treatments showed greater firmness and less weight loss compared to the control. In relation to the microbiological analysis of molds and yeasts, the results show that the treatments T3 (chitosan 1% + cinnamaldehyde 0,05%), and T4 (chitosan 1% + cinnamaldehyde 0,15%) were statistically different ($p < 0,05$) to the other treatments and to the control during the 21 days of storage. The results obtained in this study express the efficacy of the edible coatings of chitosan with cinnamaldehyde as a postharvest conservation method for cucumber.

Keywords: conservation; chitosan; starch; cinnamon; foods.

Introducción

En el Ecuador se cultiva pepino en los valles secos y cálidos de la región interandina, en las zonas secas y subhúmedas de la costa. Según datos de Guerrero-Morales y Troya-Andrade (2004) esta hortaliza tiene una superficie de siembra de 532 hectáreas en la provincia de Manabí, con rendimientos de 16,20 Tm/ha (Muñoz-Macías, 2015). En el cantón Rocafuerte este cultivo registra 63 ha sembradas, con un rendimiento promedio de 6,40 Tm/ha¹, y ha tenido un auge de producción durante los últimos años en el país, en donde su comercialización se destina preferente al mercado local y provincial, según lo indicado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP) (Muñoz-Macías, 2015).

El cultivo de pepino es muy frecuente bajo condiciones de invernadero (Gálvez, 2004) a diferencia del que se cultiva en campo abierto, como tradicionalmente se realiza en la costa ecuatoriana. Esto provoca problemas de tipo fitosanitario, que se incrementan con el aumento del ciclo vegetativo y el mal manejo. También se presentan inconvenientes postcosecha como el ataque fúngico, el marchitamiento y la pérdida de turgencia causados por la pérdida de agua Siller *et al.* (2000). La antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* es considerada una de las enfermedades más importantes en frutos tropicales, dentro de los que se encuentra al pepino (Mulkay *et al.*, 2012).

Se estima que las pérdidas postcosecha de los productos hortofrutícolas que se producen en el mundo sobrepasan el 20 % debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos, como consecuencia de: factores de orden tecnológico, inadecuados procesos de recolección, uso de empaques no apropiados, insuficientes vías para el transporte, entre otros, lo que se traduce en un corto período de almacenamiento (Almeida *et al.*, 2011).

Con el objetivo de evitar o minimizar los efectos adversos de los factores citados y prolongar la vida postcosecha de los productos hortofrutícolas, se han implementado diferentes tecnologías como el almacenamiento a bajas temperaturas, la aplicación de radiaciones gamma

y ultravioleta, el control biológico, la conservación por atmósfera controlada, la utilización de empaques plásticos, el uso de películas, y la aplicación de recubrimientos comestibles, entre otras (Núñez *et al.*, 2012; Aguilar, 2012).

La aplicación de recubrimientos comestibles revela un papel significativo en la vida de anaquel de los alimentos debido a que reduce la pérdida de agua, permite el control respiratorio, retrasa el envejecimiento, y mejora la calidad y el valor comercial de los mismos; por lo que se mantienen sus atributos de calidad y valor nutritivo. Por tal motivo, investigaciones han dedicado sus estudios a la aplicación de estas tecnologías a una amplia gama de productos hortofrutícolas (Restrepo y Aristizábal, 2010).

Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz transparente continua, comestible, y delgada; que se estructura alrededor de un alimento, generalmente, mediante la inmersión de este en una solución formadora del recubrimiento, con el fin de preservar su calidad, y servir de empaque. Por otra parte, una película comestible (PC) es una matriz preformada, obtenida por moldeo, cuyo espesor siempre es mayor al de los RC (Del-Valle *et al.*, 2005). Dichas soluciones formadoras de la película o recubrimiento pueden estar conformadas por un polisacárido, compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de éstos. A pesar de sus diferencias, ambas proceden de igual manera frente a diversas sustancias que actúan sobre el alimento como barrera frente al transporte de gases y vapor de agua, durante su conservación.

En tal efecto, surge la importancia de potenciar la agroindustria en Ecuador como sector muy importante que figura en la política económica de este país, para que propicie estrategias que mejoren la producción agroindustrial, con la búsqueda de nuevas tecnologías factibles y amigables con el ambiente que contribuyan al aumento de la producción y prolonguen el tiempo de vida útil de los alimentos. En este sentido, como objetivo de esta investigación se establece el estudio comparativo de dos recubrimientos comestibles a base de biopolímeros y cinamaldehído en la conservación de pepino (*Cucumis sativus* L.).

Metodología

Preparación de las soluciones de recubrimiento

El recubrimiento de almidón de yuca fue preparado de acuerdo con Santacruz *et al.* (2015): una solución de almidón de yuca al 1 % fue calentada a 90 °C, durante 5 minutos. Una vez que la solución alcanzó la temperatura ambiente se añadió 0,05 % ó 0,15 % de cinamaldehído, respectivamente, para cada tratamiento. El recubrimiento de quitosano se preparó mediante una solución de quitosano al 1 % (p/v) en solución de ácido acético al 1 % (v/v). Se añadió 0,05 % y 0,15 % de cinamaldehído, respectivamente, para cada tratamiento. Finalmente, las soluciones se homogenizaron mediante un ultraturrax (Polytron, Suiza) a 11000

rpm por 4 minutos de acuerdo con el método propuesto por Santacruz *et al.* (2015).

Diseño experimental

El análisis estadístico se realizó con el programa InfoStat versión 2017, con un diseño completamente al azar en arreglo bifactorial A x B+1. Se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento (Tabla 1); para evaluar la influencia de los recubrimientos sobre la pérdida fisiológica de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, textura instrumental, índice de deterioro cada 24 horas. La proliferación de mohos y levaduras se evaluó cada 72 horas, durante 21 días de almacenamiento, a una temperatura controlada de 10 °C y 85 % de humedad relativa. El análisis de varianza se realizó con ANOVA simple, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 1

Proporciones de cada tratamiento utilizado para la conservación de pepino

| Tratamientos | Biopolímeros | Cinamaldehído |
|--------------|---------------------------|---------------|
| T1 | Almidón de yuca (1 % p/v) | 0,05 % |
| T2 | Almidón de yuca (1 % p/v) | 0,15 % |
| T3 | Quitosano (1 % p/v) | 0,05 % |
| T4 | Quitosano (1 % p/v) | 0,15 % |
| Control | - | - |

Nota. Elaboración propia.

Análisis de determinación de pérdida fisiológica de peso

Para determinar la pérdida de peso, se registró el peso inicial y el peso final de los pepinos a lo largo de su almacenamiento, mediante el uso de una balanza digital (Sartorius, Alemania). Los resultados fueron expresados como porcentaje de pérdida de peso, con respecto al peso inicial utilizando la ecuación 1 (González-Aguilar *et al.*, 2008).

$$\text{Ecuacion 1} \quad PP = \frac{pi - pf}{pi} \times 100$$

Dónde:

PP= pérdida de peso

pi = peso inicial de la muestra

pf = peso final de la muestra

Determinación de pH

Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico, se utilizaron aproximadamente 50 g de pulpa de pepino que fueron triturados en una licuadora. Posteriormente, se realizó un proceso de filtrado en tela de lienzo. El jugo obtenido se analizó con electrodo de vidrio, mediante el método AOAC 981,12 (Association of official Analytical Chemists [AOAC International], 1980).

Acidez titulable (AT)

La acidez titulable se determinó por triplicado, se utilizaron aproximadamente 50 g de pulpa de pepino que fueron triturados con licuadora. Posteriormente, se realizó un proceso de filtrado en tela de lienzo. El jugo obtenido se analizó mediante valoración con solución de hidróxido de

sodio (NaOH) 0,01 M, de acuerdo con el método de la AOAC International (1984). Los resultados fueron reportados como porcentaje de ácido cítrico, mediante la ecuación 2:

Ecuación 2

$$\% A = \frac{(V1) * (N) * (M)}{V2} \times 100$$

Dónde:

% A = Acidez expresada en porcentaje de ácido cítrico

V1 = Volumen gastado en mililitros de NaOH

N = Normalidad del NaOH

M = Peso molecular del ácido usado como referencia

V2 = Volumen diluido de la muestra

Sólidos solubles totales (SST)

Se utilizaron aproximadamente 50 g de pulpa de pepino que fueron triturados con una licuadora. Posteriormente, se realizó un proceso de filtrado en tela de lienzo. Con el jugo obtenido se analizó la cantidad de sólidos solubles, con el uso de un refractómetro digital (Atago, Japón), reportándose los resultados como ° Brix (AOAC International, 1990).

Textura instrumental

Para la medición de la firmeza se utilizaron 3 pepinos de control y 3 de cada tratamiento. El

análisis de penetración se realizó a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) mediante un texturómetro. Las medidas se realizaron en la misma sección de la fruta para todas las muestras. Los resultados fueron analizados mediante el software Trapezium X. Se utilizó una placa circular de 12 cm de diámetro y el ensayo de penetración se realizó con un punzón de 8 cm de longitud y 2 mm de diámetro a una velocidad 10 mm/min, con una penetración en la fruta de 30 mm. Los resultados se expresaron como la fuerza máxima (N) necesaria para penetrar en la pulpa del vegetal (Castro *et al.*, 2015).

Análisis microbiológico

Los recuentos microbiológicos se realizaron los días 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, y 21 del período de almacenamiento. El conteo de mohos y levaduras se realizó de acuerdo con el método 997.02. (AOAC International, 2000).

Resultados y discusión

Pérdida fisiológica de peso

En la Tabla 2 los datos muestran diferencias estadísticas entre medias en la pérdida de peso de los tratamientos y el control. Se observa que el tratamiento 4 (T4) fue el que mostró el menor valor en la pérdida de peso, a diferencia del testigo, que mostró una mayor pérdida de peso durante los 21 días del período de almacenamiento.

Tabla 2

Pérdida de peso (%) en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano adicionándole cinamaldehído, almacenados durante 21 días a 10 °C y 80% de humedad relativa

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0,56 ^c | 0,58 ^c | 0,43 ^b | 0,20 ^a | 1,00 ^d |
| 2 | 1,23 ^b | 1,26 ^c | 1,20 ^a | 0,25 ^b | 2,80 ^d |
| 3 | 1,32 ^d | 1,29 ^c | 1,22 ^b | 0,26 ^a | 2,99 ^e |
| 4 | 1,40 ^c | 1,49 ^d | 1,25 ^b | 0,28 ^a | 3,40 ^e |
| 5 | 2,00 ^b | 2,12 ^c | 1,97 ^b | 1,20 ^a | 4,50 ^d |
| 6 | 2,24 ^c | 2,35 ^d | 2,00 ^b | 1,33 ^a | 6,00 ^e |
| 7 | 2,45 ^c | 2,86 ^d | 2,16 ^b | 1,57 ^a | 6,44 ^e |
| 8 | 3,11 ^c | 3,36 ^d | 2,80 ^b | 2,02 ^a | 7,67 ^e |
| 9 | 3,77 ^c | 4,16 ^d | 3,05 ^b | 2,20 ^a | 8,90 ^e |

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 10 | 4,98 ^c | 5,73 ^d | 3,41 ^b | 2,70 ^a | 9,33 ^e |
| 11 | 5,00 ^c | 5,94 ^d | 4,44 ^b | 3,11 ^a | 10,12 ^e |
| 12 | 5,34 ^c | 6,46 ^d | 5,15 ^b | 3,54 ^a | 10,55 ^e |
| 13 | 5,98 ^c | 6,55 ^d | 5,49 ^b | 3,99 ^a | 11,23 ^e |
| 14 | 6,13 ^c | 7,77 ^d | 5,87 ^b | 4,34 ^a | 11,58 ^e |
| 15 | 6,50 ^c | 8,00 ^d | 5,94 ^b | 4,66 ^a | 11,90 ^e |
| 16 | 6,91 ^c | 8,85 ^d | 6,03 ^b | 4,94 ^a | 13,30 ^e |
| 17 | 7,37 ^c | 9,13 ^d | 6,13 ^b | 5,15 ^a | 13,45 ^e |
| 18 | 8,28 ^c | 9,96 ^d | 6,32 ^b | 5,35 ^a | 14,32 ^e |
| 19 | 8,80 ^c | 10,45 ^d | 6,39 ^b | 5,41 ^a | 15,45 ^e |
| 20 | 9,88 ^c | 10,50 ^d | 6,73 ^b | 5,86 ^a | 16,00 ^e |
| 21 | 9,90 ^c | 10,83 ^d | 7,09 ^b | 6,06 ^a | 16,78 ^e |

Nota. Los valores corresponden a la media de 3 réplicas. Las letras en superíndices muestran las diferencias estadísticas por día ($\alpha = 0,05$). Elaboración propia.

La Tabla 2 muestra la evolución de la pérdida de peso de las muestras de control en comparación con los pepinos recubiertos a lo largo de los 21 días de almacenamiento a 10 °C. Los pepinos tratados con quitosano + cinamaldehído en concentraciones de 0,05 % (T3) y 0,15 % (T4), presentaron la menor pérdida de peso durante los 21 días de almacenamiento, siendo el T4 el de menor pérdida con un valor de 6,06 %, seguido de los tratamientos T3, T1 y T2 con valores de 7,09 %; 9,90 %; 10,83 %, respectivamente. Durante el período de estudio, los pepinos de control demuestran la mayor pérdida de peso registrada con valores de 16,78 %, luego de 21 días del periodo de almacenamiento.

Según los resultados, se puede inferir que la mayor pérdida de peso que expresaron las muestras de control se debió a una deshidratación del producto por los cambios fisiológicos y procesos de senescencia en el almacenamiento. En ausencia del recubrimiento comestible, carecen de una barrera de protección como la de las muestras de los otros tratamientos.

La menor pérdida de peso se observó en los pepinos tratados con recubrimiento (quitosano 1 % + cinamaldehído 0,15 %), este comportamiento se atribuye a la capa superficial que se forma en el fruto recubierto. Esta capa contribuye a la reducción del intercambio de gases, minimiza

de la velocidad de respiración, y por ende, la pérdida de agua (Castro *et al.*, 2015).

Todos los tratamientos presentaron una disminución de peso a lo largo del almacenamiento, un efecto similar fue reportado por Trejo-Márquez *et al.* (2007) en su investigación sobre fresas conservadas con recubrimiento a base de gelatina y ácido acético, afirman que las menores pérdidas de peso se produjeron en los tratamientos con relación al control. Un porcentaje de esta pérdida de peso pudo corresponder a la pérdida de agua que ocurre durante el proceso de respiración, como se reporta en zanahoria cortada y rallada (Izumi *et al.*, 1996).

Las pérdidas de peso en los frutos se incrementan como consecuencia de la transpiración después de la cosecha y significa una disminución de la calidad y aceptabilidad (Cuquerella *et al.*, 1983). Los procesos de almacenamiento prolongado, el pelado y cortado de la fruta, exponen los tejidos al medio ambiente y favorecen la evaporación del agua (Brecht, 1995).

Fias *et al.* (2003) menciona que la pérdida de peso en los alimentos es congruente con la tasa de transpiración, que representa a la difusión del H₂O y demás sustancias volátiles presentes

en las frutas, por medio de la epidermis, esto como resultado del (proceso de respiración y transpiración) metabolismo. Esto lo describe mediante la primera ley de Fick, que implanta que el flujo de un gas a través de una barrera de tejido es proporcional al gradiente de concentración. Otros autores expresan resultados donde se obtuvieron derivados de investigaciones realizadas con concentraciones de 0; 1; 2; y 3 % de almidón, que dan cuenta de pérdidas en el peso de 4,40; 4,26; 3,93 y 3,88 % en papaya (Canto-Pereira *et al.*, 2006) y valores de 16; 15; 13,5; 9,5% en estudios de mango (Scanavaca *et al.*, 2007), (inversamente proporcional a la concentración del almidón). También se reportan pérdidas de

peso en un 6,9 % en frutas de aguacate (Aguilar-Méndez *et al.*, 2008), 5 % en tomate de mesa (Sothornvit y Rodsamran, 2008), 6,54 % y 4,3 % en muestras de frutos que fueron tratados con zeína (Zapata *et al.*, 2007).

pH

La Tabla 3 muestra que existe diferencia significativa en el pH de los tratamientos y el control. Se observa que las muestras del control evidenciaron el mayor valor en pH a diferencia del tratamiento T4 que mostró un menor incremento en el pH durante los 21 días del periodo de almacenamiento.

Tabla 3

Variación del pH en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano adicionándole cinamaldehído, almacenados durante 21 días a 10 °C y 80 % de humedad relativa

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 2 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 3 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 4 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 5 | 5,01 ^b | 5,01 ^b | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,02 ^c |
| 6 | 5,07 ^b | 5,01 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,02 ^a |
| 7 | 5,07 ^c | 5,01 ^{ab} | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,02 ^b |
| 8 | 5,10 ^b | 5,05 ^{ab} | 5,01 ^a | 5,00 ^a | 5,03 ^a |
| 9 | 5,10 ^a | 5,05 ^a | 5,01 ^a | 5,02 ^a | 5,49 ^b |
| 10 | 5,10 ^a | 5,09 ^a | 5,01 ^a | 5,02 ^a | 5,77 ^b |
| 11 | 5,10 ^b | 5,09 ^b | 5,01 ^a | 5,02 ^a | 5,80 ^c |
| 12 | 5,11 ^b | 5,09 ^b | 5,01 ^a | 5,03 ^a | 5,90 ^c |
| 13 | 5,12 ^c | 5,11 ^c | 5,02 ^a | 5,07 ^b | 6,00 ^d |
| 14 | 5,14 ^b | 5,12 ^b | 5,04 ^a | 5,07 ^a | 6,02 ^c |
| 15 | 5,14 ^c | 5,13 ^c | 5,04 ^a | 5,10 ^b | 6,02 ^d |
| 16 | 5,16 ^a | 5,14 ^a | 5,10 ^a | 5,10 ^a | 6,06 ^b |
| 17 | 5,25 ^c | 5,17 ^b | 5,11 ^a | 5,11 ^a | 6,06 ^d |
| 18 | 5,26 ^b | 5,22 ^b | 5,13 ^a | 5,11 ^a | 6,07 ^c |
| 19 | 5,60 ^b | 5,29 ^a | 5,15 ^a | 5,12 ^a | 6,08 ^c |
| 20 | 5,64 ^c | 5,51 ^{bc} | 5,21 ^{ab} | 5,16 ^a | 6,08 ^d |
| 21 | 5,85 ^c | 5,51 ^b | 5,26 ^{ab} | 5,19 ^a | 6,08 ^c |

Nota. Los valores corresponden a la media de 3 réplicas. Las letras en superíndices muestran las diferencias estadísticas por día ($\alpha = 0,05$).

En los resultados presentados en la Tabla 4 se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) en el pH de los pepinos del control, en comparación con los tratamientos T1; T2; T3; T4. En T1 y T2 ocurre un incremento en el valor de pH a partir del día 5 y para T3 y T4 el aumento es a partir del día 8 y 9 del periodo de almacenamiento. Para las muestras del control se reporta un mayor pH, con un valor de 5 para el día 0 y de 6,08 para el día 21; a diferencia de las muestras del T4 que evidencian el menor valor de pH (5 en el día 0; hasta 5,19 para el día 21), seguidas de las muestras del T3; T2; y T1 (5,26; 5,51 y 5,85, respectivamente).

El aumento del pH en todos los tratamientos, durante el almacenamiento, se puede sustentar en la disociación del ácido cítrico

Tabla 4

Acidez titulable en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano adicionándole cinamaldehído, almacenados durante 21 días a 10 °C y 80 % de humedad relativa

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 2 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 3 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 4 | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a |
| 5 | 5,01 ^b | 5,01 ^b | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,02 ^c |
| 6 | 5,07 ^b | 5,01 ^a | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,02 ^a |
| 7 | 5,07 ^c | 5,01 ^{ab} | 5,00 ^a | 5,00 ^a | 5,02 ^b |
| 8 | 5,10 ^b | 5,05 ^{ab} | 5,01 ^a | 5,00 ^a | 5,03 ^a |
| 9 | 5,10 ^a | 5,05 ^a | 5,01 ^a | 5,02 ^a | 5,49 ^b |
| 10 | 5,10 ^a | 5,09 ^a | 5,01 ^a | 5,02 ^a | 5,77 ^b |
| 11 | 5,10 ^b | 5,09 ^b | 5,01 ^a | 5,02 ^a | 5,80 ^c |
| 12 | 5,11 ^b | 5,09 ^b | 5,01 ^a | 5,03 ^a | 5,90 ^c |
| 13 | 5,12 ^c | 5,11 ^c | 5,02 ^a | 5,07 ^b | 6,00 ^d |
| 14 | 5,14 ^b | 5,12 ^b | 5,04 ^a | 5,07 ^a | 6,02 ^c |
| 15 | 5,14 ^c | 5,13 ^c | 5,04 ^a | 5,10 ^b | 6,02 ^d |
| 16 | 5,16 ^a | 5,14 ^a | 5,10 ^a | 5,10 ^a | 6,06 ^b |
| 17 | 5,25 ^c | 5,17 ^b | 5,11 ^a | 5,11 ^a | 6,06 ^d |
| 18 | 5,26 ^b | 5,22 ^b | 5,13 ^a | 5,11 ^a | 6,07 ^c |
| 19 | 5,60 ^b | 5,29 ^a | 5,15 ^a | 5,12 ^a | 6,08 ^c |
| 20 | 5,64 ^c | 5,51 ^{bc} | 5,21 ^{ab} | 5,16 ^a | 6,08 ^d |
| 21 | 5,85 ^c | 5,51 ^b | 5,26 ^{ab} | 5,19 ^a | 6,08 ^c |

Nota. Los valores corresponden a la media de 3 réplicas. Las letras en superíndices muestran las diferencias estadísticas por día ($\alpha = 0,05$).

en el producto que posibilita la formación de una sal básica a causa del contenido sales en el pepino. Los resultados obtenidos en este trabajo con respecto al aumento del pH coinciden con lo expuesto por Han *et al.* (2004) en su trabajo sobre la aplicación de recubrimientos comestibles a base de quitosano y gelatina en fresas almacenadas en refrigeración, y por Trejo-Márquez *et al.* (2007) en su investigación sobre fresas recubiertas a base de gelatina y ácido acético.

Acidez titulable (AT)

La Tabla 4 muestra las diferencias estadísticas entre tratamientos con respecto a la acidez titulable. En todos los casos se evidencia aumento en la acidez. Sin embargo, el aumento es más notorio en el testigo.

En los resultados presentados en la tabla 4 se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) en el porcentaje de acidez de los pepinos del control en comparación con las muestras de los tratamientos a partir del día 5 de almacenamiento. En el día 21 se evidencian diferencias significativas entre T3 y T4 en contraste con las muestras de T1, T2 y el control. T3 y T4 tienen un menor aumento en los valores de acidez (0,050 % día 0; 0,052 % día 21), mientras que T1 y T2 iniciaron con valores de 0,050 % en el día 0 hasta 0,057 y 0,055 %, respectivamente, para el día 21. Mientras que las muestras control iniciaron con 0,050 % en el día 0 llegando a 0,060 % en el último día de almacenamiento.

El aumento de la acidez en todos los tratamientos ocurre debido a la concentración de los ácidos orgánicos presentes en el pepino a causa de la pérdida de peso que tuvo lugar a lo largo del almacenamiento. Un comportamiento similar encontró Bueno-Santos *et al.* (2005) en piña mínimamente procesada. Rathore *et al.* (2007) asocian este comportamiento con la atmósfera modificada que generan los recubrimientos.

Cuando se crea una barrera de gases, puede ser inducido un incremento en la presencia de algunos volátiles asociados con condiciones anaeróbicas; es el caso del etanol y acetaldehído Quintero *et al.* (2010), estos resultados fueron detectados después de 2 semanas de almacenamiento en trozos de manzana tratados con recubrimientos de alginato y goma gellan (Rojas-Grau *et al.*, 2007). La producción de dichas sustancias se encuentra relacionada con fermentación anaerobia y detrimento en

las propiedades sensoriales, y en especial, con la pérdida de sabores en frutos mínimamente procesados, Rojas-Grau *et al.* (2008).

En contraste, la disminución de acidez titulable en frutas reportada por Figueroa *et al.* (2013) y Rathore *et al.* (2007), es asociada a la atmósfera modificada generada por los recubrimientos que permite ralentizar el proceso metabólico en los frutos y, en consecuencia, retrasar la degradación enzimática del ácido cítrico o conversión de este en azúcar, durante la maduración. Solon *et al.* (2005) afirman que la concentración de ácidos orgánicos tiende a disminuir en la mayoría de los frutos, debido a la utilización de estos como substrato respiratorio, y como esqueletos de carbono para la síntesis de nuevos compuestos. Pinto *et al.* (2006) señalan que la disminución de la acidez de las frutas se debe probablemente a la reducción de la actividad metabólica. En la investigación realizada por Restrepo & Aristizábal (2010) sobre la aplicación de recubrimientos a base de gel de penca de sábila y gelatina en fresas, reportaron haber observado una disminución de acidez en sus tratamientos, además, coinciden con los resultados del estudio hecho por Trejo-Márquez *et al.* (2007), sobre fresas recubiertas a base de gelatina y ácido acético, en el que afirman que la acidez de los frutos disminuyó como consecuencia del tiempo de almacenamiento.

Sólidos solubles totales (SST)

El control fue el que mayor porcentaje de SST presentó a diferencia del T3 que mostró un menor valor, durante los 21 días del periodo de almacenamiento.

Tabla 5

SST en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano adicionándole cinamaldehído, almacenados durante 21 días a 10 °C y 80% de humedad relativa

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a |
| 2 | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a |
| 3 | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,00 ^a |
| 4 | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,15 ^b | 3,00 ^a | 3,30 ^b |
| 5 | 3,00 ^a | 3,00 ^a | 3,26 ^b | 3,00 ^{ab} | 3,37 ^b |
| 6 | 3,00 ^a | 3,12 ^{ab} | 3,26 ^{bc} | 3,20 ^{abc} | 3,40 ^c |
| 7 | 3,11 ^a | 3,18 ^{ab} | 3,28 ^c | 3,22 ^{bc} | 3,43 ^d |

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|
| 8 | 3,13 ^a | 3,24 ^{ab} | 3,34 ^{bc} | 3,28 ^{ab} | 3,47 ^c |
| 9 | 3,25 ^a | 3,28 ^a | 3,40 ^{ab} | 3,33 ^{ab} | 3,52 ^b |
| 10 | 3,27 ^{ab} | 3,64 ^b | 3,41 ^{ab} | 3,50 ^{ab} | 3,55 ^{ab} |
| 11 | 3,29 ^a | 3,71 ^c | 3,49 ^b | 3,60 ^{bc} | 3,57 ^{bc} |
| 12 | 3,37 ^a | 3,83 ^b | 3,63 ^{ab} | 3,83 ^b | 3,60 ^{a^b} |
| 13 | 3,43 ^a | 4,11 ^c | 3,71 ^b | 4,09 ^c | 3,65 ^{ab} |
| 14 | 3,52 ^a | 4,28 ^c | 4,00 ^c | 4,20 ^c | 3,72 ^b |
| 15 | 3,60 ^a | 4,54 ^c | 4,37 ^c | 4,48 ^c | 4,10 ^b |
| 16 | 3,64 ^a | 4,56 ^{bc} | 4,39 ^b | 4,72 ^c | 4,59 ^{bc} |
| 17 | 3,89 ^a | 4,64 ^{bc} | 4,48 ^b | 4,89 ^c | 4,73 ^{bc} |
| 18 | 4,15 ^a | 4,79 ^{bc} | 4,49 ^{ab} | 4,93 ^c | 5,06 ^c |
| 19 | 4,41 ^a | 4,86 ^b | 4,55 ^a | 5,25 ^c | 5,74 ^d |
| 20 | 4,77 ^b | 5,00 ^c | 4,62 ^a | 5,45 ^d | 6,47 ^e |
| 21 | 5,27 ^b | 5,34 ^{bc} | 4,64 ^a | 5,58 ^c | 6,63 ^d |

Nota. Los valores corresponden a la media de 3 réplicas. Las letras en superíndices muestran las diferencias estadísticas por día ($\alpha = 0,05$).

En el contenido de sólidos solubles totales (SST) hay variación significativa ($p \leq 0,05$) entre las muestras de control y las muestras de los tratamientos a partir del día 4 de almacenamiento a 10 °C. Se evidenció un aumento progresivo en el contenido de SST a lo largo del almacenamiento en todas las muestras (Tabla 5). Los pepinos del tratamiento T4 y los del control presentaron el contenido de SST más alto con valores de 3 % para el día 0 hasta evidenciar valores de 5,58 % y 6,63 %, respectivamente al llegar al día 21 del periodo de almacenamiento. Las muestras de los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron los valores más bajos en (SST) iniciando con 3 % en el día 0 llegando a evidenciar valores de 5,27 %, 5,34 % y 4,64 %, respectivamente, siendo las muestras del T3 los valores más bajos al llegar al día 21.

Todos los tratamientos tienen aumento de °Brix durante el periodo de estudio, comportamiento atribuible, posiblemente, a la maduración de la fruta que está acompañada por cambios en los ácidos orgánicos. En la etapa de la maduración el contenido de sólidos solubles totales (SST) tiende a aumentar (Santamaría-Basulto *et al.*, 2009). Este aumento se observó en las muestras control y de los tratamientos (Tabla 5).

En los tratamientos el contenido de SST presentó un ligero aumento, a diferencia del control que lo presentó más acelerado en términos de los °brix; esta tendencia podría estar relacionada con el retardo del proceso de maduración en los frutos revestidos con película. Similar comportamiento fue observado por Castricini (2009) en muestras testigo de papaya recubierta con almidón de yuca a 3 % por igual período, almacenadas a temperatura ambiental, y de refrigeración a 12 °C. En otro trabajo se reportó que el almidón de yuca produjo una retención en el aumento de los sólidos solubles de los tomates (Amaya, 2010).

Textura instrumental

La Tabla 6 muestra que T4 tiene mayor firmeza a diferencia del control que mostró menor valor después de 21 de almacenamiento.

En la Tabla 6 se muestra el efecto significativo ($p < 0,05$) en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano en los cambios de firmeza durante 21 días de almacenamiento a 10 °C. La disminución en la fuerza de penetración fue más evidente en las muestras del control que pasaron de un valor de 17,51 N para el día 0 de estudio, hasta un valor de 4,98 N para el día 21.

Se observó que los tratamientos con quitosano T3 y T4 conservaron en mayor medida la firmeza con 17,51 N en el día 0 hasta a 12,25 N y 13,84 N, respectivamente, en el día 21, mientras que las

muestras tratadas con almidón (T1 y T2) tienen valores de firmeza de 5,67 N y 8,44 N al llegar al último día de almacenamiento.

Tabla 6

Firmeza (N) en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano adicionándole cinamaldehído, almacenados durante 21 días a 10 °C y 80 % de humedad relativa

| Días | T1 | T2 | T3 | T4 | Testigo |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 17,51 ^a |
| 2 | 17,39 ^c | 17,24 ^a | 17,49 ^d | 17,49 ^d | 17,36 ^b |
| 3 | 17,36 ^b | 17,23 ^a | 17,37 ^b | 17,40 ^c | 17,22 ^a |
| 4 | 17,30 ^c | 16,97 ^a | 17,34 ^d | 17,38 ^e | 17,19 ^b |
| 5 | 17,22 ^c | 16,76 ^a | 17,25 ^d | 17,34 ^e | 17,08 ^b |
| 6 | 17,20 ^d | 16,68 ^a | 17,05 ^c | 17,25 ^e | 17,03 ^b |
| 7 | 16,41 ^b | 16,61 ^c | 17,01 ^d | 17,19 ^e | 16,31 ^a |
| 8 | 16,26 ^b | 16,31 ^c | 16,70 ^d | 17,10 ^e | 15,77 ^a |
| 9 | 16,21 ^b | 16,27 ^c | 16,54 ^d | 16,79 ^e | 12,70 ^a |
| 10 | 16,17 ^b | 16,25 ^c | 16,26 ^c | 16,66 ^d | 11,17 ^a |
| 11 | 16,12 ^b | 16,14 ^b | 16,21 ^c | 16,39 ^d | 10,82 ^a |
| 12 | 14,07 ^b | 14,66 ^c | 16,13 ^d | 16,24 ^e | 10,14 ^a |
| 13 | 14,00 ^b | 14,29 ^c | 15,94 ^d | 16,13 ^e | 9,88 ^a |
| 14 | 13,10 ^b | 14,06 ^c | 15,79 ^d | 16,04 ^e | 9,85 ^a |
| 15 | 12,12 ^b | 13,74 ^c | 15,15 ^d | 15,72 ^e | 8,82 ^a |
| 16 | 10,96 ^b | 12,84 ^c | 15,00 ^d | 15,68 ^e | 7,92 ^a |
| 17 | 10,37 ^b | 12,23 ^c | 14,82 ^d | 15,10 ^e | 7,51 ^a |
| 18 | 8,86 ^b | 11,02 ^c | 14,56 ^d | 14,96 ^e | 6,18 ^a |
| 19 | 7,52 ^b | 10,60 ^c | 13,30 ^d | 14,56 ^e | 5,83 ^a |
| 20 | 6,19 ^b | 9,89 ^c | 13,10 ^d | 14,13 ^e | 5,45 ^a |
| 21 | 5,66 ^b | 8,44 ^c | 12,25 ^d | 13,84 ^e | 4,98 ^a |

Nota. Los valores corresponden a la media de 3 réplicas. Las letras en superíndices muestran las diferencias estadísticas por día ($\alpha = 0,05$).

Se observó que todos los tratamientos perdieron firmeza durante su almacenamiento, Sakurai y Nevis (1997) mencionan que la degradación de los componentes de la pared celular, específicamente de la pectina podría atribuirse a la acción de enzimas específicas, tales como, las pectinesterasa y la poligalacturonasas que ocasionan el ablandamiento de los frutos y por ende la pérdida de textura. Debido a la degradación por hidrólisis de las paredes celulares durante la maduración, afecta las

fuerzas de cohesión que mantienen unas células unidas con otras, da paso a un ablandamiento del fruto, en consecuencia, la disminución de su resistencia a la penetración (Aldana y Ospina, 2001).

La liberación de enzimas pectinolíticas y proteolíticas se inicia después de la senescencia a causa de la rotura de la pared celular. Ambas enzimas se difunden al interior del tejido y

actúan sobre sus sustratos (pectina y proteínas), y ocasionan daño de la estructura (Toivonen y Brummell, 2008).

Por otra parte, parece que el quitosano, en sí mismo, inhibe la actividad de las enzimas. Sin embargo, esta inhibición podría estar relacionada con los cambios fisiológicos inducidos por los tratamientos aplicados. Se ha observado que el quitosano es capaz de inactivar o inhibir varias enzimas que causan deterioro de frutas y verduras (Bhaskar-Reddy *et al.*, 2000).

Es bien conocido que la pérdida de textura por efecto de la temperatura y los días de almacenamiento ocurre por la hidrólisis de los componentes de la pared celular (Watada *et al.*, 1990; Agar *et al.*, 1999; Beaulieu y Gorny, 2002). La pérdida de firmeza durante la maduración es consecuencia de la degradación de protopectinas

insolubles a pectinas solubles, gracias a la acción de la poligalacturonasa y la pectin metil esterasa (Blandón-Navarro, 2012).

La firmeza interviene en la percepción de calidad y también se relaciona con la hidrólisis de los componentes en la pared celular, también con la pérdida de azúcares, pérdida de turgencia que se manifiesta por el debilitamiento de las paredes celulares, degradación del almidón, el posterior ablandamiento debido a la liberación del etileno, y como consecuencia de la acción enzimática (Martínez-Hernández *et al.*, 2013).

Análisis microbiológico

La Tabla 7 muestra las diferencias estadísticas en el crecimiento de mohos y levaduras durante 21 días de almacenamiento. Se observa que el T4 tiene una menor presencia microbiana a diferencia del control que tiene mayor presencia microbiana a lo largo del almacenamiento.

Tabla 7

Recuento de mohos y levaduras (UFC/g) en pepinos recubiertos con almidón de yuca y quitosano adicionándole cinamaldehído, almacenados durante 21 días a 10 °C y 80 % de humedad relativa

| Tratamientos | Día 0 | Día 3 | Día 6 | Día 9 | Día 12 | Día 15 | Día 18 | Día 21 |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| T1 | 10,00 ^a | 13,00 ^c | 14,00 ^d | 16,00 ^d |
| T2 | 10,00 ^a | 11,00 ^a | 12,00 ^c | 13,00 ^c |
| T3 | 10,00 ^a | 11,00 ^a | 11,00 ^b | 11,00 ^b |
| T4 | 10,00 ^a | 10,00 ^b | 10,00 ^a | 10,00 ^a |
| TESTIGO | 10,00 ^a | 10,00 ^a | 10,00 ^a | 11,00 ^b | 15,00 ^b | 18,00 ^d | 23,00 ^e | 27,00 ^e |

Nota. Los valores corresponden a la media de 3 réplicas. Las letras en superíndices distintas corresponden a valores estadísticamente diferentes tratamientos ($\alpha = 0,05$).

La Tabla 7 expresa el resultado de los recubrimientos en el crecimiento de mohos y levaduras en pepinos almacenados 21 días a 10 °C. De igual manera, la diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos y las muestras de control a partir del día 9. Los tratamientos más efectivos son T3 y T4, con respecto a la reducción en el crecimiento de hongos y levaduras, de 10,00 UFC/g para el día 0 hasta valores de 11,00 y 10,00 UFC/g, respectivamente, para el día 21. Las muestras de control evidenciaron un aumento considerable en el desarrollo de mohos y levaduras pasando de 10,00 UFC/g en el día 0 hasta

llegar a mostrar valores de 27,00 UFC/g al llegar al día 21 a 10 °C. Estos resultados demuestran el poder inhibitorio del cinamaldehído en conjunto con la película comestible de quitosano y la eficacia en el control de mohos y levaduras en frutos de pepino.

Lo anterior, concuerda con lo obtenido por Ramírez *et al.* (2013) en el estudio en moras de castilla indicaron que existió incremento de las UFC de hongos en relación con el tiempo de almacenamiento.

Shahidi *et al.*, (1999) reportaron que una de las razones que justifican las propiedades antimicrobianas del quitosano, es que posee cargas positivas en su grupo amino, que interactúan con las cargas negativas de las membranas celulares de los microorganismos. Asimismo, Helander *et al.* (2001) observaron con microscopía electrónica que este compuesto se une a la parte exterior de la membrana de los microorganismos, y destruye su función de barrera. Romanazzi *et al.* (2006) informaron que el deterioro de las uvas por hongos puede ser inhibida al ser recubiertas con quitosano.

Sin embargo, Hernández-Lauzardo *et al.* (2005) atribuyeron el efecto antimicrobiano del tratamiento de quitosano a una combinación de su actividad antimicrobiana y a la activación del mecanismo de defensa del fruto influenciado por la presencia de quitosano, mediante la activación de la enzima quitinasa y la síntesis de fitoalexinas y otros compuestos. Es así como uvas tratadas mostraron actividad de quitinasa y un aumento en la producción de fitoalexinas. Ruiz-Cruz *et al.* (2010) reportaron que diferentes recubrimientos a base de quitosano y almidón redujeron el crecimiento de mesófilos (4 Log UFC/g) en melón fresco cortado. González-Aguilar *et al.* (2008) reportaron que un recubrimiento de quitosano al 2 % redujo la población de mesófilos aerobios en 2 Log CFU/g en papaya fresca cortada, después de 14 días de almacenamiento a 5 °C con respecto al control. El-Ghaouth *et al.* (1992) observaron que fresas contaminadas con *Rhizopus stolonifer* y *Botrytis cinérea*, posteriormente, tratadas con recubrimientos de quitosano al 1,5 %, reducían hasta el 60 % de su deterioro durante 14 días de almacenamiento.

Previamente, se ha reportado que el peso molecular también es una característica importante para la actividad antifúngica del quitosano. González-Aguilar *et al.* (2009) evaluaron el efecto de recubrimientos de quitosano de bajo, mediano y alto peso molecular, aplicado a papaya fresca cortada. Dichos autores

encontraron que el recubrimiento de quitosano de mediano peso molecular fue el más efectivo a una concentración de 2 %, siendo capaz de suprimir el desarrollo de hongos hasta por 14 días de almacenamiento a 5 °C. Otros autores han evaluado el efecto de recubrimientos de quitosano en uvas, cerezas y manzanas con resultados antifúngicos muy similares (Romanazzi *et al.*, 2002; Assis y Pessoa, 2004).

Los aceites esenciales afectan etapas del desarrollo de los hongos como la germinación de esporas, formación de estructuras de penetración, desarrollo de micelio y esporulación. Por lo general, la germinación de esporas y el desarrollo micelial son utilizados en estudios *in vitro* para subsecuentes aplicaciones (Montes-Belmont *et al.*, 2000).

Otros autores (Baratta *et al.*, 1998; Chaisawadi *et al.*, 2005; Chanthaphon *et al.*, 2008; Sharma y Tripathi, 2008; Shukla *et al.*, 2000; Quintana *et al.*, 2010; Viuda-Martos *et al.*, 2008) demuestran actividad inhibitoria del crecimiento y/o germinación de hongos, con análisis antifúngicos a diferentes condiciones, a partir de aceites esenciales de canela, orégano, mejorana, limoncillo, limón, mandarina, pomelo (*Citrus paradisi* L.) y naranja dulce. Algunos autores mencionan que un posible mecanismo de acción de los aceites sobre el crecimiento de los hongos es debido a los constituyentes con alta hidrofobicidad presentes en la célula, lo que ocasiona trastornos en la permeabilidad y en el transporte de iones y de otros compuestos, así como en la separación de componentes lipídicos de la membrana celular y la mitocondria (Quintana *et al.*, 2010).

Conclusiones

En la determinación del mejor tratamiento aplicado en la conservación de pepinos en postcosecha se concluye que el tratamiento T4 quitosano 1 % + cinamaldehído 0,15 % fue el mejor tratamiento para la conservación

de este fruto, debido a que conserva sus características fisicoquímicas por mayor tiempo. Microbiológicamente, se presentaron variaciones en función del tiempo de almacenamiento, incrementándose las UFC de mohos y levaduras en todos los tratamientos. Sin embargo, a través de la aplicación del recubrimiento se logró retardar su desarrollo y en mayor proporción en el tratamiento.

Este trabajo muestra que la aplicación de recubrimientos comestibles a base de quitosano 1 % y 0,15 % de cinamaldehído en pepinos podría ser utilizado como una opción para contrarrestar las pérdidas y daños que sufre la fruta en la postcosecha, pudiéndose implementar como una nueva alternativa de comercialización que ayude a obtener mayores beneficios económicos a los productores y expendedores de esta fruta en nuestro país.

Referencias

- Agar, I., Massantini, R., Hess-Pierce, B., y Kader, A. (1999). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal Food Science*, 64 (3), 433-440. <https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-111.pdf>
- Aguilar, J. M. (2012). Métodos de conservación de alimentos. López, E. (Ed). Red Tercer Milenio, Primera edición, ISBN-978-607-733-150-6.
- Aguilar-Méndez, M., Martín-Martínez, E., Tomás, S., Cruz-Orea, A., y Jaime-Fonseca, M. (2008). Gelatine-starch films: Physicochemical properties and their application in extending the post-harvest shelf life of avocado (Persea americana). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88 (2), 185-193. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3068>
- Aldana, H. y Ospina, J. (2001). *Ingeniería y agroindustria*. Terranova Ltda., 2da Edición, Colombia-Bogotá, p. 246.
- Almeida, A., Reis, J. D., Santos, D., Vieira, T., y Da C., M. (2011). Estudio de la conservación de la papaya (Carica papaya L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 12 (1). <http://ri.ufs.br:8080/handle/123456789/71>
- Amaya, P., Peña, L., Mosquera, A., Villada, H., y Villada, D. (2010). Efecto del uso de recubrimientos sobre la calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Dyna*, 77 (162), 67-73. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532010000200008
- Assis, O. B., y Pessoa (2004). Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruit. *Brazilian Journal Food Technology*, 7, 7-22. <https://www.scielo.br/j/bjft/>
- Association of official Analytical Chemists [AOAC]. (1980). *Official methods of Analysis*. 16 th (Ed). Association of official Analytical Chemists. Washington D. C, USA. <https://www.aocac.org/>
- Association of official Analytical Chemists [AOAC]. (1984). *Official methods of analysis of official analytical chemists international*. 14th (ed). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., USA. <https://www.aocac.org/>
- Association of official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15^a (ed). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA. <https://www.aocac.org/>
- Association of official Analytical Chemists [AOAC]. (2000). *Official Method 997.02. Yeast and Mold Counts in Foods. Dry Rehydratable Film Method (Petrifilm™ Method)*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA. <https://www.aocac.org/>
- Baratta, M. T., Dorman, H. D., Deans, S. G., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., y Ruberto, G. (1998). Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 13 (4), 235-244. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(1998070\)13:4<235::AID-FFJ733>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(1998070)13:4<235::AID-FFJ733>3.0.CO;2-T)
- Beaulieu, J. C., y Gorny, J. R. (2002). *Fresh-cut fruits. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*, 604. United States Department of Agriculture <https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-2927.pdf#page=614>
- Bhaskar-Reddy, M., Angers, P., Castaigne, F., y Arul, J. (2000). Chitosan effects on blackmold rot and pathogenic factors produced by *Alternaria alternata* in postharvest tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125 (6), 742-747. <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.6.742>
- Blandón-Navarro, S. (2012). *Fisiología de poscosecha*. Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua. 24 p <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fisiologiaposcosecha.pdf>
- Brecht, J. K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30 (1), 18-22. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.1.18>
- Bueno-Santos, J. C., de Barros-Vilas, E. V., Torres-Prado, M. E., y Marques-Pinheiro, A. C. (2005). Avaliação da qualidade do abacaxi “perola” minimamente processado armazenado sob atmosfera modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, 29 (2), 353-361. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000200012>
- Canto-Pereira, M. E., Santana-da Silva, A., Simões-da Rocha, A., Barbosa-dos Santos, D., Barbosa-dos Santos, S., y dos Santos, V. (2006). Amadurecimento de mamão formosa (Carica papaya) com revestimento comestível a base de fécula de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30 (6), 1116 - 1119. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000600011>
- Castricini, A. (2009). *Aplicação de revestimentos comestíveis para conservação de mamões (Carica papaya L.) ‘Golden’*. [Tesis de doctorado en Ciencias, Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil]. Repositorio Institucional. <https://tede.ufrj.br/jspui/>

[bitstream/tede/555/1/2009%20-%20Ariane%20Castricini.pdf](#)

Castro, M., K. Ziani, S., y Santacruz. (2015). Conservación de arilos de rambutan (*Nephelium lappaceum*) mediante recubrimientos comestibles de quitosano y áloe vera. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 23 (2), 32-43. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/aci/issue/archive>

Chaisawadi, S., Thongbute, D., Methawiriyasilp, W., Pitakworarat, N., Chaisawadi, A., Jaturonrasamee, K., Khemkhaw, J., y Tanuthumchareon, W. (2005). Preliminary study of antimicrobial activities on medicinal herbs of Thai food ingredients. *Acta Horticulturae*, 1 (675), 111-114. https://wwwlib.teiep.gr/images/stories/acta/Acta%20675/675_15.pdf

Chanthaphon, S., Chanthachum, S., y Hongpattarakere, T. (2008). Antimicrobial activities of essential oils and crude extracts from tropical Citrus spp. against food-related microorganisms. *Sonklanakarin Journal of Science and Technology*, 30 (1), 125-131. <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/index.php>

Cuquerella, J., Martínez-Jávega, J. M., y Jiménez-Cuésta, M. (1983). Frigoconservación de cítricos. En *Hoja técnica*. INIA-45.

Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., y Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia Picus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91 (4), 751-756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.002>

El-Ghaouth, A. E., Arul, J., Grenier, J., y Asselin, A. (1992). Antifungal activity of chitosan on two Postharvest pathogens of strawberry fruits. *Postharvest Pathology and Mycotoxins*, 82 (4), 398-402. https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1992Articles/Phyt082n04_398.pdf

Fias, W., Lammertyn, J., Reynvoet, B., Dupont, P., y Orban, G. A. (2003). Parietal representation of symbolic and nonsymbolic magnitude. *Journal of cognitive neuroscience*, 15 (1), 47 - 56. <https://doi.org/10.1162/089892903321107819>

Figueroa, J. A., Salcedo, J. G., y Narváez, G. J. (2013). Efecto de recubrimientos comestibles a base de almidón nativo y oxidado de yuca sobre la calidad de mango (Tommy Atkins). *Temas Agrarios*, 18 (2), 94-105. <https://doi.org/10.21897/rta.v18i2.719>

Gálvez, H. F. (2004). El cultivo de pepino en invernadero. En *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. 2ª ed., Castellanos, R, J (Ed.). INTAGRI. Celaya, Guanajato, Mexico. p. 282-293.

González-Aguilar, G. A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J. L., Goycoolea, F., Martínez-Tellez, M., Villegas-Ochoa, M. A., Monroy-García, I. N., y Ayala-Zavala, J. F. (2008). Effect of chitosan coating in preserving deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89 (1), 15 - 23. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3405>

González-Aguilar, G. A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J., Goycoolea, F., Martínez-Tellez, M. A., Villegas-Ochoa, M. A., & Ayala-Zavala, J. F. (2009). Effect of chitosan coating in preventing deterioration

and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89 (1), 15-23. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3405>

Guerrero-Morales, F. y Troya-Andrade, M. (2004). Estudio del potencial agroindustrial y de exportación para la producción de pepino en la Península de Santa Elena y los recursos necesarios para su implantación. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador.]. Repositorio Institucional. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3501>

Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W., y Traber, M. G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33 (1), 67 - 78. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.008>

Helander, I. M., Nurmiaho-Lassila, E. L., Ahvenainen, R., Rhoades, J., y Roller, S. (2001). Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 71 (2-3), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00609-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00609-2)

Hernández-Lauzardo, A. N., Bautista-Baños, S., Velázquez del Valle, M. G., Rodríguez-Ambríz, S. L., Corona-Rangel, M. L., Solano-Navarro, A., y Bosquez-Molina, E. (2005). Potencial del quitosano en el control de las enfermedades postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23 (2), 198-205. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61223214.pdf>

Izumi, H., Watada, A. E., Ko, N. P., y Douglas, W. (1996). Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 165-172. https://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/228536.pdf

Martínez-Hernández, G., Artés-Hernández, F., Gómez, P., y Artés, F. (2013). Comparative behavior between kailan-hybrid and conventional fresh-cut broccoli throughout shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*, 50, 298-305. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.010>

Montes-Belmont, R., Cruz-Cruz, V., Martínez-Martínez, G., Sandoval-García, G., García-Licona, R., Zilch-Dominguez, S., y Carvajal-Moreno, M. (2000). Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 18 (22), 125-131. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61218210.pdf>

Mulkay, T., Paumier, A., González, I., De la Paz, N., López, O., Nogueira, A., y Fajardo, M. (2012). Actividad antifúngica de productos naturales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* causante de la antracnosis en frutales tropicales. Instituto de investigaciones en fruticultura tropical: 2-5. <https://www.fao.org/agris/es/search-site?search=Colletotrichum%20gloeosporioides>

Muñoz-Macías, N. M. (2015). *Respuesta del cultivo de pepino Cucumis sativus L. a la nutrición química y orgánica bajo riego goteo*. (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil). Repositorio Institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/7393>

Núñez, C. K., Castellano, G., Ramírez, M. R., Sindoni, M., y Marín, R. C. (2012). Efecto del cloruro de calcio y

una cubierta plástica sobre la conservación de las propiedades organolépticas de la fresa (*Fragaria x ananassa Duch*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13 (1), 21–30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81324433004>

Pinto, L. K., Leal-Martins, M. L., Resende, E. D. de, Almeida, R. F. de, Vitorazi, L., y Pereira, S. M. (2006). Influência da atmosfera modificada por filmes plásticos sobre a qualidade do mamão armazenado sob refrigeração. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26 (4). <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400005>

Quintana-Obregón, E. A., Plascencia-Jatomea, M., González-Aguilar, G. A., y Cortez-Rocha, M. O. (2010). Inhibición del crecimiento de *Penicillium chrysogenum* por presencia de aceites de *Cinnamomum zeylanicum*, *Allium cepa* y *Cymbopogon citratus*. *Revista Mexicana de Micología*, 32, 59–62. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-31802010000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Quintero, C. J., Pascual, F. V., y Muñoz, H. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5, 93–118. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/59>

Ramírez, J. D., Arístizabal, I. D., y Restrepo, J. I. (2013). Conservación de mora de Castilla mediante la aplicación de un recubrimiento comestible de gel de mucilago de penca de sábila. *Vitae*, 20 (3), 172–183. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042013000300003&script=sci_abstract&tlng=es

Rathore, H. A., Masud, T., Sammi, S., y Soomro, A. H. (2007). Effect of storage on physico-chemical composition and sensory properties of mango (*Mangifera indica* L.) variety Dosehari. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6 (2), 143–148. <https://scialert.net/abstract/?doi=pjn.2007.143.148>

Restrepo, J., y Aristizabal, I. (2010). Conservación de Fresa (*Fragaria x ananassa Duch* cv. *Camarosa*) Mediante la Aplicación de Recubrimientos Comestibles de Gel Mucilaginoso de Penca Sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y Cera de Carnaúba. *Vitae*, 17 (3), 252–263. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v17n3/v17n3a03.pdf>

Rojas-Grau, M. A., Tapia, M. S., Rodríguez, F. J., Carmona, A. J., y Martín-Belloso, O. (2007). Alginate and gellan based edible coatings as support of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*, 21 (1), 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.001>

Rojas-Grau, M. A., Tapia, M. S., y Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT-Food Science and Technology*, 41 (1), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.01.009>

Romanazzi, G., Gabler, F. M., y Smilanick, J. L. (2006). Preharvest chitosan and postharvest UV irradiation treatments suppress gray mold of table grapes. *Plant Disease*, 90 (4), 445–450. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0445>

Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., Divenere, D., & Salerno, M. (2002). Effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science*, 67 (5), 1862–1867. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08737.x>

Ruiz-Cruz, S., Guevara-Gálvez, C. L., Estrada-Alvarado, I., Cira-Chavez, L. A., Gassós-Ortega, L. E., & Llanaez-Samaniego, A. L. (2010). Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y almidón para mantener la calidad sensorial y microbiológica de melón fresco cortado. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica*, 1 (1), 1–11. <http://www.uacj.mx/ICB/RedCIB>

Sakurai, N., y Nevins, D. (1997). Relationship between fruit softening and Wall polysaccharides in avocado (*Persea americana* Mill) mesocarp tissues. *Plant and cell physiology*, 38 (5), 603–610. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029210>

Santacruz, S., Rivadeneira, C., y Castro, M. (2015). Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food Hydrocolloids*, 49, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.019>

Santamaría-Basulto, F., Díaz-Plaza, R., Sauri-Duch, E., Espadas-y Gil, F., Santamaría-Fernández, J. M., y Larqué-Saavedra, A. (2009). Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agricultura técnica en México*, 35 (3), 347–353. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n3/v35n3a12.pdf>

Scanavaca, L., Fonseca, N., y Canto-Pereira, M. E. (2007). Uso de fécula de mandioca após-colheita de manga 'Surpresa'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29 (1), 067–071. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/83VDMwTjG6qqnQPqPHfYnN/?format=pdf&lang=pt>

Shahidi, F., Arachchi, J. K. V., y Jeon, Y. J. (1999). Food applications of chitin and chitosans. *Trends in food science & technology*, 10 (2), 37–51. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00017-5)

Sharma, N., y Tripathi, A. (2008). Effects of Citrus sinensis (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) Van Tieghem. *Microbiological Research*, 163 (3), 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.06.009>

Shukla, A. C., Shahi, S. K., y Dikshit, A. (2000). Epicarp of Citrus sinensis: a potential source of natural pesticide. *Indian Phytopathology*, 53 (4), 468–471. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IN2022028413>

Siller, C., J. H. (2000). Análisis de la horticultura en México. *Productores de Hortalizas*, 10, 8–12. <https://www.hortalizas.com/2013-revista-digital/>

Solon, K. N., Menezes, J. B., De Medeiros, M. K. M., Aroucha, E. M. M., y Mendes, M. D. O. (2005). Conservação pós-colheita do mamão formosa produzido no Vale do Assu sob atmosfera modificada. *Revista Caatinga*, 18 (2), 105–111. <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237121137007.pdf>

Sothornvit, R., y Rodsamran, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47 (3), 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.005>

Toivonen, P. M., y Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and*

Technology, 48 (1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.004>

Trejo-Márquez, A., Ramos-López, K. A., y Pérez-Guillén, C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria Vesca* L.) almacenada en refrigeración. En *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*, (p. 978 - 984). Congreso dirigido por el Grupo Postrecolección y Refrigeración de la Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., y Pérez-Álvarez, J. (2008). Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradisi* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils. *Food control*, 19 (12), 1 130-1 138. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.12.003>

Watada, A. E., Abe, K. y Yamuchi, N. (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 44 (5), 116-122. <https://www.semanticscholar.org/paper/Physiological-activities-of-partially-processed-and-Watada-Abe/5502de14938c6df5d1be7ea1a750839827f8b360>

Zapata, P., Valero, D., Guillén, F., Martínez, D. S., y Serrano, M. (2007, May). Mantenimiento de la calidad de tomates mediante recubrimiento de zeína. En *Memorias V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones* (Vol. 1384, p. 1393). Congreso dirigido por la Universidad Politécnica de Cartagena, España.