



## Recubrimientos de manzanas amarillas (*Malus domestica*) de la variedad *Golden Delicious*: Cera de carnauba y cera de candelilla *versus* biopolímeros de quitina-quitosana

### *Coatings of yellow apples (*Malus domestica*) of the Golden Delicious variety: Carnauba wax and candelilla wax versus chitin-chitosan biopolymers*

Edgar Pérez-Portillo\*, Rolando Salvador García-Gómez, Samuel Mendoza-Pérez, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Facultad de Química, FQ,  
Departamento de Ingeniería Química, DIQ, Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química  
Ambiental y de Química Ambiental, LIQAYQA,  
Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México.  
Tel. (+52-55) 5622-5300 al 04, Fax (+52-55) 5622-5300  
Correo-e (*e-mail*): edgar.2106@hotmail.com

\*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / *Author to whom correspondence should be addressed*

Recibido: Enero 15, 2024 / *Received: January 15, 2024*

Aceptado: Febrero 15, 2024 / *Accepted: February 15, 2024*

#### Resumen

Los recubrimientos comestibles aumentan la vida de anaquel de frutos como parte de los tratamientos post cosecha. Polímeros como la quitina y su derivado desacetilado, la quitosana (Q-Qn), obtenidos a partir de residuos de cefalotórax y exoesqueletos de crustáceos (camarón, *Litopenaeus vannamei*), presentan beneficios cuando se aplican sobre productos hortofrutícolas que podrían potenciarse adicionando aceite esencial de naranja, AEN. En esta investigación se compararon la Q-Qn con y sin AEN con dos ceras naturales, de carnauba (*Copernicia prunifera*) y de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zuuc) y con un control de quitosana comercial de la marca Sigma® teniendo un grupo blanco sin recubrimiento alguno. El fruto climatérico usado fue la manzana (*Malus domestica*) de la variedad 'Golden Delicious'. Los grupos de fruta obtenidos fueron almacenados durante 18 días a tres diferentes condiciones de temperatura: Óptima (4°C), típica (25°C) y adversa (35°C). Los parámetros de evaluación fueron: Valor de pH, porcentaje de acidez, porcentaje de humedad, degradación de ácido ascórbico, concentración de sólidos solubles y parámetros sensoriales (color, firmeza y crecimiento de hongos y/o manchas negras de manera visual). Los resultados sobresalientes indicaron que a temperatura de refrigeración, los recubrimientos no fueron determinantes para prolongar la vida de anaquel, aunque se comportaron como un complemento post-cosecha bajo estas condiciones. A temperaturas ambiente y adversa, tanto las ceras como el biopolímero experimental de quitina quitosana permitieron retardar algunos efectos de la maduración como cambio de coloración, ablandamiento, degradación del almidón y pérdida de humedad. Estos resultados se reflejaron al calcular el tiempo teórico estimado con el modelo cinético de Arrhenius sobre la pérdida de acidez. Con el mismo modelo el tiempo de vida útil estimado se afectó positivamente a condiciones óptimas y adversas aplicando el recubrimiento experimental de Q-Qn. Pese a no aumentar la vida de anaquel comparado con las ceras permitió alargar la vida de anaquel al menos ocho días con respecto del blanco. La evaluación sensorial con cien jueces no entrenados, quienes evaluaron color, aroma, textura y sabor de mermeladas elaboradas con manzanas cubiertas con los recubrimientos evaluados y el control, indicó que los recubrimientos alteraron las propiedades sensoriales, obteniéndose diferencias significativas en la coloración y la textura de las mermeladas. El análisis de varianza determinó que no hubieron diferencias significativas en las preferencias de los consumidores de las mermeladas.

**Palabras clave:** Recubrimientos de ceras de carnauba (*Copernicia prunifera*) y candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zuuc), quitina-quitosana de camarón (*Litopenaeus vannamei*), manzanas amarillas (*Malus domestica*) Golden Delicious

#### Abstract

*Edible coatings increase the shelf life of fruits as part of post-harvest treatments. Polymers such as chitin and its deacetylated derivative, chitosan (Q-Qn), obtained from cephalothorax and exoskeletons of crustacean (shrimp, *Litopenaeus vannamei*) present benefits when applied to horticultural products and might be enhanced adding orange essential oil, OEO. In this*

research, two natural waxes, *carnauba* (*Copernicia prunifera*) and *candelilla* (*Euphorbia antisyphilitica* Zuuc), were compared with Q-Qn with and without OEO and a control of commercial chitosan from the Sigma® brand using a blank group without any coating. The climacteric fruit used was the apple (*Malus domestica*) of the 'Golden Delicious' variety. The fruit groups obtained were stored for 18 days at three different temperature conditions: Optimal (4°C), typical (25°C), and adverse (35°C). The evaluation parameters were pH value, percentage of acidity, percentage of humidity, degradation of ascorbic acid, concentration of soluble solids, and sensory parameters (color, firmness, and growth of fungi and/or black spots visually). The outstanding results indicated that at refrigeration temperature, the coatings were not decisive in prolonging shelf life, although they behaved as a post-harvest complement under these conditions. At ambient and adverse temperatures, both the waxes and the experimental chitin-chitosan biopolymer allowed delaying some ripening effects such as color change, softening, starch degradation, and moisture loss. These results were reflected when calculating the theoretical time estimated with the Arrhenius kinetic model on the loss of acidity. With the same model, the estimated useful life was positively affected under optimal and adverse conditions by applying the experimental Q-Qn coating. Despite not increasing the shelf life compared to the waxes, it allowed the shelf life to be extended by at least eight days compared to the blank. The sensory evaluation, with one hundred untrained judges who evaluated color, aroma, texture, and flavor of jams made with apples covered with the evaluated coatings and the control, indicated that the coatings altered the sensory properties, obtaining significant differences in the coloration and texture of the apple jams. The analysis of variance determined that there were no significant differences in consumer preferences for jams.

**Keywords:** *Carnauba* (*Copernicia prunifera*) and *candelilla* (*Euphorbia antisyphilitica* Zuuc), shrimp chitin-chitosan (*Litopenaeus vannamei*), Golden Delicious yellow apples (*Malus domestica*)

## Problemática

Actualmente, los consumidores demandan alimentos de alta calidad desde el punto de vista sensorial y nutrimental que sean mínimamente procesados, fáciles de preparar y listos para su consumo (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Los productos hortofrutícolas han respondido ante esta problemática, sin embargo, se estima que se pierden entre el 30 y 40% de la producción entre la cosecha y el consumo final. Esto se debe a que algunas de las operaciones durante su almacenamiento, procesamiento o comercialización pueden causar diversos efectos negativos, como el pardeamiento enzimático, el ablandamiento y crecimiento microbiano que altera la integridad y apariencia de este tipo de productos (Saucedo-Pompa et al., 2009).

En la cadena hortofrutícola es importante mantener la calidad de los productos frescos. Estos deben tener una vida de anaquel suficiente para mantener sus propiedades sensoriales y garantizar su inocuidad (Pérez-Pérez y López-Malo, 2011). Por tanto, se han desarrollado tecnologías post cosecha para la conservación de los productos hortofrutícolas que mejoran y prolongan su calidad impactando directamente en la seguridad de los consumidores. Por otro lado, estas tecnologías resultan benéficas para los productores de este tipo de productos al reducir las pérdidas post cosecha (Ochoa et al., 2011). Entre los tratamientos post cosecha, uno de gran utilidad está representado por los recubrimientos comestibles, con un menor costo, una mayor disponibilidad y biocompatibilidad frente a otros tratamientos al ser elaborados con poliglúcidos, lípidos y/o proteínas (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Otras opciones son las películas plásticas desarrolladas a partir de biopolímeros de cefalotórax y exoesqueletos de crustáceos con lo cual se espera disminuir los índices de contaminación de cuerpos de agua y de mercados rurales o municipales donde se deposita esta materia orgánica (Catzín, 2009). Uno de los compuestos encontrados en los caparzones y exoesqueletos de crustáceos es la quitina así como su derivado desacetilado la quitosana. Para su extracción es común emplear ácidos y álcalis fuertes (Sierra et al., 2013): Por ello, en los Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM se desarrolló una metodología para la extracción de este biopolímero mediante un disolvente amigable con el ambiente denominado MAC-141© (Flores-Ortega, 2004, 2008; Flores-Ortega et al., 2004).

El acondicionamiento del biopolímero ha permitido desarrollar recubrimientos comestibles para su aplicación en productos hortofrutícolas gracias a sus propiedades mecánicas y de barrera ante el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y vapor de agua a escala de laboratorio: Guayabas y uvas verdes (Seseña-Alcalde, 2019; Seseña-Alcalde et al., 2020), mangos (Juárez-Cruz, 2019), frambuesas (De-la-Cruz-Guerra, 2019), peras y zarzamoras (Zarazúa-Cruz et al., 2021), y ciruelas negras (Villanueva-Jacobo, 2022).

En México, la manzana de la variedad 'Golden Delicious' es una fruta importante debido a su producción y consumo. Son frutos climatéricos que poseen una vida de almacenamiento relativamente larga, debido a que poseen una actividad respiratoria baja en comparación con otros cultivos frutales (Guerrero-Prieto et al., 2004). Su producción puede verse fuertemente afectada por un mal manejo post-cosecha, siendo la disminución de la firmeza, el principal problema de almacenamiento de las manzanas como consecuencia de la pérdida de agua provocada por lesiones físicas y desarrollo microbiano. De acuerdo con el Panorama Agroalimentario 2021 (SIAP, 2021), la producción de manzana en México solamente satisface el 77.26% de la demanda nacional, la cual se complementa con importaciones principalmente de Estados Unidos y Chile. Se estima que para el 2030, el consumo nacional aumente de 0.71 a 1.10 millones de toneladas y que la producción nacional se incremente de 0.72 a 1.01 millones de toneladas con respecto al año 2020 (SIAP, 2021). Esto hace necesario mejorar el sistema productivo y de post cosecha recolectando el fruto bajo los índices de madurez adecuados, controlando las condiciones de almacenamiento y aplicando tratamientos post-cosecha que permitan prolongar su vida útil minimizando las pérdidas que pudieran presentarse. México ocupó el 18° lugar a nivel mundial en 2020 y su consumo fue de 7.6 kg per capita en 2020. El 0.12% de la producción de manzanas mexicanas (Figura 1) se canaliza al mercado exterior para su exportación, donde Belice es el cliente principal, seguido de Estados Unidos, Argentina, Chile y Nicaragua (SIAP, 2021).



**Mapa 1.** Producción de manzana (toneladas) en 2020 (tomado y modificado de SIAP, 2021)

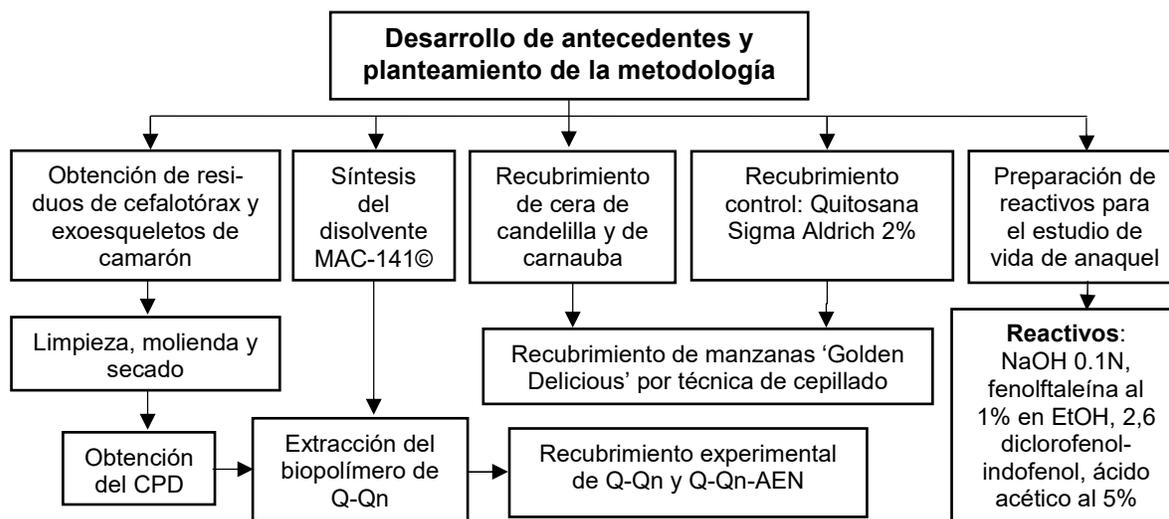
Dentro del contexto anterior, en esta investigación, se realizaron los estudios de vida de anaquel de manzanas de la variedad 'Golden Delicious'. La manzana (*Malus domestica*) es una fruta climatérica que se cultiva comercialmente en regiones templadas del mundo. De acuerdo con la NMX-FF-061-SCFI-2003 (SE, 2003) se entiende por manzana al fruto perteneciente a la familia *Rosaceae*, subfamilia *Pomaideae*, género y especie *Malus domestica* de forma, tamaño, color y sabor característicos de acuerdo con la variedad de proveniencia. En México, la manzana en estado fresco destinada a la comercialización y consumo humano, en función de sus especificaciones, se clasifica en tres grados de calidad en orden descendente: México Extra, México 1 y México 2 donde, como requisito mínimo para las categorías indicadas, las manzanas deberán ser y/o estar: De una sola variedad, enteras, de consistencia firme y aspecto fresco, sanas y sin indicios de podredumbre o deterioro y de daños por plagas, exentas de coloración café en la pulpa y daño por congelamiento, libres de daños por frío, sin magulladuras pronunciadas, limpias y prácticamente exentas de materia extraña visible y exentas de humedad anormal y de cualquier olor y/o sabor extraños.

En esta investigación se buscó comparar manzanas (*Malus domestica*) de la variedad 'Golden Delicious' recubiertas con un biopolímero experimental de quitina-quitosana, obtenido a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) a través de una metodología con un

enfoque de química verde con otros biopolímeros comerciales. Los biopolímeros estudiados fueron cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zuuc) y cera de carnauba (*Copernicia prunifera*) que son de las más utilizadas para reducir la respiración y estrés oxidativo de los productos hortofrutícolas. Adicionalmente, se realizó un estudio de vida de anaquel del fruto bajo estudio para evaluar el efecto sinérgico del recubrimiento natural de Q-Qn con un aceite esencial de naranja comercial (AEN) para obtener mayores beneficios en los parámetros evaluados, de acuerdo con una investigación previa (Juárez-Cruz, 2019). El objetivo general fue evaluar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con un biopolímero de quitina-quitosana y con ceras naturales de candelilla y carnauba realizando una comparación entre los grupos estudiados viendo el posible efecto del AEN.

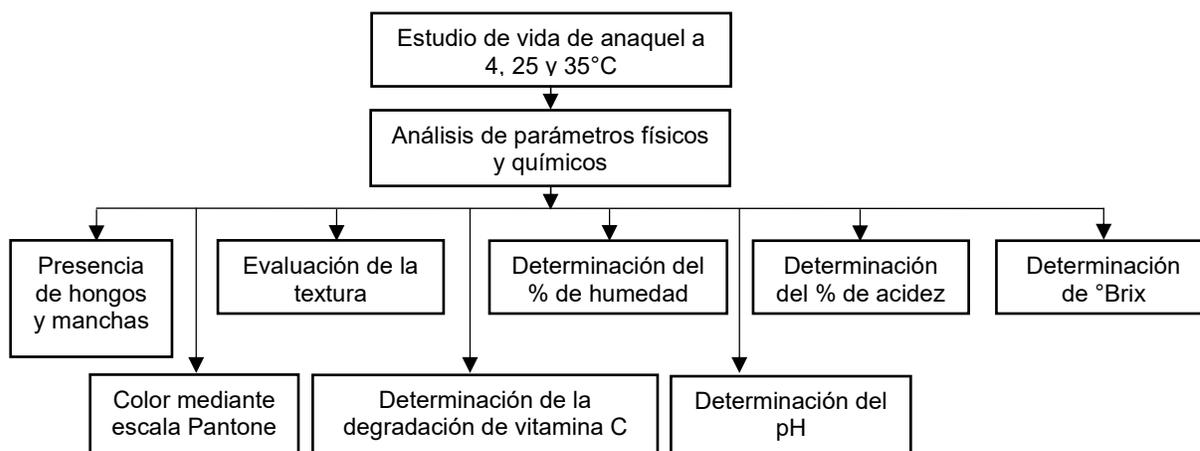
## Metodología

Se obtuvo el biopolímero de quitina-quitosana, Q-Qn, partiendo de cefalotórax y exoesqueletos de camarón para su aplicación como recubrimiento en manzanas de la variedad 'Golden Delicious' con y sin la adición de aceite esencial de naranja, AEN, bajo tres condiciones de almacenamiento a tres diferentes temperaturas (4, 25 y 35°C). Se determinó la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' a través de la evaluación de parámetros físicos y químicos (color, firmeza al tacto, presencia visual de hongos y manchas negras, % humedad, °Bx, pH, % de acidez y contenido de vitamina C) de los cinco tratamientos (quitina quitosana, cera de carnauba y de candelilla, quitosana Sigma Aldrich® 2% y sin recubrir) estudiando el efecto de la aplicación de los recubrimientos en la vida útil de un producto elaborado con ellas. Se prepararon mermeladas con los diferentes grupos de fruta recubierta y el grupo sin recubrimiento a través de pruebas de nivel de agrado empleando jueces no entrenados evaluando sus propiedades sensoriales (aspecto, aroma, textura y sabor). A continuación se detalla lo señalado. El Diagrama 1a muestra la primera etapa de la investigación para obtener: a) Cefalotórax y exoesqueletos de camarón pulverizados 2) La fracción parcialmente desproteinizada (CPD) empleando para ello el disolvente MAC-141© para extraer la mezcla de quitina-quitosana (Q-Qn) y 3) El acondicionamiento de la mezcla anterior para obtener la solución formadora del recubrimiento experimental (Tlelo-Bárcena et al., 2024). Adicionalmente durante esta etapa, se formularon las soluciones de los recubrimientos de comparación: La cera de candelilla, la cera de carnauba y un recubrimiento control obtenido de quitosana comercial de la marca Sigma-Aldrich® al 2%. Con esto, fueron recubiertos los 4 grupos de manzanas de la variedad 'Golden Delicious' mediante la técnica de cepillado y un grupo de manzanas sin recubrir (Villanueva-Jacobo, 2022). Finalmente y como un complemento a la investigación, se formuló un recubrimiento adicionando aceite esencial de naranja comercial, grupo denominado Q-Qn-AEN, con el objetivo de evaluar si se presentaba alguna sinergia entre ambos (Juárez-Cruz, 2019).



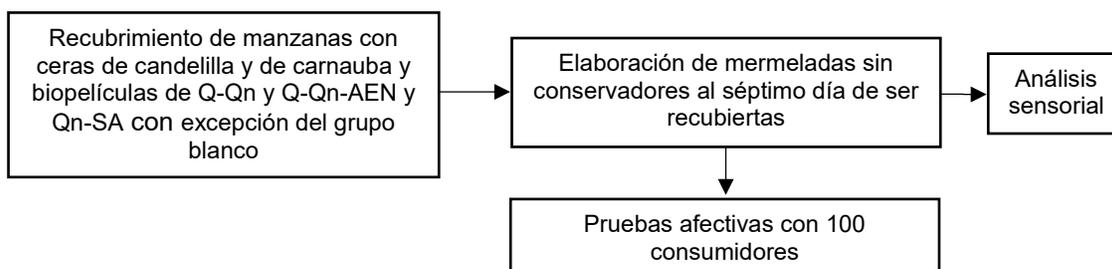
**Diagrama 1a.** Desarrollo experimental de la primera etapa de la investigación

En el Diagrama 1b se señala la segunda etapa de la investigación, la determinación de la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' con y sin recubrimiento. El estudio midió parámetros físicos y químicos de acuerdo con la *AOAC* y la normativa mexicana vigente a cada muestra de los seis grupos manejados (Villanueva-Jacobo, 2022): 1) quitina-quitosana (Q-Qn), 2) quitina-quitosana con aceite esencial de naranja (Q-Qn-AEN), 3) quitosana comercial Sigma Aldrich® empleada al 2% (Qn-SA 2%), 4) cera de (candelilla, 5) cera de carnauba y 6) grupo control o blanco. Todas las manzanas recubiertas estuvieron sometidas a las temperaturas de 4, 25 y 35°C.



**Diagrama 1b.** Desarrollo experimental de la segunda etapa de la investigación

En el Diagrama 1c se presenta la etapa final de la investigación: La evaluación sensorial. Esta evaluación consistió en la elaboración de mermeladas empleando los diferentes grupos de frutas recubiertas y el grupo sin recubrir para ser analizadas empleando 100 jueces no entrenados mediante la aplicación de pruebas afectivas.



**Diagrama 1c.** Desarrollo experimental de la tercera etapa de la investigación

### Primera etapa

Los cefalotórax y exoesqueletos de camarón fueron adquiridos en la zona de pescados y mariscos de la Nueva Viga de la Central de Abastos de la Ciudad de México. Se transportaron en condiciones de baja temperatura a los Laboratorios 301-302-303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA) del Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM, donde se procedió a su limpieza de acuerdo con la técnica señalada por Tlelo-Bárcena et al. (2024), colocándolos al chorro de agua para remover impurezas y materia extraña. La pulverización de los cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizados (CPD) se realizó mediante un proceso de acondicionamiento de la materia prima seca y sin impurezas de acuerdo con la técnica establecida por

Flores-Ortega en 2008, adaptada por Sarabia-Bañuelos en 2011 y refinada por Tlelo-Barcena et al. (2024):

- 1) **Molienda.** La molienda del cefalotórax con agua se realizó en una licuadora doméstica de la marca *Osterizer*, en una relación 1:2 en masa, durante 30 segundos a máxima potencia. En esta parte del proceso, un mayor porcentaje de las proteínas, grasas, pigmentos y parte de los minerales fueron eliminados cuando se licuaron los cefalotórax y exoesqueletos de camarón con agua obteniéndose subproductos parcialmente desproteinizados (Flores-Ortega et al., 2004).
- 2) **Filtración.** La filtración del producto obtenido en el paso anterior se realizó a través de un tamiz del No. 18 (1 mm de abertura) para separar la parte líquida. El CPD húmedo retenido en el tamiz se recogió para repetir el proceso de molienda y filtración.
- 3) **Secado.** El CPD húmedo derivado del paso anterior se colocó en charolas recubiertas con aluminio y se sometió a un proceso de secado en un horno de convección a 60°C durante 18 horas para obtener el CPD seco.
- 4) **Tamizado.** La separación del CPD seco se realizó en un tamiz del No. 80 para obtener un tamaño de partícula menor a 0.18 mm. El producto final se resguardó en un envase hermético y fue almacenado en una cámara de frío hasta su posterior uso.

#### **Elaboración del disolvente MAC-141©**

La síntesis del disolvente MAC-141© se realizó con base en la metodología descrita por Flores-Ortega et al. (2004) y mejorada por Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa (2014). La mezcla de metanol, agua y cloruro de calcio en una relación molar 1:4:1 se empleó para la extracción de la mezcla de quitina quitosana a partir del CPD obtenido. Esto se fundamenta en que el sistema MAC rompe los puentes de hidrógeno de la quitina y forma un complejo quitina-sal de calcio soluble. Por su parte, las moléculas de metanol son capaces de redirigir las zonas hidrofóbicas del polisacárido lejos del disolvente, es decir, cambian la estructura cristalina de la quitina (Flores-Ortega, 2008). En la Tabla 1 se presentan las cantidades que fueron empleadas para la síntesis del disolvente. Para evitar la volatilización del metanol, inicialmente se solubilizó el cloruro de calcio con agua destilada en un matraz de bola dentro de un baño de hielo ya que es una reacción exotérmica. Una vez que la temperatura de la mezcla descendió entre 45-50°C se adicionó el metanol y se montó el equipo de reflujo para mantener la mezcla de reacción en agitación durante 8 h a 60°C como se observa en la Figura 1.

**Tabla 1.** Cantidades empleadas para la elaboración del disolvente MAC-141© (Flores-Ortega et al., 2004)

<b>Compuesto MAC</b>	<b>Masa (g) o volumen (mL)</b>
<b>Metanol</b>	99 mL
<b>Agua</b>	180 mL
<b>Cloruro de calcio</b>	277.5 g

#### **Extracción del biopolímero de quitina-quitosana**

La extracción sólido líquido de la mezcla de Q-Qn se realizó a partir de la harina de cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteinizada (CPD) con el disolvente MAC-141© de acuerdo con la metodología señalada por Sarabia (2011) y modificada por Enríquez (2016). En otros estudios sobre los recubrimientos de quitina quitosana Juárez-Cruz (2019) y De-la-Cruz-Guerra (2019) evaluaron una proporción 1:50, sin embargo, para fines prácticos y con el objeto de evaluar la efectividad del recubrimiento en diferentes proporciones, se decidió evaluar la proporción 1:10 (m/m). Esta mezcla se mantuvo en reposo durante 48 h y posteriormente se filtró mediante un equipo de filtración al vacío conformado por un embudo Büchner y un matraz Kitasato. El filtrado se colocó en 3 recipientes de vidrio y fue almacenado durante 48 h en un desecador al cual se le sustituyó la sílice por agua para una completa solubilización del calcio presente en la solución formadora del recubrimiento (Figura 2). Transcurrido este tiempo, se almacenó en una cámara de frío hasta su uso posterior.



**Figura 1.** Equipo de reflujo para la elaboración del disolvente MAC-141©



**Figura 2.** Almacenamiento de la mezcla Q-Qn en una cámara de humidificación

#### **Elaboración del recubrimiento de quitosana Sigma-Aldrich® al 2%**

Para contar con una referencia del recubrimiento experimental de Q-Qn, se elaboró un recubrimiento control a partir de quitosana comercial de la marca Sigma-Aldrich® al 2% en agua acidulada con ácido ascórbico al 2% (m/v). La selección del disolvente y soluto se realizó con base en lo señalado por Ortega-Granados y Durán-Domínguez-de-Bazúa (2014) y descrito por Nava-Arévalo et al. (2016). Esta disolución se mantuvo en agitación constante durante 4 horas y sin calentamiento. El recubrimiento control se resguardó en una cámara de frío hasta proceder a su aplicación en los frutos.

#### **Formulación de las ceras de carnauba y de candelilla**

Se evaluaron cuatro formulaciones de cera de candelilla y cuatro formulaciones de cera de carnauba que han sido utilizadas sobre frutos en estudios previos los cuales se muestran en la Tabla 2 (Oregel et al., 2016). Las proporciones de cera fueron aplicables tanto para la cera de candelilla como para la de carnauba con el propósito de seleccionar la formulación idónea para su aplicación en las manzanas 'Golden Delicious'. La elaboración de los recubrimientos a base de ceras requirió la adición de otros aditivos según lo estipulado en cada formulación. La goma guar se añadió para mejorar la función de barrera contra la humedad junto con las ceras mientras que el glicerol se añadió para mejorar las propiedades mecánicas de los recubrimientos y así evitar que fuera quebradizo durante su aplicación (Campos et al., 2011). Las formulaciones de cera de candelilla se elaboraron con base en la metodología descrita por Oregel et al. (2016) con algunas modificaciones. La técnica consistió en una homogeneización continua para formar una emulsión estable; cada diez minutos se adicionó un componente en agua a 80°C y se homogeneizó en una licuadora doméstica marca *Hamilton Beach* a máxima velocidad (Figura 3). El orden de adición de los componentes fue goma guar, cera de candelilla y glicerol. Finalmente, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente (Figura 4). Para el caso de la formulación de cera de carnauba, se adoptó la misma metodología modificando la temperatura del agua a 85°C.

**Tabla 2.** Formulaciones evaluadas para la elaboración de recubrimientos a base de ceras (Oregel et al., 2016)

<b>Formulación</b>	<b>Goma guar (%)</b>	<b>Cera (%)</b>	<b>Glicerol (%)</b>	<b>Agua (%)</b>
<b>Formulación 1</b>	0.8	0.2	0.3	98.7
<b>Formulación 2</b>	1.2	0.2	0.2	98.4
<b>Formulación 3</b>	0.8	0.4	0.2	98.6
<b>Formulación 4</b>	1.2	0.4	0.3	98.1



**Figura 3.** Licuadora marca Hamilton Beach de 10 velocidades



**Figura 4.** Formulaciones de cera de candelilla

La selección de la formulación idónea de cera de candelilla y de carnauba se basó en sus propiedades sensoriales (color, textura, cantidad de partículas de cera no dispersas), su facilidad de aplicación y el tiempo de secado. Con base en la evaluación de estos parámetros, se seleccionó la formulación 3 para elaborar la cera de carnauba y la formulación 4 para la cera de candelilla.

#### **Obtención de las frutas empleadas en la investigación**

Las manzanas de la variedad 'Golden Delicious' empleadas en el estudio de vida de anaquel, se obtuvieron en la Central de Abastos de la Ciudad de México con un estado de maduración comercial procurando que fueran de color y tamaño uniforme y con ausencia de daño cutáneo. Las manzanas fueron adquiridas el mismo día de la aplicación con los recubrimientos y transportadas a los Laboratorios 301 al 303 del LIQAYQA donde se procedió a realizar su limpieza y remoción de materia extraña. Finalmente, fueron clasificadas en grupos aleatorios con la finalidad de que al momento de su análisis no hubiera algún tipo de sesgo estadístico.

#### **Recubrimiento de quitina-quitosana y aceite esencial de naranja**

Como complemento a la presente investigación, se formuló un recubrimiento de quitina-quitosana con la adición de aceite esencial de naranja. La elaboración de este recubrimiento se realizó con base en la metodología propuesta por Rico et al. (2012) pero con algunas modificaciones. La técnica consistió en disolver el biopolímero de quitina-quitosana con aceite esencial de naranja y Tween 20® como emulsificante de acuerdo con los volúmenes presentados en la Tabla 3.3. La mezcla se centrifugó durante 20 minutos a 3600 rpm a 4°C. Trascurrido el tiempo, la mezcla se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Finalmente, el líquido se filtró y se almacenó en una cámara de frío hasta su aplicación sobre la superficie de las manzanas 'Golden Delicious'.

**Tabla 3.** Formulación del recubrimiento de Q-Qn-AEN (Rico et al., 2012)

<b>Compuesto</b>	<b>Volumen (mL)</b>
Biopolímero de Quitina-Quitosana	100
Aceite esencial de naranja	2
Tween 20®	1

### Aplicación de los recubrimientos

La aplicación de cada recubrimiento se realizó mediante la técnica de cepillado formando una capa delgada. Esta técnica tiene la ventaja de emplear una menor cantidad de la solución formadora del recubrimiento a diferencia de la técnica por inmersión (Ortega-Granados, 2011). Así mismo se preparó un grupo de manzanas sin recubrir (Figuras 5 y 6).



**Figura 5.** Aplicación de los recubrimientos por el método de cepillado



**Figura 6.** Manzanas de la variedad 'Golden Delicious' recubiertas

### Segunda etapa

#### Estudio de vida de anaquel

Para determinar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas y sin recubrir, se observaron y se evaluaron los efectos ocasionados por el almacenamiento en distintas condiciones de temperatura: Óptima, típica y adversa. Los parámetros físicos y químicos evaluados fueron: a) Cambio de la coloración, b) Cambio de textura, c) Presencia de manchas y hongos, d) Grados Brix, e) Valor de pH, f) % acidez titulable, g) Contenido de vitamina C y h) % de humedad. Las determinaciones se realizaron al inicio del periodo de almacenamiento (día cero) y posteriormente cada tercer día por triplicado para validar el estudio. Cada grupo de manzanas se almacenó a tres temperaturas: 4°C en un refrigerador doméstico marca *Acros* (Figura 7), 25°C en charolas recubiertas con aluminio que se colocaron dentro del laboratorio (Figura 8) y a 35°C dentro de una incubadora marca *FELISA* modelo FE42 (Figura 9).



**Figura 7.** Refrigerador doméstico para almacenar los frutos a 4°C



**Figura 8.** Charolas con fruto recubierto almacenados a temperatura ambiente

**(a) Cambio de la coloración.** Junto con la textura, el color es uno de los atributos de apariencia que más influye para la aceptación o rechazo de un producto alimenticio. El cambio de coloración se puede evaluar de manera sensorial con el empleo de una referencia o guía de color, o con técnicas instrumentales como el colorímetro triestímulo. En esta investigación, los cambios de coloración de las manzanas se evaluaron mediante una escala impresa Pantone® (Figura 10) designando el código de color correspondiente, seguido de un sufijo que indica el tipo de material (C: con recubrimiento, U: sin

recubrimiento). Para comparar el color con la guía Pantone®, se colocó una muestra de aproximadamente 5 gramos de manzana sobre una hoja de papel blanca y bajo condiciones adecuadas de luz natural.



**Figura 9.** Incubadora FELISA modelo FE142, para almacenar los frutos a 35°C



**Figura 10.** Escala Pantone® para evaluar el color de las manzanas

**(b) Cambio de textura.** La textura es una propiedad sensorial subjetiva que se puede detectar a través de los sentidos de la vista, el oído y el tacto en conjunto, o mediante métodos instrumentales como el texturómetro. En esta investigación, la textura de las manzanas se evaluó a través del cambio en su firmeza como uno de los principales atributos de las manzanas; la firmeza es un indicador de la composición química y de la estructura, tanto celular como tisular del fruto. La técnica consistió en sujetar el fruto entero y presionar con el dedo índice para asignar el valor de acuerdo con la intensidad, basándose en una escala donde 0 es poco firme y 5 muy firme.

**(c) Presencia de manchas y hongos.** Este parámetro se evaluó de manera visual para detectar la presencia de manchas a causa de la maduración u hongos como signo de descomposición del fruto, los cuales son determinantes para la aceptación del producto por parte del consumidor.

**(d) Determinación de °Brix.** Los grados Brix se midieron con la ayuda de un refractómetro ATAGO-ATC-1 con una escala de 0-90% (Pérez-Portillo, 2024), siguiendo la metodología señalada en la NMX-F-103-NORMEX-2003 (SE, 2003).

**(e) Determinación de pH.** El pH se cuantificó con un potenciómetro de la marca Thermo Scientific, modelo Orión 720-A+ (Pérez-Portillo, 2024), tomando como referencia la metodología señalada en la NMX-F-317-NORMEX-2013 (SE, 2013).

**(f) Determinación del % de acidez.** La determinación del % de acidez, expresado como ácido málico, se cuantificó mediante un método volumétrico con una titulación ácido-base con hidróxido de sodio al 0.1 N y fenolftaleína como indicador. Este parámetro se evaluó con base en la metodología que se señala en la AOAC 942.15 (AOAC, 2005).

**(g) Contenido de vitamina C.** La determinación del contenido de ácido ascórbico se cuantificó mediante un método volumétrico mediante una titulación empleando una solución de 2,6-diclorofenol-indofenol sobre una alícuota de la muestra previamente acondicionada. Este parámetro se evaluó de acuerdo con la metodología señalada en la AOAC 967.21 (AOAC, 1995).

**(h) Determinación del % de humedad.** El contenido de humedad se determinó con una termobalanza marca OHAUS, modelo MB200 (Figura C.4 del Anexo C) siguiendo la metodología propuesta por González et al. (2014) con algunas modificaciones, la cual se describe en el Anexo C.

### Tercera etapa

#### Elaboración de mermeladas sin conservadores

Durante esta etapa se elaboraron mermeladas sin conservadores como producto comercial a partir de manzanas recubiertas y sin recubrir debido a la facilidad del proceso de elaboración y de evaluación sensorial por parte de los consumidores. Previo a la elaboración de las mermeladas, se acondicionaron

cuatro grupos de cinco manzanas 'Golden Delicious' cada uno. Con excepción del grupo blanco, los demás grupos fueron recubiertos; un grupo con Q-Qn, otro con cera de candelilla y otro con cera de carnauba. Los cuatro grupos permanecieron a temperatura ambiente durante siete días previos a la elaboración de las mermeladas. Trascurrido el periodo de almacenamiento, se efectuó la caracterización de las manzanas de cada grupo con la determinación de pH, °Bx y % de acidez. Esto permitió realizar los balances de materia para calcular la cantidad de ácido cítrico y de pectina de alto metoxilo a emplearse considerando la composición que se presenta en la Tabla 4. Se elaboraron 500 g de mermelada para cada uno de los grupos (Figura 11). El proceso de elaboración de las mermeladas se encuentra en la literatura (Pérez-Portillo, 2024).

**Tabla 4.** Especificaciones del producto terminado

Materia prima	% Formulación
Fruta	55%
Azúcar	45%
Pectina de alto metoxilo	1%
Ácido cítrico	1%



**Figura 11.** Mermeladas elaboradas con grupos de fruta recubierta y un grupo sin recubrir

### Evaluación sensorial

Con el propósito de determinar la existencia de diferencias significativas entre los atributos de color, aroma, textura y sabor de las mermeladas elaboradas con los grupos de fruta recubierta (Q-Qn, cera de candelilla y de carnauba) y sin recubrir, se realizó una evaluación sensorial con jueces no entrenados mediante pruebas de nivel de agrado con una escala hedónica de cinco puntos y de ordenamiento de acuerdo con su preferencia. Las muestras de mermelada de manzana se presentaron de manera comparativa, donde cada consumidor tuvo la oportunidad de probar una muestra, continuar y regresar al primero, volver a probar el segundo y así sucesivamente siguiendo una 'aleatorización'. Esta presentación tuvo como propósito permitir al consumidor poder realizar una comparación entre las muestras durante su evaluación. La evaluación sensorial se llevó a cabo en el vestíbulo del Edificio B de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México con la participación de 100 jueces no entrenados de 21 años de edad promedio. El cuestionario aplicado a los consumidores se presenta en la literatura (Pérez-Portillo, 2024).

### Análisis estadísticos

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos en el estudio de vida de anaquel y en la evaluación sensorial se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de 0.05. Se analizaron mediante una ANDEVA de dos vías donde los factores a evaluar fueron el tipo de recubrimiento (Q-Qn experimental, Q-Qn-AEN, Qn-SA al 2%, cera de candelilla, cera de carnauba y blanco) y el tiempo de análisis en días para cada parámetro físico o químico evaluado: %H, °Bx, pH, % de acidez, y contenido de vitamina C a las tres diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 25 y 35°C) considerando la media de los valores experimentales obtenidos. Las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante una prueba de diferencias mínimas significativas (DMS). Los resultados de las pruebas afectivas fueron evaluados mediante una ANDEVA de una vía donde el factor evaluado fue cada atributo de las mermeladas (color, aroma, textura y sabor). Por otro lado, la prueba de preferencia y ordenamiento se realizó a través de un análisis de varianza de Friedman.

---

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se dividieron en: Estudios de vida de anaquel, cálculo de vida de anaquel y evaluación sensorial

### Estudio de vida de anaquel

**Evaluación del color.** En las manzanas de la variedad 'Golden Delicious', los pigmentos generalmente muestran un viraje del verde al amarillo durante la maduración. El color verde se debe a la presencia de clorofilas que van degradándose para dejar visibles a otros pigmentos que le confieren la coloración amarilla proveniente de las xantofilas (Lara, 2013). La variación de coloración de las manzanas almacenadas bajo condiciones óptimas, típicas y adversas están disponibles en la literatura (Pérez-Portillo, 2024). La aplicación de los recubrimientos retardó la pérdida del color verde en ellas durante su almacenamiento, principalmente, a temperatura ambiente y a 35°C. Por lo tanto, la disminución de la degradación de los pigmentos se ve mejorada por los recubrimientos a temperaturas más elevadas. A 4°C no se tuvo un efecto notable sobre la coloración de las manzanas ya que la temperatura en sí misma es el factor que ralentiza la degradación de los pigmentos por lo que el tipo de recubrimiento a esta temperatura no juega un papel relevante. Los cambios de coloración fueron menormente visibles en las manzanas almacenadas a temperatura ambiente con el recubrimiento experimental de Q-Qn y con las ceras ya que se mantuvo una coloración ligeramente verdosa hasta el día 15 y, en el caso específico del recubrimiento con cera de candelilla, hasta el día 18; tiempo en el que los lotes con recubrimientos y sin recubrir ya presentaban una coloración amarilla. Por su parte, a la temperatura de 35°C, al igual que con las ceras, se observó que con la aplicación del recubrimiento experimental de Q-Qn se logró mantener el tono verdoso de las manzanas durante los dieciocho días del estudio.

Por otra parte, la incorporación del aceite esencial de naranja en el recubrimiento de Q-Qn tuvo un mayor beneficio a temperatura ambiente, efecto que se atribuyó a la actividad antioxidante del aceite para inhibir la actividad de las polifenoloxidasas. En cambio, a 35°C, las manzanas recubiertas con el recubrimiento de Q-Qn-AEN presentaron un aumento del índice de pardeamiento a partir del tercer día, por lo tanto, el aceite pudo ser el componente causal de inducir un efecto negativo ya que al descomponerse se producen peróxidos y la generación de radicales libres que ocasionan un rápido deterioro (Cabrera, 2004).

**Evaluación de la textura.** De manera general, las manzanas seleccionadas presentaron el mismo grado de firmeza, el cual disminuyó con el tiempo. Estos cambios se presentaron como consecuencia de la respiración y la transpiración del fruto los cuales provocaron una disminución de su masa y cambios en la apariencia como su arrugamiento, siendo más notorios al aumentar la temperatura y en el tratamiento sin recubrir. Con la aplicación de los recubrimientos evaluados, se logró mantener la firmeza de las manzanas al actuar como una barrera eficiente contra la pérdida de agua y el intercambio gaseoso. A temperatura adversa, las manzanas recubiertas presentaron un cambio en la firmeza después del día doce y quince mientras que a temperatura ambiente se mantuvo durante los dieciocho días del estudio. Por su parte, la adición del aceite esencial resultó perjudicial en la firmeza de las manzanas almacenadas a 35°C ya que a partir del día doce su textura comenzó a ablandarse con mayor rapidez.

### Presencia o ausencia física de hongos y pardeamiento enzimático

Durante la maduración post cosecha, la fruta se encuentra propensa al ataque de microorganismos que pueden causar mal olor, daños internos y externos, además de producir micotoxinas. Durante los dieciocho días del estudio de vida de anaquel a 4°C, no se observaron manchas ni el crecimiento de hongos en las manzanas de todos los tratamientos, resultado atribuible a la disminución de la temperatura de almacenamiento (Figuras 12a,b). La probabilidad de crecimiento de hongos en refrigeración resultó mínima ya que su temperatura óptima se encuentra en un intervalo entre 25 y

28°C. Tanto a 4°C como a la temperatura ambiente en ningún tratamiento se observó el crecimiento de hongos. Se ha reportado que los recubrimientos de quitosana inhiben el crecimiento de hongos como *Penicillium expansum* y *Botrytis cinerea*, causantes de problemas patológicos en las manzanas en la post cosecha (Bautista-Baños et al, 2017; Lin y Zhao, 2007).



**Figura 12a.** Manzana 'Golden Delicious' sin recubrimiento almacenada a 4°C al día 15



**Figura 12b.** Manzana 'Golden Delicious' recubierta con cera de carnauba almacenada a 4°C al día 15

Esta actividad se ve incrementada por la combinación con aceites esenciales presentando un efecto sinérgico. Sin embargo, al no detectarse de manera visual en ningún tratamiento a temperatura ambiente, el tiempo de análisis debió prolongarse para demostrar dicha actividad. Únicamente fue observada la presencia de manchas color marrón en la superficie de las manzanas sin recubrimiento entre el día quince y el dieciocho a 25°C (Figura 12c), a diferencia de las manzanas recubiertas con los demás tratamientos evaluados (Figura 12d), donde se logró retardar el pardeamiento enzimático y las reacciones metabólicas asociadas con el proceso de maduración.



**Figura 12c.** Manzanas 'Golden Delicious' sin recubrir almacenadas a 25°C al día 15 (izquierda) y 18 (derecha)

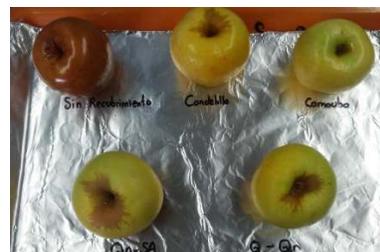


**Figura 12d.** Manzanas 'Golden Delicious' recubiertas Q-Qn-AEN (izquierda) y Q-Qn (derecha) almacenadas a 25°C al día 18

A partir del día doce, a 35°C, las manzanas sin recubrimiento presentaron manchas en diferentes zonas del fruto a diferencia de las manzanas recubiertas, en las cuales solamente se observó el cambio de coloración ya mencionado (Figuras 12e y 12f). En el día dieciocho, las manzanas sin recubrimientos presentaron una coloración café con una consistencia acuosa en la superficie que afectó la pulpa del fruto. Este resultado fue atribuible a la temperatura ya que se incrementó el ritmo respiratorio debido al incremento en la acción catalítica de las enzimas del tejido produciendo el deterioro de su calidad.



**Figura 12e.** Manzanas 'Golden Delicious' sin recubrimiento (izq) y recubierta con Q-Qn (der) almacenadas a 35°C al día 12



**Figura 12f.** Manzanas 'Golden Delicious' almacenadas a 35°C al día 18

Como se mencionó arriba, la adición del aceite esencial de naranja tuvo un efecto dañino a la temperatura adversa con respecto del recubrimiento de Q-Qn ya que, a partir del sexto día, las manzanas presentaron decoloración de los tejidos y descomposición temprana (Figura 12g).



**Figura 12g.** Manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con Q-Qn-AEN almacenadas a 35°C al día 6 (izquierda), 12 (centro) y 15 (derecha)

**Evaluación de grados Brix (°Bx).** En la Tabla 5 se presentan los resultados de °Brix de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento evaluadas.

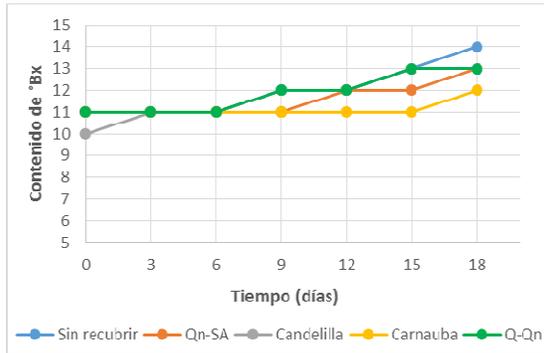
**Tabla 5.** Resumen de la evaluación de °Bx

Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
<b>Resultados en fruto sin recubrir</b>	Degradación de almidón a partir del día 9	Degradación de almidón a partir del día 3 y constante después del 6	Degradación de almidón a partir del día 3 y constante del 12
<b>Resultados en fruto recubierto</b>	Cera de carnauba retardó la degradación del almidón del fruto	Cera de candelilla tuvo un mejor comportamiento	Se mantiene constante al llegar a 12°Bx
<b>Análisis de varianza al 95%</b>	Hubieron diferencias significativas p=0.01	Hubieron diferencias significativas p=0.04	No hubieron diferencias significativas p=0.06
<b>Recubrimientos con diferencia entre medias</b>	Carnauba ≠ Candelilla Carnauba ≠ Q-Qn y SR	Candelilla ≠ Q-Qn Candelilla ≠ SR	NA
<b>Recubrimientos sin diferencia entre medias</b>	Carnauba = Qn-SA	Candelilla = Carnauba y Qn-SA	NA
<b>Efecto de la adición del aceite esencial (95%)</b>	No se observó beneficio	Se observó mayor beneficio en Q-Qn sin el aceite	El aceite tuvo un efecto perjudicial

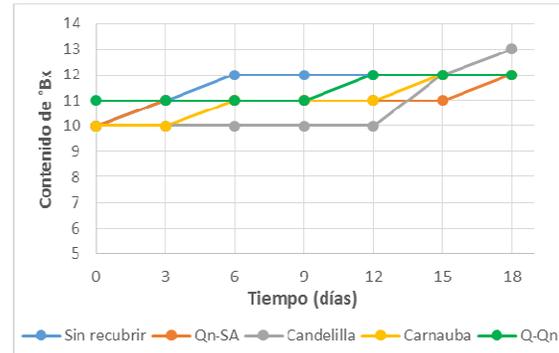
SR = Sin recubrimiento; Q-Qn = Quitina-Quitosana; Qn-SA = Quitosana Sigma Aldrich 2%

En las Gráficas 1 y 2 se presenta una tendencia ascendente en función del tiempo y de la temperatura en todos los tratamientos. Si bien las manzanas son frutos climatéricos, éstos presentan una actividad respiratoria baja y, por ende, su maduración también lo es. Por lo tanto, el ligero aumento de los °Bx se relacionó con la hidrólisis del almidón por acción de las amilasas obteniéndose moléculas más simples y la conversión de ácidos orgánicos en glúcidos causando el aumento en el contenido de sólidos solubles. A 4°C y a 25°C, los recubrimientos a base de ceras tuvieron un comportamiento favorable con respecto del recubrimiento experimental de Q-Qn al retardar la degradación del almidón hasta los días quince y dieciocho. De acuerdo con su naturaleza, los recubrimientos de cera presentaron mejores propiedades de barrera contra la pérdida de agua que los elaborados con poliglúcidos, por su carácter hidrofóbico. En la Gráfica 3 se observa que durante los primeros nueve días de estudio, en las manzanas sin recubrir se tuvo un mayor aumento en los °Bx hasta llegar a un máximo de 13. Posteriormente, se presentó una disminución y, finalmente, un incremento pudiéndose deber este suceso a la pérdida de agua durante el proceso de transpiración, concentrando los sólidos solubles, lo cual no ocurrió con las manzanas recubiertas. Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los tratamientos a 35°C, el recubrimiento experimental de Q-Qn tuvo

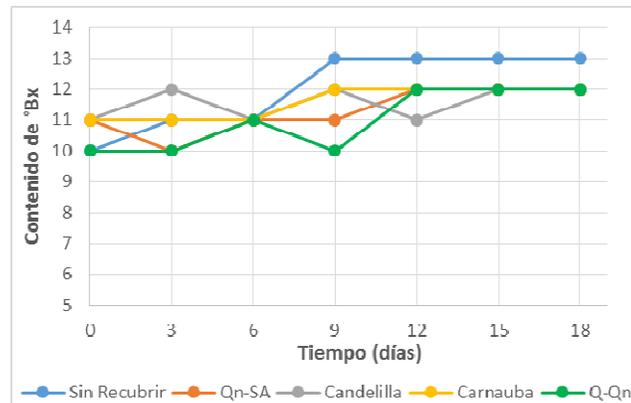
una mayor ventaja al retardar los cambios en los °Bx hasta el día doce del estudio; comportamiento similar al tratamiento del grupo control.



**Gráfica 1.** Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 4°C



**Gráfica 2.** Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 25°C



**Gráfica 3.** Valores promedio del cambio en los grados Brix (°Bx) a 35°C

La incorporación del aceite esencial de naranja no influyó positivamente en las tres temperaturas manejadas, específicamente a 35°C. Esto pudo deberse a que el aceite se degradó al incrementarse la temperatura favoreciendo la hidrólisis del almidón y el consumo de ácidos orgánicos produciendo una mayor concentración de monoglúcidos libres. Al realizar un ANDEVA se determinó que sí hubieron diferencias significativas entre los tratamientos a 25 y 35°C concluyendo que el recubrimiento de Q-Qn presentó resultados favorables sin contener al aceite esencial.

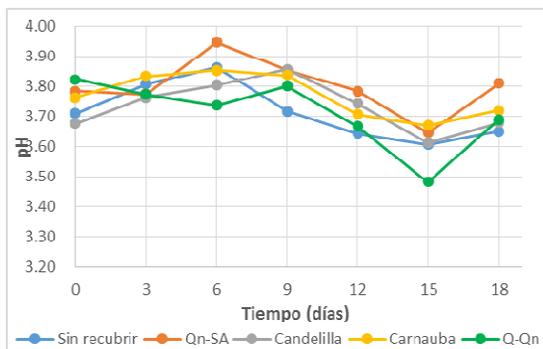
**Evaluación de pH.** En la Tabla 6 se presentan los resultados de pH de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento. De manera general, bajo las tres condiciones de almacenamiento, el pH tendió a incrementarse gradualmente con el tiempo. Como resultado del proceso de maduración, la actividad metabólica resulta en la conversión de ácidos orgánicos en glúcidos, por lo cual, la concentración de sólidos solubles incrementa gradualmente y el porcentaje de acidez disminuye aumentando de esta manera el valor de pH. De acuerdo con el método de diferencia de medias, el grupo de Q-Qn no fue diferente al tratamiento sin recubrir al obtenerse un valor de media de 3.71, es decir, no se evidenció un efecto benéfico de los recubrimientos durante el almacenamiento a 4°C (Gráfica 4). En cuanto a la temperatura de 25°C, se tuvo una mayor variación del pH entre los tratamientos ya que al finalizar el estudio, se observó un incremento de pH (Gráfica 5), el cual, se atribuye al uso de ácidos orgánicos como sustrato de la respiración después de haberse utilizado el almidón para el mismo propósito. Sin embargo, no representó una diferencia significativa.

**Tabla 6.** Resumen de la evaluación de pH

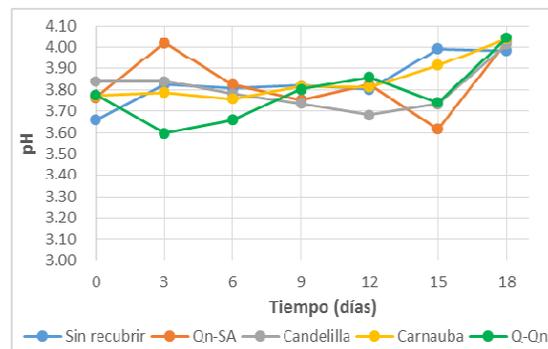
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
<b>Resultados en fruto sin recubrir</b>	Incremento hasta el día 6 (3.86), posteriormente se observa un descenso (3.63). Valor promedio de pH de 3.71	Valor promedio más alto de pH respecto con los demás tratamientos con excepción de carnauba (mismo valor de 3.84)	Mayor incremento del pH por efecto de la temperatura. Valor más alto de pH igual a 4.27
<b>Resultados en fruto recubierto</b>	Q-Qn presentó la media de pH más baja de 3.71 respecto con el control de 3.79	Q-Qn presentó la media de pH más baja de 3.78	El recubrimiento experimental retardó el incremento de pH. Media de 3.90
<b>Análisis de varianza al 95%</b>	Hubieron diferencias significativas $p=0.01$	No hubieron diferencias significativas $p=0.71$	Hubieron diferencias significativas $p=0.004$
<b>Recubrimientos con diferencia entre medias</b>	Q-Qn $\neq$ Carnauba $\neq$ Qn-SA $\neq$ Candelilla	NA	Q-Qn $\neq$ Todos los tratamientos con recubrimiento y blanco.
<b>Recubrimientos sin diferencia entre medias</b>	Q-Qn = SR = Candelilla	NA	Blanco = Qn-SA = Candelilla = Carnauba
<b>Efecto de la adición del aceite esencial (95%)</b>	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas

SR = Sin recubrimiento; Q-Qn = Quitina-Quitosana; Qn-SA = Quitosana Sigma Aldrich 2%

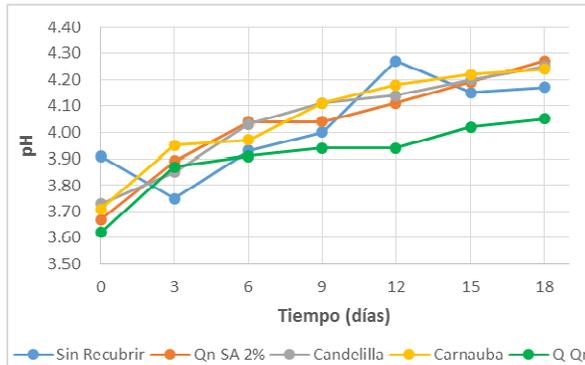
Cabe mencionar que el grupo de manzanas recubiertas con Q-Qn presentó la media de pH más baja (3.78). Hubieron diferencias significativas entre los valores de pH durante los días de estudio, por lo que no representó la preservación del fruto por parte del uso de este recubrimiento. Al incrementarse la temperatura, la actividad respiratoria del fruto aumentó y, por lo tanto, hubo un mayor consumo de los ácidos orgánicos responsables de la acidez de los frutos (Gráfica 6). A esta temperatura se observó que el recubrimiento de Q-Qn resultó significativamente más efectivo con respecto de las ceras de candelilla y de carnauba, y con el control de quitosana. Los resultados de la evaluación del pH de las manzanas que fueron recubiertas con Q-Qn-AEN no fueron favorables con respecto del recubrimiento de Q-Qn a las tres temperaturas de almacenamiento. El incremento de pH en función del tiempo y de la temperatura fue significativamente mayor, siendo más evidente a 35°C, lo cual influyó sobre los parámetros de calidad de las manzanas. Estos resultados concordaron con la disminución del porcentaje de acidez como se verá abajo.



**Gráfica 4.** Valores promedio del cambio en el pH a 4°C



**Gráfica 5.** Valores promedio del cambio en el pH a 25°C



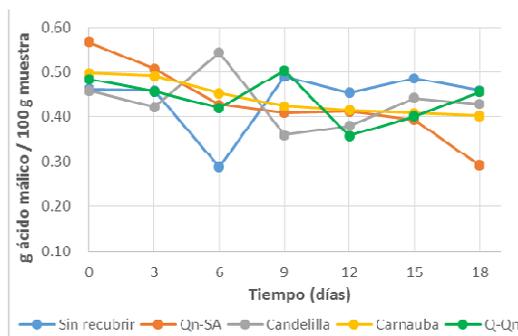
Gráfica 6. Valores promedio del cambio en el pH a 35°C

**Determinación del % de acidez (% de ácido málico).** En la Tabla 7 se presentan los resultados del % de acidez de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento evaluadas.

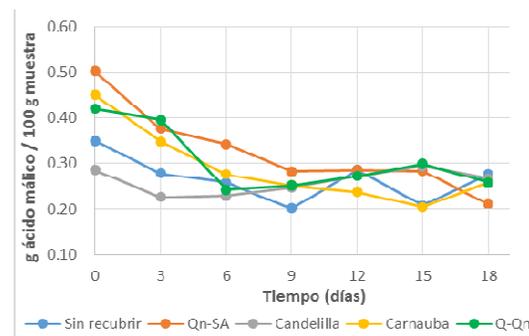
Tabla 7. Resumen de la evaluación del % de acidez

Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
<b>Resultados en fruto sin recubrir</b>	No se aprecia una tendencia clara de la pérdida de acidez (0.45-0.49%)	La pérdida de acidez es evidente (valor final promedio de 0.26%)	Mayor disminución del % de acidez por efecto de la temperatura.
<b>Resultados en fruto recubierto</b>	No observa una tendencia clara, con excepción de carnauba y el control de quitosana	El recubrimiento experimental y control tienen medias más altas al final del estudio	El recubrimiento experimental de Q-Qn es más efectivo a 35°C
<b>Análisis de varianza al 95%</b>	No hubieron diferencias significativas p=0.99	No hubieron diferencias significativas p=0.07	No hubieron diferencias significativas p=0.16
<b>Efecto de la adición del aceite esencial (95%)</b>	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas	El aceite esencial resultó perjudicial

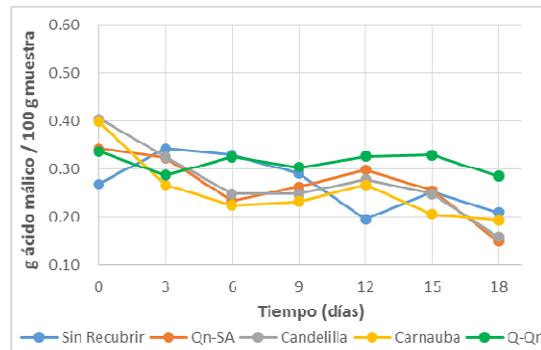
En las manzanas, el ácido málico se encuentra en mayor proporción (aproximadamente 90%) en una concentración promedio de 0.57-0.60% en la post-cosecha. La degradación de los ácidos orgánicos ocurre por respiración o por la conversión de éstos en glúcidos, disminuyendo así durante la maduración (Trejo et al., 2015). Es por ello que valores bajos del % de acidez reflejaron una tendencia al envejecimiento del mismo, la cual se logró apreciar en las Gráficas 7 a 9.



Gráfica 7. Valores promedio del % de acidez a 4°C



Gráfica 8. Valores promedio del % de acidez a 25°C



**Gráfica 9.** Valores promedio del % de acidez a 35°C

Los resultados obtenidos a la temperatura de refrigeración mostraron que no hubo una tendencia definida de la pérdida de acidez en las manzanas de los tratamientos evaluados, por lo que la temperatura fue el factor principal para preservar la acidez del fruto, consecuencia de la ralentización de su madurez. En cambio, para las manzanas sin recubrir que fueron almacenadas a temperatura ambiente y adversa, la disminución fue más notoria. Sin embargo, no representó una diferencia significativa con respecto del uso de los recubrimientos, pese a que el recubrimiento experimental y el control tuvieron valores de media mayores a los de las ceras. Lo anterior se entiende posiblemente por el periodo de almacenamiento relativamente corto para evidenciar algunas diferencias representativas con respecto de la pérdida de acidez.

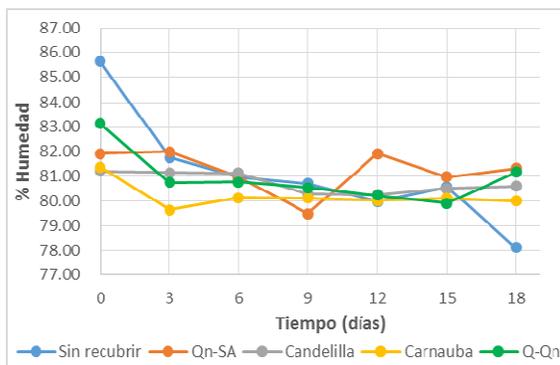
**Determinación del % de humedad.** En la Tabla 8 se presentan los resultados del % de humedad de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento evaluadas.

**Tabla 8.** Resumen de la evaluación del % de humedad

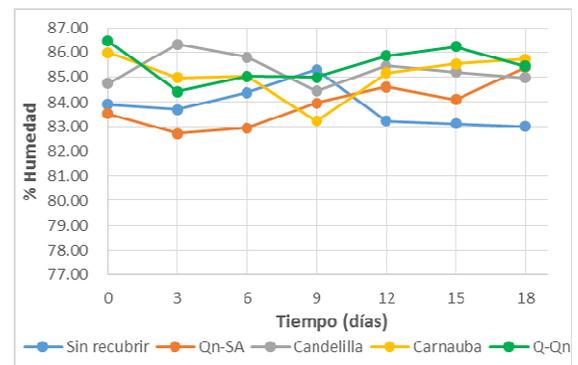
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
<b>Resultados en fruto sin recubrir</b>	La pérdida de humedad es gradual al inicio del estudio, posteriormente es constante	Mayor pérdida de agua durante el estudio	La disminución de agua es mayor por efecto de la temperatura
<b>Resultados en fruto recubierto</b>	En conjunto con la temperatura, retrasa el proceso de maduración	Q-Qn tiene un comportamiento similar a las ceras y un mejor efecto que el control	Preserva mejor el contenido de humedad a lo largo del estudio
<b>Análisis de varianza al 95%</b>	No hubieron diferencias significativas p=0.35	Existen diferencias significativas p=0.002	Existen diferencias significativas p=0.04
<b>Recubrimientos con diferencia entre medias</b>	NA	Qn-SA ≠ Q-Qn, Candelilla y Carnauba	El tratamiento SR es diferente a los demás tratamientos
<b>Recubrimientos sin diferencia entre medias</b>	NA	Q-Qn = Candelilla y Carnauba SR = Qn-SA	No hubieron diferencias entre los tratamientos con recubrimientos
<b>Efecto de la adición del aceite esencial (95%)</b>	Sin diferencias significativas	Sin diferencias significativas	Efecto negativo del aceite esencial

La manzana es un fruto que se compone en su mayoría por agua, aproximadamente el 88% (Baduí-Dergal, 2006). La disminución del contenido de humedad es evaluada generalmente como una pérdida de masa, lo cual es atribuible al intercambio gaseoso del fruto con el ambiente. De manera general, como se mencionó, a pesar de que las manzanas son frutos climatéricos, su tasa de respiración es

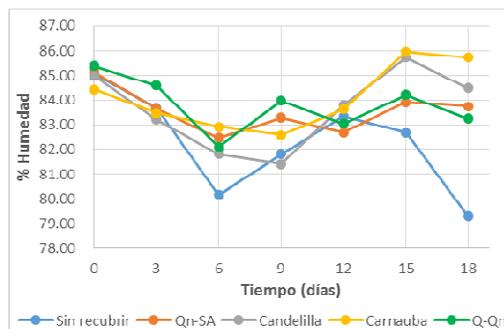
baja y, por lo tanto, la pérdida de agua ocurre de manera paulatina. Esta pérdida es de importancia, ya que es la responsable en gran medida de la calidad y del valor comercial. Esta disminución de agua permitió entender los demás parámetros físicos y químicos descritos, ya que la aplicación de los recubrimientos sobre los frutos retrasó la pérdida de masa por deshidratación, prolongando la disminución de la firmeza y de su pigmentación al inhibir el pardeamiento enzimático haciendo que se conservaran por un mayor tiempo las características sensoriales (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Por otra parte, el almacenamiento en refrigeración ayudó a evitar la pérdida de humedad de las manzanas debido a que retrasó su proceso de maduración (Gráfica 10). En cambio, a temperatura ambiente y adversa se concluye que los recubrimientos de Q-Qn y de ceras de candelilla y de carnauba tuvieron un efecto benéfico debido a que se presentó una menor pérdida de humedad con una media del 85% con respecto del blanco (83%), lo que concuerda con el retraso en la pérdida de firmeza y la disminución del deterioro (Gráficas 11 y 12). Lo anterior ocurre debido a la propiedad hidrofóbica de las ceras y de la baja permeabilidad que presentan los recubrimientos de quitosana, los cuales, a pesar de exhibir un carácter hidrófilo, presentaron resultados favorables.



**Gráfica 10.** Valores promedio de la pérdida de humedad a 4°C



**Gráfica 11.** Valores promedio de la pérdida de humedad a 25°C



**Gráfica 12.** Valores promedio de la pérdida de humedad a 35°C

La incorporación del aceite esencial en las manzanas no presentó una ventaja sobre el recubrimiento de Q-Qn a las temperaturas de refrigeración y ambiente ya que la disminución del % de humedad fue similar entre ambos tratamientos. En contraste, al igual que en los resultados de los parámetros revisados previamente, el aceite esencial de naranja tuvo un efecto negativo en la vida de anaquel de las manzanas almacenadas a 35°C ya que al final del periodo de almacenamiento se tuvieron resultados similares a las manzanas sin recubrir.

**Determinación del contenido de vitamina C.** En la Tabla 9 se presentan los resultados de vitamina C de las manzanas recubiertas y sin recubrir a las tres temperaturas de almacenamiento. El contenido de vitamina C en las manzanas de la variedad 'Golden Delicious' resultó ser relativamente

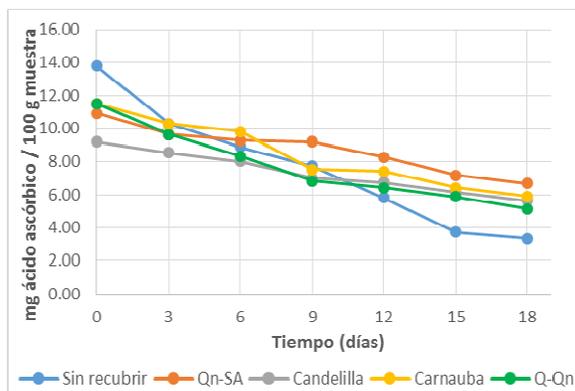
bajo, en promedio se encuentra en una concentración entre 10 y 12.4 mg de ácido ascórbico por cada 100 gramos de muestra (Baduí-Dergal, 2006). La disminución de la concentración de la vitamina C fue atribuible en gran medida al daño mecánico, la descomposición y el envejecimiento. Estos eventos promueven la ruptura de la pared celular y liberan enzimas de degradación como la polifenoloxidasas y la ascorbato oxidasa, las cuales son responsables de la oxidación. De manera general, se observó que la degradación del ácido ascórbico de las manzanas tuvo un comportamiento similar en todos los tratamientos a cualquier temperatura de almacenamiento, la cual, disminuyó con mayor velocidad al incrementarse la temperatura.

**Tabla 9.** Resumen de la evaluación de la pérdida de vitamina C

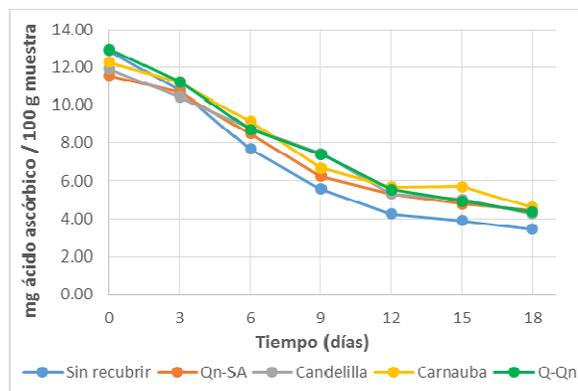
Resultados	Temperatura de almacenamiento		
	4°C	25°C	35°C
<b>Resultados en fruto sin recubrir</b>	El contenido de vitamina C disminuyó en función del tiempo	La degradación ocurre con más velocidad por efecto de temperatura, luz, etc.	Caída importante al inicio del estudio, ocurrió una degradación progresiva de vitamina C
<b>Resultados en fruto recubierto</b>	Comportamiento similar a los frutos sin recubrir	Se observó degradación del nutrimento, pero se logró preservar una cantidad ligeramente mayor	Resultados similares que los frutos sin recubrir
<b>Análisis de varianza al 95%</b>	No hubieron diferencias significativas $p=0.09$	Hubieron diferencias significativas $p=0.002$	No hubieron diferencias significativas $p=0.21$
<b>Recubrimientos con diferencia entre medias</b>	NA	SR = $Q_n-SA \neq Q-Q_n$ y ceras	NA
<b>Recubrimientos sin diferencia entre medias</b>	NA	$Q-Q_n =$ Candelilla = Carnauba	NA
<b>Efecto de la adición del aceite esencial (95%)</b>	No tiene un efecto observable	No hay diferencia con el recubrimiento de Q-Qn	Mayor ventaja sin el aceite esencial

En el tratamiento a 4°C, el porcentaje de disminución de la vitamina C fue menor en todos los tratamientos respecto con las demás condiciones de almacenamiento. En la Gráfica 13 se observa que en el tratamiento sin recubrir hay una disminución del 76% respecto al valor promedio inicial, en comparación con los tratamientos con recubrimientos donde el % de disminución fue entre 41 al 55%. Es decir, el empleo de los recubrimientos retardó la disminución del porcentaje de vitamina C. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza, el % de disminución entre tratamientos no tuvo diferencia significativa de modo que la temperatura tuvo mayor efecto en este estudio. A la temperatura ambiente, se observó que los recubrimientos evaluados presentaron un efecto benéfico para retardar la disminución del contenido de vitamina C en las manzanas (Gráfica 14). En el tratamiento sin recubrir disminuyó hasta un 70% respecto al valor promedio inicial a los dieciocho días del estudio, en comparación con los recubrimientos de cera de candelilla, de carnauba y el biopolímero experimental de Q-Qn donde disminuyó entre 63 a 65%, lo cual se comprobó con el análisis de varianza y el análisis de diferencia entre medias (ver Tabla 10 abajo). A 35°C, la degradación de la vitamina C ocurrió con una mayor velocidad ya que el ácido ascórbico se caracteriza por ser termosensible. El empleo de los recubrimientos resultó efectivo, pero únicamente hasta el tercer día del estudio de vida de anaquel a 35°C. Al final del periodo de almacenamiento la cantidad de vitamina C fue imperceptible y con concentraciones similares al blanco. La caída inicial observada podría deberse en gran parte al hecho de que el ácido ascórbico es un compuesto antioxidante que participa en los mecanismos de defensa frente al estrés de los productos vegetales. En este sentido, pudo ser utilizado por los frutos para protegerse del daño oxidativo generado por esa situación de estrés inicial causado por la exposición a alta temperatura (Gráfica 15). La evaluación del estudio de vida de

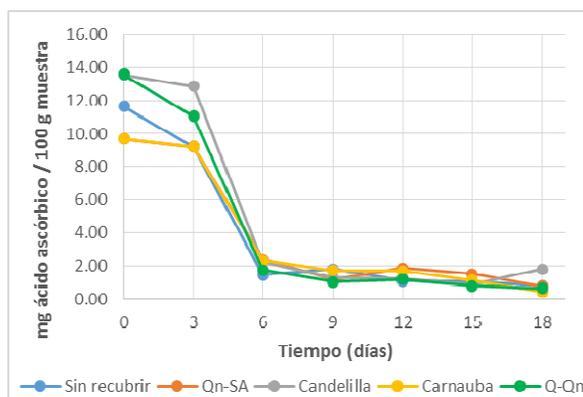
anaquel del recubrimiento de Q-Qn adicionado con aceite esencial de naranja no resultó efectivo a las tres temperaturas de almacenamiento ya que su comportamiento resultó similar al recubrimiento sin el aceite. En el caso de la temperatura a 35°C, el recubrimiento no tuvo un beneficio tecnológico debido a la degradación del aceite esencial aunado a la rápida descomposición del fruto por efecto de la temperatura.



**Gráfica 13.** Valores promedio de la degradación de vitamina C a 4°C



**Gráfica 14.** Valores promedio de la degradación de vitamina C a 25°C



**Gráfica 15.** Valores promedio de la degradación de vitamina C a 35°C

**Tabla 10.** Tiempo teórico en días de la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas y sin recubrir

Tratamientos	Vida de anaquel (días)		
	4°C	25°C	35°C
Sin recubrimiento	21	9	6
Quitosa-SA 2%	25	22	22
Cera de candelilla	38	22	14
Cera de carnauba	32	17	13
Quitina-Quitosa	26	17	14
Quitina-Quitosa con aceite esencial de naranja	26	15	11

### Cálculo de vida de anaquel

El tiempo de vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' se calculó con el modelo cinético de Arrhenius considerando los datos del % de acidez obtenidos durante su almacenamiento a las tres temperaturas. La acidez, además de ser un parámetro de madurez del fruto, es un indicador de la actividad respiratoria, la cual, suele coincidir con el ablandamiento del fruto y con los cambios de color y de sabor. En la Tabla 10 se presenta el tiempo teórico en días, máximo de duración de las manzanas

---

'Golden Delicious' para los diferentes recubrimientos bajo las tres temperaturas de estudio. El empleo de recubrimientos elaborados a base de ceras o de poliglúcidos en las manzanas logró prolongar su vida de anaquel en comparación con las manzanas sin recubrir durante su almacenamiento a temperatura ambiente (25°C) y a temperatura adversa (35°C). En el caso de la vida de anaquel de las manzanas recubiertas con Q-Qn-AEN almacenadas a 25 y a 35°C no presentó una ventaja sobre el recubrimiento sin el aceite esencial, ya que el tiempo de vida de anaquel resultó menor, siendo más evidente a la temperatura adversa. Este resultado concuerda con lo reportado por Juárez-Cruz (2019), donde se concluyó que los mangos tratados con el recubrimiento comestible de Q-Qn con aceite esencial de naranja tuvieron una vida de anaquel menor a diferencia del recubrimiento natural de Q-Qn en ambas temperaturas. Por su parte, la temperatura de refrigeración fue el principal factor que retrasó la maduración de los frutos ya que, incluso con las manzanas sin recubrimiento, se logró alargar la vida de anaquel. A temperatura ambiente, el recubrimiento comestible a base del biopolímero experimental de Q-Qn fue eficiente comparado con la cera de carnauba al obtenerse el mismo tiempo teórico de vida útil. Sin embargo, respecto con la cera de candelilla y con el control de quitosana, su eficiencia fue menor. Por otro lado, a la temperatura adversa, el biopolímero de Q-Qn fue igual de eficiente que los tratamientos con cera de candelilla y de carnauba, pero menos que su control de quitosana. Con base en los estudios que se han realizado siguiendo la misma línea de investigación, la aplicación del recubrimiento de Q-Qn permitió la ralentización de fenómenos de madurez en productos como guayabas y uvas verdes (Seseña, 2019), mangos (Juárez, 2019), frambuesas (De la Cruz, 2019), peras y zarzamoras (Zarazúa, 2021), y ciruelas negras (Villanueva, 2022) bajo las mismas condiciones de almacenamiento respecto con los tratamientos sin recubrir. Finalmente, las variaciones que se obtuvieron durante el estudio de vida de anaquel pueden atribuirse a la naturaleza de la muestra al presentar un grado de madurez distinto, y al espesor y la homogeneidad del recubrimiento aplicado que influye sobre las propiedades mecánicas y de permeabilidad al vapor de agua y el intercambio de gases.

### **Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial de las cuatro mermeladas de manzana se llevó a cabo mediante jueces no entrenados con un promedio de edad de 21 años, donde el 52% fueron del género femenino y el 48% del género masculino. A través de la encuesta, el 65% de los jueces no entrenados que participó en la evaluación fueron consumidores habituales de mermelada, de los cuales el 40% consume la mermelada una vez al mes; el 35% una vez a la semana y el restante 2 veces por semana. Los consumidores prefieren la mermelada de sabor a fresa, seguido del sabor a zarzamora con un 43 y 38% respectivamente, ya que estas mermeladas se encuentran en mayor cantidad en los anaqueles de los supermercados y tiendas de abarrotes. Cabe mencionar, que el consumo de mermelada de manzana fue casi nulo, ya que no es muy común considerarlo entre las marcas comerciales.

### **Prueba de nivel de agrado**

La prueba sensorial con 100 jueces no entrenados se realizó para evaluar color, textura, aroma y sabor. Para los consumidores, el color es uno de los factores decisivos de compra de cualquier producto. Por otro lado, en las mermeladas es importante considerar la textura en la boca, por ello, fue elegida para su evaluación. Para el caso de los atributos de aroma y sabor, éstos se eligieron para determinar si los consumidores detectaban un sabor residual y/o un aroma a crustáceo proveniente del recubrimiento obtenido experimentalmente u otro proveniente de los demás recubrimientos.

Para este estudio se empleó una escala hedónica de cinco puntos. De acuerdo con los análisis de varianza de una vía aplicados a cada uno de los atributos, se obtuvo que para el color y la textura existieron diferencias significativas entre las mermeladas, no así para el aroma y el sabor. Con base en la metodología de la obtención del recubrimiento de Q-Qn, el empleo de harina de camarón puede influir en el sabor de las mermeladas. Sin embargo ningún consumidor detectó tal resabio a crustáceo; resultado atribuible al contenido de azúcar con el que se elaboró la mermelada, siendo más perceptible el gusto dulce.

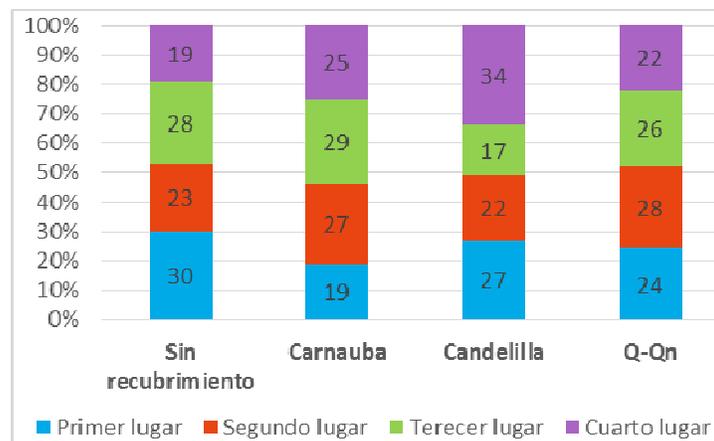
El resabio que se describió con mayor frecuencia (doce consumidores de entre 100) fue el resabio amargo en la mermelada elaborada con fruta recubierta con Q-Qn. De acuerdo con Lárez-Velásquez (2008), el sabor amargo en las muestras tratadas con quitosana permanece durante los pocos días de ser aplicado el recubrimiento, sin embargo, el tiempo que permanecieron recubiertas las manzanas fue de siete días por lo que no causó diferencias organolépticas. Por lo tanto, este resabio y los demás que describieron los consumidores (salado, eucalipto, fresco, pera, etc.) se pueden atribuir a lo que consumieron previo a la evaluación.

Mediante un análisis de diferencias mínimas significativas (DMS) se determinó que hubo diferencia en cuanto al color de la mermelada elaborada con manzanas sin recubrir (color de mayor agrado para los consumidores) con respecto de las que fueron elaboradas con manzanas recubiertas con cera de candelilla y con el biopolímero experimental de Q-Qn, mas no con la elaborada con las manzanas recubiertas con cera de carnauba. Asimismo, se determinó que hubo diferencia en la textura de la mermelada elaborada con las manzanas recubiertas con cera de carnauba (textura de mayor agrado para los consumidores) con respecto de las demás mermeladas. La mermelada elaborada con fruta sin recubrir tuvo una textura estadísticamente igual que la elaborada con el recubrimiento de Q-Qn, pero diferente a la mermelada elaborada con fruta recubierta con cera de candelilla.

### Prueba de ordenamiento

Esta prueba se realizó con la finalidad de determinar la mermelada que fue preferida por los jueces no entrenados. En la Gráfica 16 se presentan los resultados en orden de preferencia por parte de los consumidores donde la mermelada elaborada con el tratamiento sin recubrir tuvo una mayor preferencia a diferencia del tratamiento con la cera de candelilla, la cual fue la menos preferida. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza de Friedman, se determinó que no hubo diferencias en cuanto a la preferencia del consumidor por cualquiera de las mermeladas evaluadas, incluso la mermelada elaborada con el grupo de fruta sin recubrir ya que estadísticamente fue similar a las frutas recubiertas con ceras o con el biopolímero experimental de Q-Qn. El resultado de Friedman  $X^2_{calculado}$  fue igual a 2.2560 menor al  $X^2_{tablas_r}$  con un nivel de significancia igual a 0.05 y 3 grados de libertad a una cola, igual a 6.25, por tanto, la hipótesis nula fue aceptada.

El principal motivo de preferencia por parte de los consumidores, con un 59%, fue el gusto dulce, atributo principal de este producto. Le siguió la consistencia con un 31%, el color con un 6%, la acidez con 3% y el aroma con el 1%, lo cual concuerda con la prueba de nivel de agrado. Lo anterior se llevó a cabo pese a que hubo diferencias entre los atributos de color y de textura de las mermeladas. Sin embargo, no fueron determinantes para su preferencia, de tal manera que la aplicación de los recubrimientos no alteró significativamente las propiedades sensoriales del producto.



**Gráfica 16.** Escala de ordenamiento de las mermeladas

---

## Conclusiones

De acuerdo con el objetivo general de la investigación de evaluar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' recubiertas con el biopolímero de Q-Qn proveniente de cefalotórax y exoesqueletos de camarón con y sin aceite esencial de naranja y con las ceras de carnauba y de candelilla para su comparación entre ellas se puede concluir lo siguiente:

- Los recubrimientos elaborados con ceras de candelilla, de carnauba y con el biopolímero experimental de Q-Qn, aumentaron la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' con respecto de las manzanas sin recubrir, principalmente bajo el almacenamiento a 25 y 35°C, cumpliendo la hipótesis planteada
- La temperatura de refrigeración fue la principal variable para prolongar la vida de anaquel de las manzanas 'Golden Delicious' ya que redujo la tasa de respiración y, por ende, la actividad metabólica y enzimática, preservando los parámetros vinculados con la calidad física, química y sensorial
- A la misma temperatura, la incorporación del aceite esencial de naranja no representó una ventaja sobre el recubrimiento de Q-Qn sin él.
- A temperatura ambiente, las manzanas recubiertas con el biopolímero experimental de Q-Qn y con las ceras de carnauba y de candelilla tuvieron el mismo efecto benéfico sobre los parámetros evaluados al ralentizar algunos de los efectos de la maduración, siendo el tratamiento con cera de candelilla el que tuvo una mayor funcionalidad.
- El recubrimiento experimental de Q-Qn resultó igual de efectivo que la cera de candelilla y de carnauba sobre los parámetros evaluados a 35°C los cuales fueron: a) Mantenimiento de color y firmeza aceptable durante mayor tiempo, b) Ausencia en el crecimiento de hongos ni pardeamiento enzimático, c) Menor pérdida de agua y d) Ralentización de algunos fenómenos de la madurez como la utilización de ácidos orgánicos y de glúcidos.
- De acuerdo con el tiempo de vida de anaquel estimado, el recubrimiento experimental de Q-Qn fue similar al de las ceras de candelilla y de carnauba bajo las diferentes temperaturas de almacenamiento. Por tanto, se cumplió la hipótesis planteada
- La disminución de la firmeza y los cambios de coloración fueron los parámetros que tuvieron una mayor influencia sobre la calidad y deterioro de las manzanas sin recubrir, afectando su apariencia, efectos que se retrasaron con la aplicación de los recubrimientos elaborados a base de ceras y del recubrimiento de Q-Qn.
- La degradación del ácido ascórbico fue el parámetro que más se vio afectado durante el almacenamiento a las tres temperaturas, pero no fue determinante para evaluar la calidad de las manzanas por su bajo contenido de este nutrimento.
- La incorporación del aceite esencial de naranja en el recubrimiento de Q-Qn tuvo un efecto positivo a temperatura ambiente sobre la coloración y textura de las manzanas, lo cual se atribuyó a sus propiedades antioxidantes, sin embargo, con base en la cinética, el tiempo de vida útil estimado, no resultó mayor en comparación con el recubrimiento sin el aceite esencial.
- Los recubrimientos aplicados en las manzanas para la elaboración de mermeladas, no afectaron los atributos sensoriales de sabor ni aroma. El recubrimiento elaborado a base de cera de carnauba no afectó el color ni la textura de las mermeladas a diferencia de los recubrimientos a base de cera de candelilla y del biopolímero de Q-Qn. Sin embargo, los consumidores no tuvieron preferencia por alguna de las mermeladas elaboradas con las manzanas recubiertas y sin recubrir.

## Perspectivas

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación se presentan las siguientes recomendaciones que resultarían de sumo interés.

- Evaluar diferentes proporciones de CPD de camarón con el disolvente MAC-141© para obtener un mejor comportamiento del recubrimiento de Q-Qn experimental al aplicarlo específicamente sobre manzanas 'Golden Delicious'.
- Para el desarrollo de los recubrimientos, es necesario considerar y medir los factores tales como el espesor, la tasa de permeabilidad al vapor de agua, la solubilidad de los recubrimientos, así como el efecto inhibitorio del aceite esencial para tener un mayor control y homogeneidad de los resultados de los parámetros fisicoquímicos.
- Prolongar el estudio de vida de anaquel considerando los tiempos teóricos estimados con el modelo cinético y así, obtener resultados estadísticamente concretos para observar un efecto más claro sobre el beneficio de los recubrimientos de Q-Qn en comparación con los elaborados con ceras y con el recubrimiento con el aceite esencial.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos del estudio de vida de anaquel que se midieron de manera sensorial, empleando metodologías instrumentales precisas como un colorímetro y un texturómetro.
- Considerar los análisis microbiológicos (cuenta total de mesofilos aerobios y hongos y levaduras) durante el estudio de vida de anaquel, principalmente al inicio y final del periodo de almacenamiento, para determinar las propiedades antimicrobianas del recubrimiento de Q-Qn.
- Cuantificar el metanol residual en el lote del recubrimiento experimental de Q-Qn para comprobar si se encuentra dentro del límite de la ingesta diaria admisible (IDA) para determinar que es un alimento inocuo siguiendo el ejemplo de la investigación de Zarazúa-Cruz (2022) con peras y zarzamoras.

### Glosario de términos

<b>Término, siglas</b>	<b>Significado</b>
<b>Ablandamiento</b>	Es un proceso que ocurre como resultado de la hidrólisis enzimática de los diversos componentes de la pared celular y que contribuye a la pérdida de firmeza del fruto
<b>Aceite esencial</b>	Líquidos oleosos y volátiles obtenidos de las plantas (semillas, flores, raíces, hojas y frutos) por algún método físico de extracción
<b>Acidez</b>	Cantidad de ácido libre en diferentes matrices alimentarias
<b>Ácido málico</b>	Es un ácido carboxílico abundante, principalmente en uvas y manzanas. Su fórmula molecular es $C_4H_6O_5$ y de masa molecular de 134.08 g/mol
<b>Acuicultura</b>	Es el conjunto de actividades, técnicas y conocimientos de cultivo de especies acuáticas vegetales y animales
<b>Alimento</b>	Cualquier sustancia o producto, sólido, semisólido, natural o transformado que proporciona al organismo elementos para su nutrición. Puede ser elaborada, semielaborada o bruta que se destina al consumo humano
<b>Alimento perecedero</b>	Alimento que requiere de condiciones especiales de proceso, conservación, almacenamiento y transporte debido a sus características fisicoquímicas, y cuya vida de anaquel es corta
<b>Antioxidante</b>	Sustancia o mezcla de sustancias destinada a retardar o impedir la oxidación de compuestos instaurados de los alimentos
<b>Bioactividad</b>	Compuestos que ejercen un efecto benéfico para alguna función corporal de los individuos; generan una mejora en su salud y reducen algún riesgo de enfermedad
<b>Biocompatible</b>	Materiales naturales que pueden implementarse y complementarse para tener una función específica y eficiente
<b>Biopolímero</b>	Compuestos con alta masa molecular que pueden extraerse de una materia prima natural, por lo que pueden degradarse en el ambiente
<b>Blanco</b>	Para fines de esta investigación, el término <i>blanco</i> se refiere a los grupos de manzanas sin recubrimiento
<b>Candelilla</b>	Arbusto perene, con tallos cilíndricos, densamente compactos, erectos, recubiertos de cera, con apariencia de pequeñas velas, sin hojas y en

<b>Término, siglas</b>	<b>Significado</b>
<b>Carnauba</b>	temporada de lluvias se llena de flores pequeñas Palma carnauba o carnaubeira de la familia Arecaceae. Es una especie de palmas nativas del noreste de Brasil
<b>Cefalotórax</b>	Parte del cuerpo de los crustáceos que está formada por la unión de la cabeza y el tórax
<b>Climaterio</b>	Período de mayor actividad metabólica durante la transición entre la etapa de crecimiento y la de senescencia
<b>Control</b>	Para fines de esta investigación, el término <i>control</i> se refiere a los grupos de manzanas recubiertas de quitosana comercial de la marca Sigma Aldrich® al 2%
<b>Crustáceo</b>	Grupo de los artrópodos con un número variable de apéndices, dos pares de antenas, cuerpo cubierto por un caparazón y de respiración branquial
<b>'Desverdizado'</b>	Cambios en la coloración del fruto de verde a amarillo o anaranjado
<b>Dieta saludable</b>	Según la OMS (2020), una dieta sana incluye lo siguiente: Frutas, verduras, legumbres (lentejas, alubias, frijoles), frutos secos y cereales integrales (maíz, mijo, avena, trigo o arroz moreno no procesados)
<b>Etileno</b>	Hormona que inicia y controla el proceso de maduración del fruto
<b>Evaluación sensorial</b>	Es una disciplina científica usada para medir, analizar e interpretar las reacciones humanas ante las características de los alimentos, así como el modo en que estas son percibidas por los sentidos
<b>Exoesqueleto</b>	Esqueleto externo continuo que recubre toda la superficie de los animales. Se conoce coloquialmente como caparazón
<b>Extracción</b>	Obtención de componentes específicos encontrados dentro de una matriz mediante disolventes u otros métodos
<b>Flavedo</b>	Envoltura externa del fruto que se caracteriza por formar una cáscara coloreada compuesta por vesículas oleosas donde se encuentran los pigmentos y aceites esenciales
<b>GRAS</b>	Siglas en inglés de <i>General Recognized as Safe</i> : Aquella sustancia reconocida entre los expertos calificados que ha demostrado ser seguro en las condiciones de su uso previsto
<b>Hortofrutícola</b>	Pertenciente a las hortalizas y árboles frutales o relativo al cultivo de ambos
<b>Juez no entrenado</b>	Personas que consumen habitualmente un producto y que a través de una evaluación expresan sus gustos y preferencias
<b>Maduración</b>	Eventos genéticamente programados y caracterizados por procesos bioquímicos y fisiológicos que alteran la textura, color, sabor y composición de nutrientes de las frutas y hortalizas
<b>Manzana</b>	Fruto perteneciente a la familia <i>Rosaceae</i> , subfamilia <i>Pomaideae</i> , género y especie <i>Malus domestica</i> de forma, tamaño, color y sabor característicos de acuerdo con la variedad. Se compone de 84.7% de agua, 0.3% de proteína, 0.1% de lípidos, 12.6% de carbohidratos totales y que incluyen 2.3% de fibra dietética. La mayor parte de sus glúcidos corresponde a fructosa (5.85%) y en menor proporción a glucosa (2.95%) y sacarosa (2.51%). Es una fuente discreta de vitamina C (6-12 mg/100 g) y entre su contenido mineral sobresale el potasio (aproximadamente 120 mg/100g). Contiene fitoquímicos, entre ellos, flavonoides como la quercetina con propiedades antioxidantes
<b>Mermelada</b>	Producto alimenticio obtenido por la cocción y concentración del jugo y pulpa de un fruto, adicionado de edulcorantes y agua, agregándole o no ingredientes opcionales y aditivos permitidos, envasado herméticamente y procesado térmicamente
<b>Pardeamiento enzimático</b>	Es una reacción principalmente relacionada con la actividad de polifenoloxidasas, las cuales catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas con la consecuente transformación a pigmentos oscuros

<b>Término, siglas</b>	<b>Significado</b>
<b>Película comestibles</b>	Es una matriz preformada obtenida por moldeo y que se aplican en la superficie de los alimentos
<b>Permeabilidad</b>	Es una medida de la facilidad con la que el vapor de agua puede penetrar un material
<b>Pomáceo</b>	Fruto carnoso en pomo y semillas sin albumen; por ejemplo: el peral o el manzano
<b>Pruebas afectivas</b>	Herramienta en evaluación sensorial que permite ubicar un producto en términos de aceptación en comparación a otros y sus características que explican la preferencia de un consumidor
<b>Prueba de nivel de agrado</b>	Tienen como objetivo conocer qué tanto gusta un producto respecto con otros. Se realiza mediante un cuestionario cuantitativo con preguntas que son respondidas con una escala hedónica
<b>Prueba de preferencia y ordenamiento</b>	Son pruebas en las que se le pide al consumidor que escoja el producto que prefiere de acuerdo a una escala de ordenamiento
<b>Química verde</b>	Principios que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicaciones de productos químicos, lo que en muchos casos implica el rediseño de los productos y procesos utilizados
<b>Quitina</b>	Es un polímero que forma parte de la estructura de los invertebrados, principalmente en los caparazones de los crustáceos. Su composición se basa en amino-glúcidos como la N-acetil-D-glucosamina que se unen linealmente mediante enlaces $\beta$ -1,4 y es insoluble en agua
<b>Quitosana</b>	Es un polímero lineal (unidades de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina unidos por enlaces $\beta$ -1,4) derivado de la desacetilación de la quitina
<b>Ralentización</b>	Acción y efecto de otorgar lentitud o disminuir la rapidez con la que se ejecuta un proceso u operación
<b>Recubrimiento comestible</b>	Matriz transparente, continua, delgada y comestible que se estructura alrededor de un alimento mediante la inmersión en una solución con el fin de preservar su calidad y servir de empaque
<b>Respiración</b>	Es la descomposición por oxidación de sustratos complejos presentes en las células de plantas, como almidón, glúcidos y ácidos orgánicos a moléculas más simples como el $\text{CO}_2$ y $\text{H}_2\text{O}$ y la producción de energía
<b>Respuesta hedónica</b>	Respuesta que hace referencia a la mayoría de las ocasiones cuando se realiza un estudio con consumidor derivado de la apariencia, el sabor, olor y la textura
<b>Subproducto</b>	Producto que se obtiene en cualquier operación además del principal, el cual, posee un menor valor y su reutilización es segura
<b>Tasa de respiración</b>	Es la cantidad de $\text{CO}_2$ producida (mg) en el proceso respiratorio por unidad de masa de producto fresco y por unidad de tiempo ( $\text{mg CO}_2/\text{Kg h}$ ). Constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial
<b>Terpenos</b>	Son hidrocarburos que pertenecen a las familias de los alquenos, alcoholes, ésteres, éteres, aldehídos y cetonas
<b>Transpiración</b>	Pérdida de agua por evaporación de los tejidos vegetales que da como resultado pérdidas de apariencia, textura y calidad nutricional
<b>Turgencia</b>	Es la rigidez de las células vegetales debido a su contenido de agua. Es dependiente de fuerzas osmóticas y es el principal factor sobre la textura de frutas
<b>Vida de anaquel</b>	Periodo después de la producción, durante el cual el producto almacenado bajo determinadas condiciones ambientales como temperatura, luz y humedad continúa presentando características aceptables para el productor, consumidor y la legislación vigente

<b>Abreviaturas/Siglas</b>	<b>Significado</b>
<b>ANDEVA</b>	Siglas del análisis de varianza ( <i>Analysis of variance</i> , en inglés, <i>ANOVA</i> )
<b>AOAC</b>	Siglas en inglés de la Asociación Oficial de Químicos Analíticos ( <i>Association of Official Analytical Chemists</i> : AOAC)
<b>CPD</b>	Cefalotórax y exoesqueletos de camarón parcialmente desproteínizado
<b>DGAPA</b>	Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM
<b>DMS</b>	Diferencia mínima significativa. Método estadístico para la comparación de medias
<b>FAO</b>	Siglas en inglés de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ( <i>Food and Agriculture Organization</i> : FAO)
<b>FQ</b>	Facultad de Química de la UNAM
<b>GRAS</b>	Siglas en inglés de aquella sustancia generalmente reconocida como segura ( <i>General Recognized as Safe</i> )
<b>Isómeros</b>	La glucosa, galactosa y fructosa tienen la misma fórmula ( $C_6H_{12}O_6$ ), pero difieren en la organización de sus átomos, por lo que son isómeros. La fructosa es un isómero estructural de la glucosa y la galactosa: Sus átomos en realidad están enlazados en un orden diferente
<b>LIQAYQA</b>	Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental del Departamento de Ingeniería Química de la FQ de la UNAM
<b>MAC-141©</b>	Disolvente compuesto por <u>metanol</u> , <u>agua</u> y <u>cloruro de calcio</u> en una proporción molar <u>1:4:1</u> , respectivamente
<b>NMX</b>	Norma Mexicana que no es de índole obligatorio
<b>OMS</b>	Siglas de la Organización Mundial de la Salud
<b>PAIP</b>	Programa de Apoyo a la Investigación y el Posgrado de la FQ de la UNAM
<b>PAPIME</b>	Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza de la DGAPA de la UNAM
<b>Q-Qn</b>	Mezcla experimental de quitina-quitosana obtenida a partir de los residuos de cefalotórax y exoesqueletos de camarón ( <i>Litopenaeus vannamei</i> )
<b>Q-Qn-AEN</b>	Mezcla experimental de quitina-quitosana adicionado con un aceite esencial de naranja comercial
<b>Qn-SA 2%</b>	Quitosana comercial Sigma Aldrich® a una concentración de 2% en agua destilada acidulada con 2% de ácido ascórbico
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México (en los últimos seis años cambió de nombre)
<b>SE</b>	Secretaría de Economía, México
<b>SIAP</b>	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México
<b>UGA</b>	Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM, México
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México

<b>Unidades</b>	<b>Significado</b>
<b>°Bx</b>	Grados Brix
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>cm</b>	Símbolo de centímetro. Unidad de longitud equivalente a la centésima parte de 1 metro
<b>g</b>	Símbolo de gramo. Unidad de masa del Sistema Internacional, equivalente a una milésima parte de 1 kilogramo
<b>h</b>	Símbolo de hora. Tiempo que equivale a 60 minutos
<b>ha</b>	Símbolo de hectárea. Medida de superficie equivalente a 100 áreas
<b>k</b>	Prefijo del Sistema Internacional que equivale a mil unidades
<b>kg</b>	Símbolo de kilogramo. Unidad de masa del Sistema Internacional aproximadamente igual a la masa de 1000 centímetros cúbicos de agua a la temperatura de su

Unidades	Significado
	máxima densidad (cuatro grados Celsius)
<b>L</b>	Símbolo de litro. Unidad de volumen equiparable al decímetro cúbico
<b>M</b>	Prefijo del Sistema Internacional que equivale a un millón de unidades
<b>mg</b>	Símbolo de miligramo. Unidad de masa equivalente a la milésima parte de 1 gramo
<b>mm</b>	Símbolo de milímetro. Unidad de longitud equivalente a la milésima parte de 1 metro
<b>min</b>	Símbolo de minuto. Tiempo equivalente a 60 segundos
<b>mL</b>	Símbolo de mililitro. Unidad de volumen equivalente a la milésima parte de 1 litro, es decir, 1 centímetro cúbico
<b>mol</b>	Cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0.012 kilogramos de carbono 12
<b>N</b>	Símbolo de normalidad. Unidad de concentración que corresponde al número de equivalentes de soluto por litro de solución
<b>ppm</b>	Unidad de concentración en partes por millón
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>s</b>	Símbolo de segundo. Unidad de tiempo del Sistema Internacional
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>t</b>	Símbolo de tonelada. Unidad de masa equivalente a 1000 kg

**Nota:** Este documento utiliza el punto decimal de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida (SE, 2009b)

## Reconocimientos

La y los autores reconocen al Programa de Apoyo a la Investigación y el Posgrado de la Facultad de Química de la UNAM (PAIP), clave 50009067 por el financiamiento parcial de reactivos, equipos y material de laboratorio empleados en esta investigación. También se da un reconocimiento al personal académico y administrativo de los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Ambiental y de Química Ambiental (LIQA y QA) del Conjunto E de la Facultad de Química por el apoyo en el uso de los equipos para realizar la presente investigación, especialmente a la Dra. Marisela Bernal-González, al Sr. Benjamín Ramírez-Castillo y al Sr. Espiridión Vargas-Carrillo. Finalmente, para la parte de los análisis estadísticos de esta investigación se reconoce el apoyo con la adquisición de equipos de cómputo por parte de la UNAM, DGAPA, PAPIME Proyecto Clave PE101822 y el aprovisionamiento, montaje y apoyo logístico del personal de la Facultad de Química, los Ings. Edgar V. López-García, Cedric Reyes-Cadena, Ramiro Del-Carmen-Lezama y Roberto Díaz Colín.

## Referencias

- AOAC. 1995. Method 967.21. 2,6-Dichloroindophenol Titrimetric Method. Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry International.
- AOAC. 2005. Method 942.15. Acidity (Titratable) of Fruit Products. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry International. Ed. 18, Cap. 37, p. 10.
- Baduí-Dergal, S. 2006. *Química de los alimentos*, Pearson Addison Wesley, 4ta edición, México.
- Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R., Correa-Pacheco, Z., Corona-Rangel, M. 2017. 'Quitosano'<sup>10</sup>: Un 'polisacárido'<sup>11</sup> antimicrobiano versátil para frutas y hortalizas en poscosecha-una revisión. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(2):103-121.
- Cabrera, M. 2004. Análisis de pureza del aceite esencial de naranja. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Campos, C., Gerschenson, L., Flores, S. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*. 4(6):849-875.

<sup>10</sup> Las gomas se nombran con el sufijo -ana precedido de parte del nombre de su componente progenitor. En este caso debería haberse nombrado quitana, al provenir de la quitina. Por razones ignotas colegas investigadores(as) de habla española usan indistintamente las palabras quitosana, quitosán, quitosano. En este grupo de investigación se usa la palabra quitosana

<sup>11</sup> Un error conceptual frecuente en química de alimentos es nombrar sacáridos a los glúcidos. Sacárido implica que proviene de la sacarosa y glúcido de la glucosa. La sacarosa es un glúcido formado por glucosa y el isómero de la glucosa, la fructosa. En este grupo de investigación se usan las palabras glúcidos, monoglúcidos y poliglúcidos

- Catzin, C. 2009. Procesos de solubilización/precipitación y de hidrólisis enzimática para la obtención de concentrados de proteína, a partir de Cefalotórax y exoesqueletos de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.
- De-la-Cruz-Guerra, N. 2019. Evaluación de la sinergia de los recubrimientos naturales provenientes del cefalotórax de jaiba (*Callinectes sapidus*) y del Cefalotórax y exoesqueletos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) sobre un fruto no climatérico, frambuesa (*Rubus idaeus*). Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Flores-Ortega, R.A. 2008. Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Tesis de Doctorado, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Flores-Ortega, R.A. 2004. Bioplástico de quitina: Formación de películas de quitina a partir de desechos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Flores-Ortega, R.A., Barrera-Rodríguez, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2004. Extracción ecológica de quitina y subproductos. Patente Núm. 264482. Otorgada el 12 de febrero de 2009. Solicitud de Registro PA/a/2004/009517: Octubre 1, 2004. Facultad de Química, UNAM. IMPI. Ciudad de México, México
- Guerrero-Prieto, V., Trevizo-Enriquez, M., Gardea-Béjar, A., Figueroa-Valenzuela, C., Romo-Chacón, A., Blanco-Pérez, A. 2004. Identificación de levaduras epifitas obtenidas de manzana [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. domestica (Borkh.) Mansf.] para control biológico post cosecha. Revista Mexicana de Fitopatología. 22(2):223-230.
- Juárez-Cruz, J.V. 2019. Estudios de los recubrimientos elaborados con residuos de cefalotórax de jaiba (*Callinectes sapidus*) y del cefalotórax y exoesqueletos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) sobre un fruto climatérico: Mango (*Mangifera indica*). Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Lara, I. 2013. Bases bioquímicas y fisiológicas de la maduración. En: Poscosecha de pera, manzana y melocotón. Viñas, I., Recasens, I., Usall, J., Graell, J. Eds. Mundi-Prensa, pp. 75-105. Madrid, España.
- Lárez-Velásquez, C. 2008. Algunas potencialidades de la quitina y 'el quitosano'<sup>12</sup> para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. Revista UDO Agrícola. 8(1):1-22.
- Lin, D., Zhao, Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 6:60-71.
- Nava-Arévalo, J.D., Enríquez-Estrada, R.A., García-Gómez, R.S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2016. Uso de recubrimientos naturales como complemento al tratamiento post-cosecha y ralentización de la madurez de guayabas (*Psidium quajava* L.). Industria Alimentaria. 38(3):62-72.
- Ochoa, E., Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., De la Garza, H., Charles-Rodríguez, V., Aguilar, C. 2011. Evaluation of a candelilla wax-based edible coating to prolong the shelf-life Quality and Safety of Apples. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 6(1):92-98.
- Oregel-Zamudio, E., Aguilar, C., Oyoque-Salcedo, G., Angoa-Pérez, V., Mena-Violante, H. 2016. Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. Revista Iberoamericana de Tecnología Post Cosecha. 17(1):1-7.
- OMS. 2020. Dieta saludable. Organización Mundial de la Salud [En línea] (Actualizado al 29 de abril de 2020). Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> [Último acceso el 30 de abril de 2024].
- Ortega-Granados, J.A. 2011. Efecto del recubrimiento de fresas usando quitina-quitosana obtenida de cefalotórax y exoesqueleto de camarón en su vida de anaquel a temperatura ambiente (20±2°C) y refrigeración (4°C). Tesis de Licenciatura en Química de Alimentos. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Ortega-Granados, J.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2014. Proceso de química verde para la obtención de materiales espumados a partir de residuos sólidos de animales artrópodos, y productos obtenidos con el mismo. Patente Núm. MX 371901. Otorgada el 06 de febrero de 2020. Solicitud de Registro MX/a/2014/015119: Diciembre 10, 2014. Facultad de Química, UNAM. IMPI Ciudad de México, México.
- Pérez-Pérez, E. y López-Malo, A. 2011. Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos. 5(2):13-27.
- Pérez-Portillo, E. 2024. Estudios de los recubrimientos obtenidos a partir de fuentes naturales (cera de carnauba, cera de candelilla y biopolímeros de quitina-quitosana) en manzanas amarillas (*Malus domestica*) de la variedad 'Golden Delicious'. Tesis de Licenciatura en proceso de revisión. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Rico, F., Gutiérrez, C., Díaz-Moreno, C. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de 'quitosano'<sup>13</sup> y aceites esenciales en la calidad microbiológica de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. *Vitae*, 19(1):117-119.
- Sarabia-Bañuelos, P. 2011. Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: Obtención de quitina y quitosana del Cefalotórax y exoesqueletos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de maestría, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<sup>12</sup> Las gomas se nombran con el sufijo -ana precedido de parte del nombre de su componente progenitor. En este caso debería haberse nombrado quitana, al provenir de la quitina. Por razones ignotas colegas investigadores(as) de habla española usan indistintamente las palabras quitosana, quitosán, quitosano. En este grupo de investigación se usa la palabra quitosana

<sup>13</sup> Las gomas se nombran con el sufijo -ana precedido de parte del nombre de su componente progenitor. En este caso debería haberse nombrado quitana, al provenir de la quitina. Por razones ignotas colegas investigadores(as) de habla española usan indistintamente las palabras quitosana, quitosán, quitosano. En este grupo de investigación se usa la palabra quitosana

- 
- Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., Aguilera-Carbó, A., Sáenz-Galindo, A., de la Garza, H., Jasso-Cantú, D., Aguilar, C. 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42(4):511–515.
- SE. 2003. Norma Mexicana NMX-FF-061-SCFI-2003. Productos agrícolas no industrializados para consumo humano-fruta fresca-manzana (*Malus pumila* Mill)-(*Malus domestica* Borkh). Especificaciones. (cancela a la NMX-FF-061-1993-SCFI) Secretaría de Economía. [En línea] (Actualizado al 17 de febrero de 2003). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2003/nmx-ff-061-scfi-2003.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SE. 2009b. Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002. Sistema General de Unidades de Medida, Modificación 2009. Secretaría de Economía ( [En línea] (Actualizado al 24 de septiembre de 2009). Disponible en: <http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/2010/008scfi2002mod.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- SE. 2013. NMX-F-317-NORMEX-2013. Alimentos. Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas. Método potenciométrico (Método de prueba) (cancela a la NMX-F-317-S-1978). Secretaría de Economía [En línea] (Actualizado al 27 de agosto de 2013). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2000/seleccione.pdf> [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- Seseña-Alcalde, M.d.R. 2019. Estudio del cambio en las concentraciones del metanol residual en un fruto climatérico (guayabas) y en uno no climatérico (uvas verdes) que fueron recubiertos con biopolímeros de quitina-quitosana provenientes de cefalotórax de camarón. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Seseña-Alcalde, M.d.R. **e-Latin Food 2020. 9th Food Science, Biotechnology, and Safety Congress**. Mexican Association of Food Science (*9º Congreso de Ciencias de los Alimentos, Biotecnología y Seguridad. Asociación Mexicana de Ciencias de los Alimentos*, in Spanish). Residual concentrations of methanol in guavas (*Psidium guajava*) and green grapes coated with chitin-chitosan biopolymer film obtained from shrimp residues. Seseña-Alcalde, M. del R., García-Gómez, R.S., Mendoza-Pérez, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. del C. ETFP-P39. UADEC 32-Room. Emerging Technologies and Food Preservation V. November 11-13, 2020. 'Virtual Trade Center'.
- SIAP. 2021. Atlas agroalimentario 2012-2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea] (Actualizado al 2018). Disponible en: [https://nube.siap.gob.mx/panorama\\_siap/paq/2021/PanoramaAgroalimentario-2021](https://nube.siap.gob.mx/panorama_siap/paq/2021/PanoramaAgroalimentario-2021) [Último acceso el 15 de agosto de 2022].
- Sierra, D., Ossa, C., Quintana, M., Ospina. 2013. Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. *Scientia et Technica*. 18(1):260-266.
- Tlelo-Bárcena, B., García-Gómez, R.S., Bernal-González, M., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C., Bazúa-Rueda, E.R. 2024. Revalorización de subproductos de crustáceos, aplicaciones químicas y de paqueterías de cómputo académico. Parte 3. Ejemplo de proyectos de mejoramiento e innovación educativos: Obtención de quitina-quitosana / Revaluation of crustacean by-products, chemical applications and academic computing packages. Part 3. Example of Educational Improvement and Innovation Projects: Obtaining chitin-chitosan. *Ambiens Techné et Scientia México*. 12(1): 61-76.
- Trejo, V., Trejo, M., Pascual, S., Lira, A. 2015. Extracción de aceite esencial de eucalipto y su aplicación como agente antifúngico en un envase activo para conservación de frambuesa. *Revista Iberoamericana de Tecnología Post Cosecha*. [En línea] (Actualizado al 2015). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176012.pdf> [Último acceso el 22 de noviembre del 2021].
- Vázquez-Briones, M., Guerrero-Beltrán, J. 2013. Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*. 7(2):5-14.
- Villanueva-Jacobo, D.P. 2022. Efecto sobre la vida de anaquel de ciruelas negras (*Prunus domestica*) recubiertas con biopolímeros obtenidos de residuos de crustáceos. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Zarazúa-Cruz, V. 2021. Estudios de las concentraciones del metanol en un fruto climatérico (pera, *Pyrus communis*) y en uno no climatérico (zarzamora, *Rubus fruticosus*) que fueron recubiertos con biopolímeros obtenidos de residuos de crustáceos. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
-