

Journal of Agricultural Sciences Research

Acceptance date: 16/12/2024

IMPACTO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE CARBOXIMETILCELULOSA Y EXTRACTO DE TOMILLO EN LA VIDA DE ANAQUEL EN REFRIGERACIÓN DE NOPAL (*Opuntia-ficus-indica*) DESESPINADO

Raquel García-Barrientos

Lab. Procesos Biotecnológicos, Universidad Politécnica de Tlaxcala, Tepeyanco Tlaxcala, México

<https://orcid.org/0000-0001-8354-7033>

Corona-Flores E.E

Lab. Procesos Biotecnológicos, Universidad Politécnica de Tlaxcala, Tepeyanco Tlaxcala, México

Lizette Liliana Rodríguez Verástegui

Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Colonia Vicentina, México

<https://orcid.org/0000-0002-9934-289X>

Lilia Sánchez-Minutti

Lab. Procesos Biotecnológicos, Universidad Politécnica de Tlaxcala, Tepeyanco Tlaxcala, México

<https://orcid.org/0000-0003-4739-5196>

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Hugo Minor Pérez

División de Ingeniería Química y
Bioquímica, Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec, Ecatepec de Morelos,
Estado de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-1279-0081>

Resumen: Los recubrimientos comestibles son pequeñas capas de polímeros de origen orgánico tales como proteínas, ceras, polisacáridos y combinación de estos los cuales son utilizados para cubrir frutos cuya finalidad es de alargar la vida de anaquel de estos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que tuvo un recubrimiento comestible a base de carboximetilcelulosa y extracto de tomillo en la vida de anaquel de nopales durante un periodo de 14 días a 4°C. Se desarrollaron soluciones de recubrimiento con carboximetilcelulosa al 1% (CMC) y con dos extractos etanólicos de tomillo (T1 y T2) obtenidos por sonicación, y glicerol como agente plastificante al 1%, se asignaron lotes recubrimiento se aplicó por inmersión bajo los siguientes lotes A) CMC, B) CMC-T1, C) CMC-T2. Se analizaron las variables: porcentaje de pérdida de peso (PPP) (durante 14 días), el pH, acidez total titulable (ATT), la sintomatología asociada al daño físico causado por el desespinado y la asociada al frío, evaluada con una escala categórica de 5 puntos, estas variables se evaluaron al inicio ($t=0$) y al día final ($t=14$) y se comparó con un control. Los resultados mostraron diferencias significativas, durante el estudio en el PPP entre los tratamientos y el control. No se encontraron diferencias significativas entre los valores del pH de las muestras y el tratamiento. Hubo diferencias significativas en el porcentaje de acidez total titulable entre el control y los tratamientos, en cuanto al daño por desespinado diferencias subjetivas entre los tratamientos, siendo mayor en el control y menor en las muestras CMC-T1 y CMC-T2. El daño ocasionado por frío fue mayor en las muestras Control. Los resultados sugieren que la carboximetilcelulosa es un compuesto que puede ser utilizado en conjunto con el extracto de tomillo para la generación de recubrimientos y películas comestibles que apoyen al medio ambiente y para mantener la calidad en el nopal al alargar la vida de anaquel.

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos comestibles son definidos como una película polimérica, que es aplicada sobre los alimentos por medio de inmersión, aspersión, entre otros, que proporciona protección mecánica y una barrera selectiva a la transmisión de gases, vapores, olores, sabores y solutos (Del-Valle et al., 2005, Velázquez y Guerrero, 2014), que generalmente están constituidas por proteínas, lípidos y polisacáridos. Algunos de los polisacáridos utilizados como recubrimientos comestibles son el almidón, el quitosano, la carragenina, el alginato, ciertas gomas y fibras, la celulosa y sus derivados. Dentro de estos últimos se encuentra el compuesto carboximetilcelulosa, que ha sido utilizado para desarrollar películas comestibles que recubren algunos alimentos y solucionar algunos problemas generados en la vida de anaquel de los alimentos de origen animal, vegetal y productos secos (Kong et al., 2024), algunos ejemplos de su aplicación es en jamones curados para el control de calidad ocasionado por *Tyrophagus putrescentiae* (Smith et al., 2023), recubrir frutas para su vida de anaquel, tales como la mandarina (Ruan et al., 2024), el plátano (Nongnual et al., 2024) y en alimentos de origen animal, como en el recubrimiento de filetes salmón (Tan et al., 2024), y para recubrir carne de vacuno (Nabeel Ahmad et al., 2024).

Los recubrimientos de CMC, presentan barreras contra el oxígeno y los lípidos, presentan flexibilidad aceptable y transparencia (Valizadeh et al., 2019), y sus cualidades pueden ser aprovechadas al incorporar ciertos agentes que coadyuven a alargar la vida de anaquel. Estos agentes pueden ser sabores, nutrientes, compuestos antimicrobianos y antioxidantes que pueden alargar la vida de anaquel de un producto (Tapia et al., 2007). En el caso de la incorporación de sustancias naturales a películas comestibles

con actividad antimicrobiana (Ardjoum et al., 2023) y antioxidante es una opción importante (Vargas et al., 2008), dando como consecuencia un recubrimiento bioactivo, que retarda los mecanismos microbianos y de oxido-reducción de un sistema alimentario (Bonilla y Sobral, 2016; Ardjoum et al., 2023).

En cuanto a los componentes antioxidantes que pueden adicionarse como aditivos comerciales (Nongnual et al., 2024), extractos de plantas (Ardjoum et al., 2023; Favre et al., 2018), frutas y cáscaras de frutas (Sun et al., 2024; Nabeel Ahmad et al., 2024), hojas de árboles (He et al., 2020) entre otros.

El objetivo de este trabajo, fue estudiar el efecto que tiene un recubrimiento a base de carboximetilcelulosa y extracto de tomillo, sobre la vida de anaquel del nopal (*Opuntia ficus-indica*) desespinado, evaluando algunos atributos de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS DE TOMILLO (*Thymus vulgaris* L)

Las varas de tomillo se adquirieron en un mercado local, cercano al lugar de trabajo, fueron transportadas hasta el laboratorio. Se lavaron, y se remojaron en una solución comercial de frutas y verduras por 15 min, se dejaron escurrir y se secaron en un horno de convección forzada a 50°C durante 24 horas. La obtención de extractos se realizó mediante sonicación con 35 y 50% de etanol, durante 15 segundos de sonicación y una amplitud de 25%.

OBTENCIÓN DE MUESTRAS

Se adquirieron las muestras de nopal en un mercado local, cercano al lugar de trabajo sin espinas frescos, sin daños mecánicos de aproximadamente 20-25 cm de largo. Es importante señalar que no se tienen referencias de la hora de recolección, edad, ni manejo del cultivo.

Se seleccionaron los nopales al azar, y se asignaron a los siguientes tratamientos: recubrimiento de CMC (CMC), recubrimiento de CMC con extracto de tomillo al 35% (CMC-T1), recubrimiento de CMC con extracto de tomillo al 50% CMC-T2, y un control, sin recubrimiento. En todos los casos la CMC fue de 1% y 1% de glicerol como plastificante a pH 4. Cada tratamiento constó de 3 nopales por cada día de toma de muestra y fueron almacenados a 4°C y colocados sobre una charola de poliestireno comercial. El tiempo de almacenamiento fue de 14 días.

PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO (PPP)

Se pesaron todas las muestras al tiempo 0, y cada día se registró el peso de ambos tratamientos. El PPP fue calculado mediante la diferencia de peso inicial ($t=0$) y el final ($t=14$) y fue reportado en porcentaje. Esta variable se analizó todos los días de estudio.

DETERMINACIÓN DE PH Y ACIDEZ TOTAL TITULABLE

Las muestras se manipularon de manera independiente, se obtuvo un homogenizado en una relación 1:3 p/v de cada lote. El pH se determinó en el jugo de nopal de cada unidad experimental con un potenciómetro (SCIENCE MED, SM-38W) calibrado previamente (Burton, 1982).

La acidez total titulable (ATT) se determinó mediante el método 942.15 del AOAC (2005) titulando el jugo de nopal de cada tratamiento con hidróxido de sodio 0.1 N y

fenolftaleína los resultados se expresaron en porcentaje de ácido málico.

Ambas variables se analizaron al inicio y al final del estudio.

SINTOMATOLOGÍA ASOCIADA AL DAÑO FÍSICO CAUSADO POR EL DESESPINADO.

La superficie afectada y la intensidad del color que se presentó en las heridas de los nopales almacenados a temperatura ambiente se evaluaron utilizando la escala categórica desarrollada por Osorio-Córdoba et al., (2011) y los valores obtenidos se transformaron en un dato único denominado índice de oscurecimiento (IO), aplicando la ecuación reportada por los mismos autores.

SINTOMATOLOGÍA ASOCIADA AL DAÑO POR FRÍO.

La magnitud de la superficie afectada de los nopales desespinaados y almacenados en refrigeración y su intensidad se evaluaron con una escala categórica de 5 puntos (1=0%, 2=1-10%, 3=11-20%, 4=21-50%, 5 >50% de superficie afectada), en esta escala se visualiza una macha ocre-amarillenta y picado en zonas desespinaadas. Con estos datos se calculó el índice de picado-bronceado (IPB) aplicando la siguiente ecuación (1).

$$\sum_{i=1}^i = \frac{(1 \times n_1) + (2 \times n_2) + (3 \times n_3) + (4 \times n_4) + (5 \times n_5)}{n}$$

Ecuación (1)

Donde: n_1 = número de nopales en el grado 1; n_2 = número de nopales en el grado 2; n_3 = número de nopales en el grado 3; n_4 = número de nopales en el grado 4; n_5 = número de nopales en el grado 5.; n = número total de nopales (Osorio-Córdoba et al., 2011). Los datos se analizaron estadísticamente mediante una comparación de medias por el método de Tukey con un 95% de confianza, con el software Minitab 21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se observa que existe una pérdida de peso con relación a los días transcurridos en almacenamiento en refrigeración.

Aparentemente, los resultados indican que los recubrimientos no evitan la pérdida de peso de las muestras, muy probablemente por la temperatura de almacenamiento, ya que se ha observado una relación entre ésta y la pérdida de peso debida a la pérdida de agua y tasa de respiración (Ulloa et al., 2015), por otro lado también podría atribuirse al extracto etanólico utilizado como un factor de deshidratación en la muestra.

Durante los 14 días de estudio se observan valores entre 5 y 6% de pérdida de peso, lo cual podría estar relacionado con la pérdida de agua presente en las muestras y por efecto del proceso de refrigeración (Ulloa et al., 2015), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y el control.

La Figura 3 muestra el comportamiento del pH, y se puede observar que la comparación entre los tratamientos no presentó diferencia significativa. Todos los valores oscilaron entre 4 y 4.4.

Es importante señalar que el pH a diferencia de la acidez total titulable no es un parámetro real del estado de las muestras. Las soluciones del recubrimiento fueron ajustadas a pH 4, por lo que es muy probable hallar existido cambios moleculares en la estructura del CMC, como es mencionado por algunos autores (Kong et al., 2024)

En la figura 15 se observan diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos del porcentaje de acidez total titulable de ácido málico.

La acidez total titulable sugiere el grado de madurez de un vegetal, en este caso el contenido de ácido málico nos sugiere el daño efectuado por el frío, en la refrigeración. Los resultados obtenidos en el presente trabajo

fue de 0.04-0.08% de ácido málico, los cuales son mas bajos a los encontrados por otros autores que han reportado que la acidez total titulable en muestras de nopal es del orden de 0.99-1.1% de ácido málico y que además las diferencias encontradas en estos valores dependen de edad de los cladodios, el manejo del cultivo, y sobre todo, a la hora en que se realiza el corte, y que afectan directamente con las propiedades organolépticas de los nopales (Maki-Díaz et al., 2015), refiriendo así estos cambios bioquímicos al metabolismo CAM propio del nopal (Osorno-Córdoba et al., 2011).

En cuanto a la evaluación de daño asociado al frío, la Figura 4, se muestran los nopales con los diferentes tratamientos, mientras que en la Figura 5, se observa su evaluación por la escala categórica de daño causado por frío de acuerdo con Osorio-Córdoba et al., (2011).

En la figura 4 se observan muestras desespinadas de los tres tratamientos estudiados y comparados con un control. La evaluación subjetiva muestra tiempos $t=0$ y $t=14$, al inicio del estudio se observa la ausencia de daño en todos los tratamientos. Sin embargo al término del estudio se aprecian diferencias entre las muestras. Se puede observar que el control es el más afectado al final del estudio, debido al color bronceado ocasionado por el oscurecimiento que aparece en los tejidos expuestos, donde se encontraban las espinas. Esta observación también fue reportada por otros autores (Osorio-Córdoba et al., 2011), que sugirieron que el oscurecimiento bronce es debido a mecanismos enzimáticos y no a la refrigeración. Por lo que el extracto de tomillo presente en los recubrimientos, contrarrestó el deterioro, en donde sus principales componentes que en su mayoría son de tipo fenólico pudo ralentizar estos mecanismos (Ardjoum et al., 2023; Favre et al., 2018).

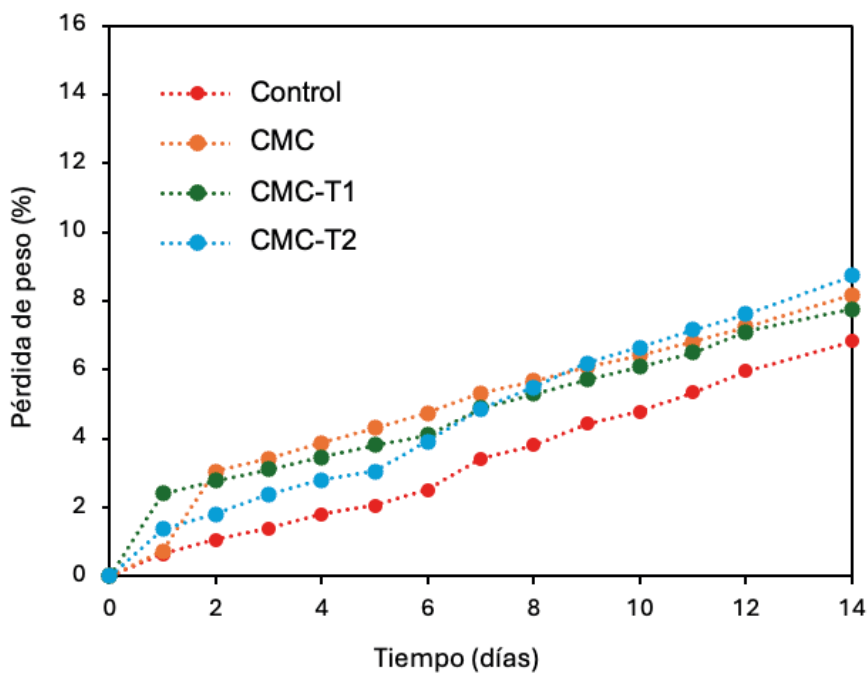


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso de muestras almacenadas a 4°C.

Los valores presentan la media de 3 repeticiones

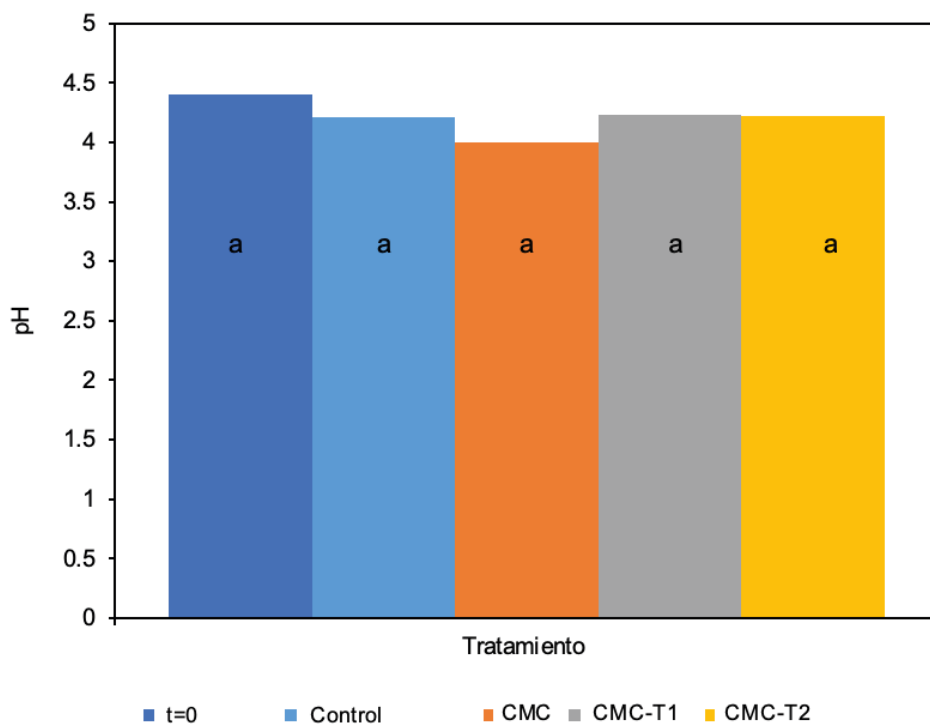


Figura 2. Valores de pH de jugo de las muestras de diferentes recubrimientos.

Diferentes letras no denotan diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

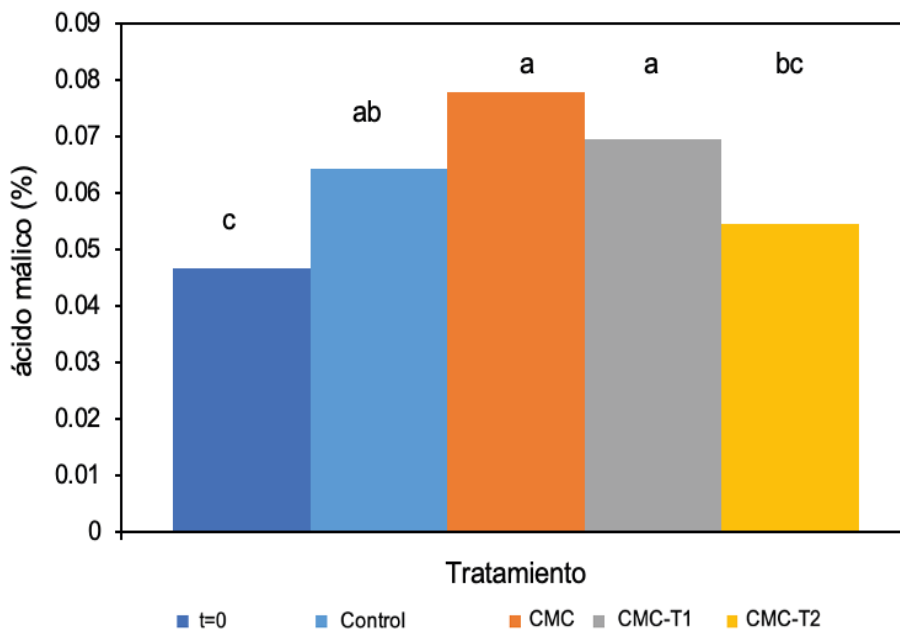


Figura 3. Acidez total titulable en equivalente en ácido málico.
Diferentes letras denotan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

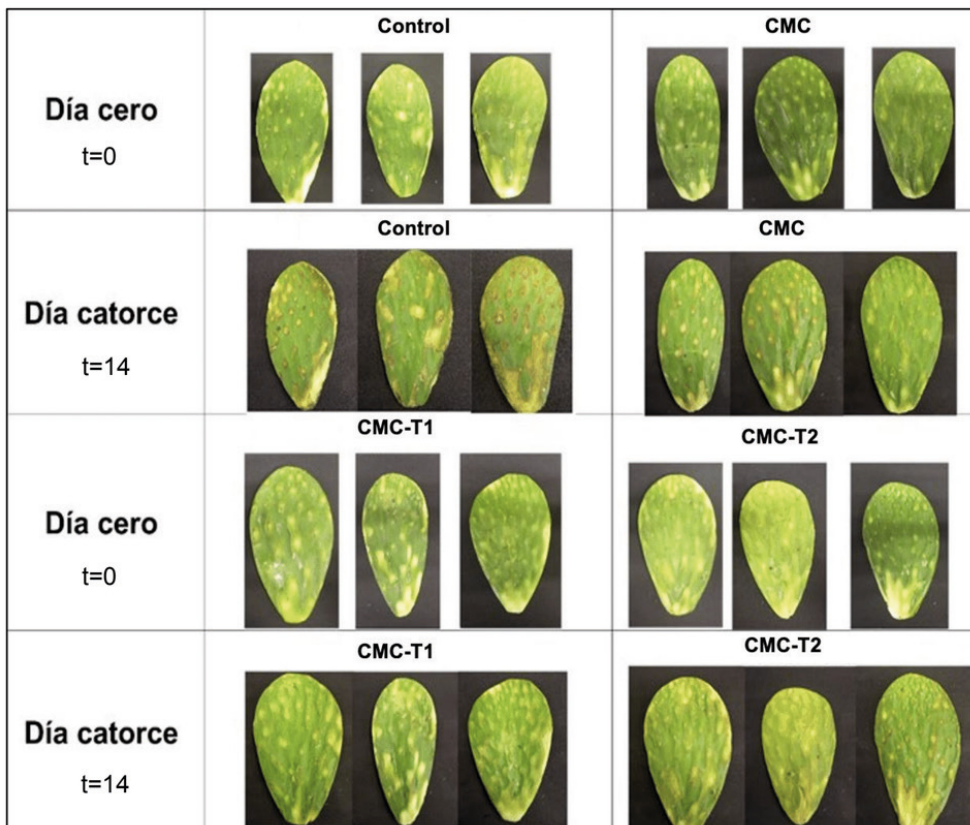


Figura 4. Observación de las muestras por escala categórica

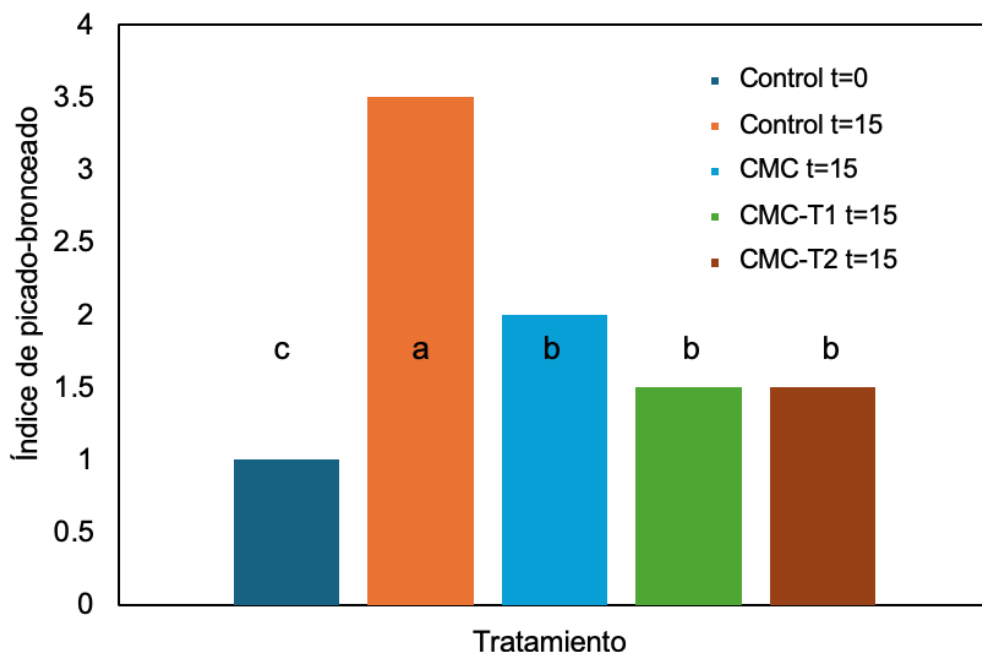


Figura 5. Escala categórica de daño ocasionado por el frío del nopal en refrigeración.

Diferentes letras no denotan diferencias significativas entre tratamientos ($p>0.05$)

Por otro lado, se observó que el tratamiento CMC presentó menor daño que el control, por lo que el recubrimiento le ayuda al control del daño. Sin embargo en los tratamientos con extracto de tomillo se observa una disminución en el daño causado por frío, donde subjetivamente se puede proponer que los tratamientos CMC-T1 y CMC-T2 evitó el daño por frío, no mostrando pérdida de integridad ni daño, siendo mas relevante en las muestras de CMC-T1.

En la figura 5, se muestra el índice de picado-bronceado ocasionado por el frío en el que por escala categórica fue determinado. Existe diferencia entre el día 0 y el día 15 en todos los tratamientos siendo mayor el Control con 3.5, mientras que CMC, CMC-T1 y CMC-T2 los menores, el menor con 1.5 en el índice de escala de picado con picado bronceado. Al realizar la comparación de medias estadísticamente podemos observar que entre los controles ($t=0$ y $t=14$) y los tratamientos hay diferencias significativas ($P>0.05$), pero no entre los recubrimientos

con CMC. Es importante señalar que no se muestran los valores obtenidos $t=0$ de todos los tratamientos ya que estos presentaron la misma escala.

CONCLUSIONES

La carboximetilcelulosa (CMC) resultó ser un medio adecuado y factible para generar recubrimientos comestibles. En este estudio se mostró que la combinación de CMC y extracto de tomillo puede alargar la vida de anaquel de los nopales desespinaados y almacenados a temperatura de refrigeración, lo cual puede apoyar a retardar mecanismos bioquímicos de tipo enzimático prolongando la vida de anaquel de frutos y vegetales, apoyando con esto a los productores a tener alternativas para el cuidado de su producto hasta el llegar al consumidor, utilizando medios sostenibles y seguros

REFERENCIAS

AOAC (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International, Edición 18.

Ardjoum, N., Chibani, N., Shankar, S., Salmieri, S., Djidjelli, H., & Lacroix, M. (2023). Incorporation of *Thymus vulgaris* essential oil and ethanolic extract of propolis improved the antibacterial, barrier and mechanical properties of corn starch-based films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 224, 578–583.

Bonilla, J., & Sobral, P. J. A. (2016). Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. *Food Bioscience*, 16, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.07.003>

Burton, W.G. (1982). Post-harvest physiology of food crops. Longman Publishing Group, Nueva York, EU.

Favre, L. C., dos Santos, C., López-Fernández, M. P., Mazzobre, M. F., & Buera, M. del P. (2018). Optimization of β -cyclodextrin-based extraction of antioxidant and anti-browning activities from thyme leaves by response surface methodology. *Food Chemistry*, 265, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.078>

He, B., Wang, W., Song, Y., Ou, Y., & Zhu, J. (2020). Structural and physical properties of carboxymethyl cellulose/gelatin films functionalized with antioxidant of bamboo leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 1649–1656. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.286>

Kong, P., Rosnan, S. M., & Enomae, T. (2024). Carboxymethyl cellulose–chitosan edible films for food packaging: A review of recent advances. *Carbohydrate Polymers*, 346, 122612. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122612>

Maki-Díaz, G., C.B. Peña-Valdivia, R. García-Nava, M. Arévalo-Galarza, G. Calderón-Zavala y S. Anaya-Rosales. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia* 49(1):31-51.

Nabeel Ahmad, H., Yong, Y., Wang, S., Munawar, N., & Zhu, J. (2024). Development of novel carboxymethyl cellulose/gelatin-based edible films with pomegranate peel extract as antibacterial/antioxidant agents for beef preservation. *Food Chemistry*, 443, 138511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138511>

Nongnual, T., Butprom, N., Boonsang, S., & Kaewpirom, S. (2024). Citric acid crosslinked carboxymethyl cellulose edible films: A case study on preserving freshness in bananas. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131135>

Osorio-Córdoba J., Pelayo-Zaldivar C., Verde-Calvo J.R., Ponce-Valadez M., Dias de León-Sanchez, Bosquez-Molina E. y Rodríguez-Huezo, M. E. (2011). Conservación de nopal verdura Milpa Alta (*Opuntia ficus indica* Mill.) desespinado en envases con atmósfera modificada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(1):93-104.

Ruan, C.-Q., Zhao, M., Zhang, W., & Zeng, K. (2024). Carboxymethyl cellulose based edible nanocomposite coating with tunable functionalities and the application on the preservation of postharvest Satsuma mandarin fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101364. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101364>

Smith, S. W., Zhang, X., Little, E. M., Zaldivar, L. R., White, S. A., Campbell, Y. L., Phillips, T. W., & Schilling, M. W. (2023). Efficacy of a carboxymethylcellulose (CMC)-based edible film with propylene glycol to control ham mite populations that infest dry cured ham. *Journal of Stored Products Research*, 103, 102162. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102162>

Sun, C., Wang, Y.-S., Luan, Q.-Y., & Chen, H.-H. (2024). Preparation and properties of edible active films of gelatin/carboxymethyl cellulose loaded with resveratrol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 283, 137897. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137897>

Tan, X., Sun, A., Cui, F., Li, Q., Wang, D., Li, X., & Li, J. (2024). The physicochemical properties of Cassava Starch/Carboxymethyl cellulose sodium edible film incorporated of *Bacillus* and its application in salmon fillet packaging. *Food Chemistry: X*, 23, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101537>

Ulloa, L., Sáenz, M. V., Castro, J., Ulloa, L., Sáenz, M. V., & Castro, J. (2015). Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre el desarrollo de color externo y la calidad de frutos de piña cv. Dorada extra dulce. *Agronomía Costarricense*, 39, 9–20.