

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Formulación de las películas comestibles

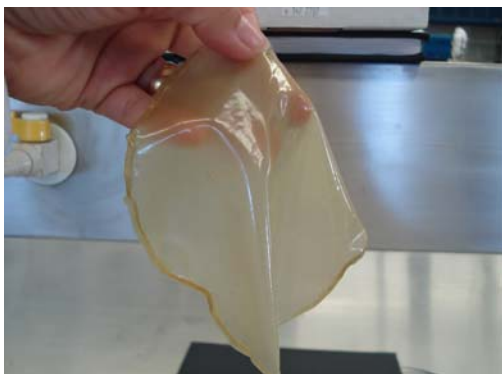
Basándose en lo investigado por Del-Valle *et al.* (2005), quienes recubrieron fresa con dos formulaciones de películas comestibles, la primera hecha con el extracto de mucílago puro, sin plastificantes, mientras que su segunda formulación contenía 5% glicerol, durante las pruebas preliminares de esta investigación, se intentó formar una película a base del extracto de mucílago puro (obtenido después de eliminar por centrifugación la fibra de nopales molidos). Esta película no se pudo desprender de la superficie en donde se formó. En un principio, se probaron superficies de teflón para tratar de facilitar el desprendimiento de la película una vez seca, pero aún con ellas no se logró y por lo tanto, no podría realizarse su caracterización posterior (Figura 22). Fue así, como se decidió hacer una segunda película que sí incluyera plastificante. De las experiencias de Del-Valle *et al.* (2005) y de Arizmendi (2004), quien utilizó dos plastificantes (glicerol y polietilenglicol) para elaborar películas comestibles hechas a base que mucílago de nopal, se tomó la idea de hacer pruebas con diferentes porcentajes de esos dos plastificantes. Se tomó el extracto de mucílago puro y se mezcló con los plastificantes, pero no fue posible obtener una película que se desprendiera. La razón era la concentración tan baja de mucílago en el extracto obtenido, ya que aún empleando plastificantes no era posible la formación de la película.



**Figura 22.** Película a base del extracto de nopal con plastificantes (PEG y glicerol).

Por lo anterior, se decidió obtener el mucílago seco en polvo y emplearlo directamente en la formulación de una película comestible. Después de probar los plastificantes a diferentes concentraciones, se logró formar sobre cajas de Petri, películas hechas a base

de mucílago de nopal al 4%, con glicerol 1% y polietilenglicol 1% (Figura 23). Las películas resultantes se podían desprender y manejar con relativa facilidad. También se probó con aceite de oliva como plastificante para otra formulación, ya que es el plastificante de la película comestible hecha a base de quitosano que se planeaba utilizar en esta investigación y que ha sido caracterizada y aplicada en fresa con anterioridad en la Universidad de las Américas, Puebla. El uso del aceite de oliva por si solo no hizo posible la formación de una película comestible que se pudiera desprender (Figura 23 y 24), por lo que se decidió probar con mezclas de aceite de oliva y glicerol a diferentes concentraciones. Se experimentó con dos marcas de aceite de oliva, pero con una de ellas no fue posible la formación de la película, por lo que se descartó y fue la marca “Kirland” la que se incluyó en dicha formulación. Lo anterior sugiere una investigación posterior más profunda sobre el aceite de oliva. De todas las formulaciones probadas, la que contenía 4% mucílago de nopal seco, 1% aceite de oliva y 1% glicerol fue la que presentó las mejores características (Figura 25), por lo que se decidió caracterizarla durante esta investigación y aplicarla junto con las dos anteriormente mencionadas para realizar una comparación entre ellas. Un porcentaje mayor de aceite de oliva generaba películas grasosas en su superficie.



**Figura 23.** Película comestible MAG.



**Figura 24.** Película comestible MPG.

Las dos formulaciones hechas a base de mucílago de nopal atraparon mucho aire en su homogenización y la etapa en la que se le sacó el aire mediante una bomba de vacío fue muy prolongada, pero necesaria para evitar la formación de agujeros en la película, que pudieran afectar su caracterización. El período de secado y su temperatura son muy importantes, ya que un sobresecaado hace que las orillas de las películas se vuelvan quebradizas y es muy difícil desprenderlas de la superficie en donde se forman.

## 6.2 Estandarización del proceso de obtención del mucílago de nopal

Después de hacer una revisión en la bibliografía sobre los métodos disponibles para la extracción del mucílago de nopal, se encontraron algunas opciones. A continuación se mencionan sus características, ventajas y desventajas.

Medina-Torres *et al.* (2000) reportan una modificación al procedimiento propuesto por McGarvie y Parolis en 1979. En este proyecto trabajan con nopal obtenido en Milpa Alta (México). Los nopales son molidos, luego centrifugados a 10 000 rpm, decantados y el sobrenadante precipitado con acetona, a una relación 1:2 pulpa de nopal:acetona. El precipitado obtenido fue recolectado, lavado con alcohol isopropílico (1:1) y finalmente se secó. No reportan el % de rendimiento obtenido, ya que su estudio se enfoca en la propiedades reológicas de la goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*). Sin embargo, una desventaja en este proceso es el empleo de disolventes no inócuos.

Matsuhira *et al.* (2006) extraen mucílago de las frutas o tunas del nopal (*Opuntia ficus indica* de la región de Tiltil, Chile) para realizar una caracterización del mismo. Las tunas se pelaron, se molieron y la mezcla se filtró. El filtrado se centrifugó a 4000 rpm y el sobrenadante se concentró con vacío. Posteriormente, se dializó contra agua destilada durante 48 h. La solución resultante se concentró con vacío y se mezcló con etanol (1:5 v/v). El precipitado se separó mediante centrifugación, se disolvió en agua destilada y se liofilizó. El % rendimiento reportado fue del 3.8%, que parece ser muy alto, sin embargo, la metodología es más compleja, además de ser aplicada en tuna, no en nopal verdura como se tenía planeado para esta investigación.

Arizmedi (2004) reporta un procedimiento para la extracción de mucílago de nopal. En este trabajo se emplea nopal *Opuntia tomentosa* Salma-Dick. Su método es una modificación del propuesto por Forni en 1994. Primero se muelen los nopales, se les da un tratamiento térmico a 90°C por 10 minutos y se separa la fibra por centrifugación a 5000 rpm x 10 minutos. El sobrenadante obtenido es precipitado con etanol, separado, secado y molido. El rendimiento promedio de mucílago reportado en este estudio fue del  $24.13 \pm 1.5\%$  sobre la materia seca de los cladodios de *O. tomentosa*, que es mucho mayor según el autor que el obtenido en *O. ficus indica* reportado según Cárdenas *et al.* (1997) y mencionado en este estudio, teniendo un % de rendimiento entre 0.88 y 1.22 en nopales tiernos. Este procedimiento emplea un disolvente inocuo, que es compatible con alimentos, sin embargo, una desventaja es la obtención de una mezcla del agua y materiales solubles del nopal con el etanol, cuya separación posterior representa un trabajo adicional en el proceso de extracción.

De las tres opciones anteriores se decidió trabajar con esta última. No se obtuvo el dato de la relación sobrenadante:etanol para hacer la precipitación del mucílago, pero se tomó como referencia lo propuesto por Matsuhira *et al.* (2006). Se inició con una relación 1:5 sobrenadante:etanol. Lo anterior generó un gran volumen de mezcla que debía ser destilada para recuperar el etanol, con el fin de ser reutilizado en este mismo proceso. Así que se probó bajar el volumen empleado, hasta encontrar que con una relación 1:4 era suficiente para obtener los mismos resultados. Con lo anterior, se disminuyó el volumen de la mezcla antes mencionada y se redujo el trabajo posterior para la recuperación del etanol.

Otra modificación hecha al procedimiento de Arizmendi (2004) fue el periodo en congelación de la mezcla sobrenadante/etanol para lograr una completa precipitación del mucílago. Se probaron periodos de 1, 2 y 3 días en congelación (-10°C), encontrando que con un día en congelación se obtenía el rendimiento promedio más alto (Tabla 1), de esta manera, este paso fue incluido en el procedimiento que se propone en esta investigación.

**Tabla 1.** Rendimiento (%) de mucílago de nopal obtenido con diferentes periodos de precipitación en congelación (-10°C).

Periodo en congelación (días)	Rendimiento (%)
0	0.42
<b>1</b>	<b>0.50</b>
2	0.40
3	0.34

Para las pruebas preliminares de este estudio se emplearon diferentes tipos de nopal (*Opuntia ficus indica*): el nopal chito, adquirido en el mercado de San Pedro Cholula, Puebla, que son pencas peladas muy gruesas, normalmente comidas en platillos preparados como sustituto de carne, pero que no se encuentran más que en temporada de lluvias en México; un nopal silvestre de la región de Zacatepec, Pue. que resultó ser muy fibroso y difícil de manipular y el nopal “Largo” de la zona de Milpa Alta, Estado de México, que fue adquirido en un supermercado de la localidad. Sin embargo, este último no fue empleado en este proyecto, ya que estamos en una región donde se cultiva el nopal de la variedad “Criollo” y tiene la ventaja de poder adquirirse durante todo el

año en el mercado de la localidad. Los diez lotes de nopal ocupados durante el proyecto fueron de la región de Zacapechpan, Puebla.

### 6.2.1 Rendimiento de mucílago

El mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica* variedad “Criollo”) (Figura 25) empleado en este proyecto se extrajo de 10 lotes de peso variable (Apéndice B). El rendimiento de mucílago en promedio fue del  $0.435 \pm 0.111\%$ . El valor máximo obtenido fue de  $0.555\%$  y el menor de  $0.253\%$ . El contenido de mucílago en el nopal depende de las condiciones ambientales, tales como frío o lluvia debido a la habilidad de sus polisacáridos de absorber agua como un mecanismo de defensa en caso de enfrentar condiciones de estrés (Sepúlveda *et al.*, 2007).



**Figura 25.** Mucílago de nopal seco en polvo.

## 6.3 Caracterización de las películas comestibles

### 6.3.1 Propiedades físicas

#### 6.3.1.1 Espesor

En investigaciones anteriores realizadas en el laboratorio, las películas comestibles hechas a base de quitosano se han formado en cajas de Petri de 8.8 cm de diámetro con volúmenes de 15 y 30 mL de solución formadora de película. De lo anterior, se propuso probar diferentes volúmenes para obtener películas de distintos espesores que se pudieran caracterizar. Los volúmenes probados fueron 15, 20, 25 y 30 mL de solución MPG y MAG sobre cajas de Petri. Se secaron y se pudieron despegar fácilmente todas, excepto las de 15 mL por ser demasiado delgadas. Por lo tanto, las películas de 20, 25 y 30 mL de estas soluciones serían caracterizadas. Tomando en cuenta que la cámara para medir la permeabilidad a gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) tiene un área de transferencia en donde se

sujeta la película de 54.1 cm<sup>2</sup>, era necesario formar películas más grandes que las obtenidas como antes se menciona. Por esa razón, fue que se seleccionaron cajas de Petri de 14.1 cm de diámetro, en las que se pudieran hacer películas y que sirvieran para todas las evaluaciones de su caracterización. Con áreas mayores, se decidió duplicar los volúmenes que inicialmente se ocuparían con las cajas de Petri chicas para las cajas de 14.1 cm de diámetro y con ello lograr 3 espesores distintos de película (40, 50 y 60 mL).

Para obtener el espesor de las películas comestibles, se utilizó un micrómetro para medir quince puntos distintos de cada película. La tabla 2 muestra los espesores promedio obtenidos para cada tipo de película comestible. En el apéndice C están registrados los espesores promedio para cada una de las películas evaluadas.

**Tabla 2.** Espesores promedio de las diferentes películas comestibles.

<b>Tipo de Película</b>	<b>Espesor Promedio (µm)</b>	<b>% CV</b>
MAG 40	92.3±2.8 <sup>b</sup>	3.1
MAG 50	118.4±6.1 <sup>cd</sup>	5.1
MAG 60	155.9±15.0 <sup>ef</sup>	9.6
MPG 40	104.2±4.0 <sup>bc</sup>	3.9
MPG 50	131.0±12.3 <sup>d</sup>	9.4
MPG 60	167.2±16.5 <sup>f</sup>	9.8
Q 40	34.2±4.4 <sup>a</sup>	12.8
Q 50	41.8±7.2 <sup>a</sup>	17.3
Q 60	48.7±3.1 <sup>a</sup>	6.4

Letras diferentes indican diferencias significativas de los espesores de las películas de las diferentes formulaciones ( $p < 0.05$ ).

Por los porcentajes del coeficiente de variabilidad (>10%) en algunas películas, se puede notar que sus espesores no fueron uniformes, especialmente en las hechas a base de quitosano. Para este caso, con los tres volúmenes, se obtienen las películas más delgadas, lo que las hace más susceptibles a variación en su espesor en el período de secado. La nivelación de las parrillas de la estufa juega un papel muy importante en la uniformidad del espesor de las películas. Las películas hechas a base de mucílago de nopal presentan espesores mucho más grandes que las de quitosano. La solución formadora de las películas MAG y MPG contiene 4% de mucílago, mientras que las películas Q se formaron con 1% de quitosano, la cantidad de materia seca total hace que las de mucílago sean más gruesas. Entre las dos formulaciones hechas a base de

mucílago de nopal no hay diferencia significativa para las películas hechas con el mismo volumen de solución formadora. Para las películas hechas con las formulaciones a base de mucílago de nopal, se observa que para los tres volúmenes de solución probados, se obtienen espesores significativamente diferentes, confirmando que a mayor volumen se genera mayor espesor. Sin embargo, dicho comportamiento no es el mismo en las películas de quitosano, ya que para éstas, los espesores obtenidos con los tres volúmenes de solución formadora, no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ ).

En trabajos anteriores se reporta la caracterización de películas de quitosano con la misma formulación empleada durante esta investigación (quitosano: ácido acético: aceite de oliva 1:2.5:0.6), pero formadas con volúmenes de 15 y 30 mL en cajas de Petri de 8.8 cm de diámetro ( $60.82 \text{ cm}^2$  superficie). López (2007) registró un espesor promedio de  $39.6 \mu\text{m}$  para 15 mL y  $78.9 \mu\text{m}$  para 30 mL de solución formadora, mientras que Guzmán (2003) reportó  $38.1 \mu\text{m}$  para 15 mL y  $76.2 \mu\text{m}$  para 30 mL, formadas en cajas de Petri de 8 cm de diámetro. Para las películas Q15 (López, 2007) se emplearon  $0.25 \text{ mL/cm}^2$  y  $0.50 \text{ mL/cm}^2$  para las Q30, mientras que durante esta investigación se utilizaron cajas de Petri de 14.1 cm de diámetro ( $156.1 \text{ cm}^2$  superficie) con volúmenes de  $0.26$ ,  $0.32$  y  $0.38 \text{ mL/cm}^2$  para las películas Q40, Q50 y Q60, respectivamente. De lo anterior, solamente las películas Q15 podrían ser comparables con las películas Q40, las cuales presentan un espesor promedio menor a los reportados por López (2007) y por Guzmán (2003). Dado que la única diferencia en la formulación es el tipo de aceite de oliva usado, probablemente esto puede ser la causa de dicha diferencia.

#### 6.3.1.2. Transmisión de luz (Color)

La tabla 3 muestra los valores promedio y la desviación estándar de los parámetros L, a, b, saturación (C) y tono (h) de las películas comestibles elaboradas con 40, 50 y 60 mL de las tres formulaciones: MAG, MPG y Q, respectivamente. En el Apéndice D se encuentran los resultados desglosados.

**Tabla 3.** Parámetros de color de las películas comestibles: MAG, MPG y Q de tres espesores distintos (40, 50 y 60 mL de solución formadora de película).

Tipo de película	Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$L_h$	$a_h$	$b_h$	Saturación ( C )	Tono ( h )
MAG 40	92.3	59.2 $\pm$ 3.4 <sup>cd</sup>	5.3 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	12.1 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	13.2 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	66.4 $\pm$ 1.8 <sup>c</sup>
MAG 50	118.4	53.8 $\pm$ 2.9 <sup>bc</sup>	5.0 $\pm$ 0.2 <sup>ab</sup>	12.4 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	13.4 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	67.7 $\pm$ 2.6 <sup>cd</sup>
MAG 60	155.9	50.7 $\pm$ 3.5 <sup>b</sup>	4.6 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	12.8 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	13.6 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	70.0 $\pm$ 1.4 <sup>de</sup>
MPG 40	104.2	56.2 $\pm$ 2.7 <sup>c</sup>	5.0 $\pm$ 0.2 <sup>ab</sup>	15.5 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	16.3 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	72.2 $\pm$ 1.3 <sup>e</sup>
MPG 50	131.0	50.5 $\pm$ 2.5 <sup>b</sup>	5.3 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	16.0 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	16.8 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	71.7 $\pm$ 1.5 <sup>e</sup>
MPG 60	167.2	44.9 $\pm$ 2.41 <sup>a</sup>	5.3 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	15.6 $\pm$ 0.9 <sup>c</sup>	16.5 $\pm$ 0.9 <sup>c</sup>	71.3 $\pm$ 1.3 <sup>e</sup>
Q 40	34.2	86.4 $\pm$ 0.7 <sup>e</sup>	5.2 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	1.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	5.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	14.9 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>
Q 50	41.8	85.7 $\pm$ 1.5 <sup>e</sup>	5.4 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	1.5 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	5.6 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	15.9 $\pm$ 2.1 <sup>a</sup>
Q 60	48.7	83.1 $\pm$ 1.4 <sup>c</sup>	5.8 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	2.1 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	19.9 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las formulaciones ( $p < 0.05$ ).

Los valores promedio de la luminosidad en las tres distintas películas aparentemente presentan una tendencia similar, es decir, al aumentar el espesor, disminuye la luminosidad. Sin embargo, los análisis de varianza (Apéndice E) demuestran que esto es cierto sólo en las películas MPG. En estas películas, a menor espesor, mayor luminosidad. Con la formulación MAG, la luminosidad de las películas obtenidas con 40 mL de solución es significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) de la luminosidad de las películas formadas con 50 y 60 mL. Entre estas dos últimas películas no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) para el parámetro de luminosidad. Para las películas hechas a base de quitosano no se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en la luminosidad de las películas formadas con los tres volúmenes distintos. Comparando entre formulaciones, las de quitosano presentaron los valores promedio de luminosidad más altos para los tres espesores.

El parámetro “a” de color es positivo para los tres tipos de películas. Las películas MAG 50, MAG 60 y MPG 40 presentan los valores más pequeños para este parámetro, el resto de las películas no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ) entre ellas excepto las películas de quitosano formadas con 60 mL de solución, ya que el valor promedio de “a” es estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) y mayor al de las demás películas, lo cual puede ser debido al quitosano, ya que es un compuesto extraído de los caparzones de crustáceos y de ahí puede provenir el pigmento que le da esta coloración a la película comestible.

En cuanto al parámetro “b”, todas las películas registran valores positivos, lo cual indica que están en el lado de los colores amarillos. Existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre las tres formulaciones, pero no la hay entre los tres volúmenes empleados para



formar las películas. Las películas MPG muestran los valores del parámetro “b” más altos, seguidas por las MAG y finalmente las Q, cuyos valores son mucho más bajos. Se puede explicar esa diferencia en el parámetro “b” entre las películas hechas a base de quitosano y las de mucílago de nopal, por la presencia del propio mucílago de nopal, que es un polvo ligeramente amarillo. La presencia de plastificantes pudo haber afectado también dicha coloración. Durante las pruebas preliminares se utilizaron diferentes marcas de aceite de oliva en las formulaciones de las películas MAG y Q. Con cada una de ellas se obtenían películas con un color ligeramente distinto. Se decidió emplear la marca Kirland ya que fue con la única que se pudieron formar, desprender y manipular las películas de mucílago de nopal. Sin embargo, seguramente el color de estas películas es afectado por la coloración del aceite de oliva.

La saturación presenta la misma tendencia que el parámetro “b”, es decir, hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre películas con diferente formulación, pero no se observa diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las películas de la misma formulación con distinto volumen de solución formadora. Las películas MPG presentan los valores de saturación mayores, mientras que en las de quitosano se observaron los menores valores.

El tono de las películas fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) entre formulaciones, excepto por el tono de las películas MAG 60 que no presentó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con el obtenido para las MPG 40. Para las películas MAG, las de 40 y 50 mL no fueron significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ), al igual que no se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las formadas con 50 y con 60 mL de solución formadora. Entre las tres películas MPG no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Para el caso de las películas de quitosano, las formadas con 60 mL fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) a las de los otros dos volúmenes. Las películas Q presentaron los tonos promedio más bajos mientras que las películas MPG obtuvieron los más altos.

En la tabla 4 se muestran datos obtenidos en investigaciones pasadas. Los valores registrados para las películas de quitosano elaboradas en esta investigación se encuentran entre los valores reportados por López (2007) y los reportados por Guzmán (2003). Como se mencionó anteriormente, el quitosano, el mucílago de nopal y el tipo de aceite de oliva influyen en la coloración de la película comestible. Además, el empleo del homogenizador IKA Ultraturrax T18 basic (IKA WORKS, Inc.) simplificó mucho la etapa de preparación de las películas, ayudando a generar una solución completamente homogénea, libre de grumos que pudieran interferir en las

características de las películas comestibles. Como se mencionó en la sección de espesor, solo la película Q 40 puede ser comparable con las reportadas en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros de color de películas comestibles hechas a base de quitosano reportados en la bibliografía.

Tipo de película	Reportado por:	L <sub>h</sub>	a <sub>h</sub>	b <sub>h</sub>	Saturación ( C )	Tono (h)
Q 15	López, 2007	71.88	5.47	4.86	7.36	41.62
Q 30	López, 2007	60.37	5.41	7.65	9.37	54.68
Q 15	Guzmán, 2003	94.61	1.95	1.00		
Q 30	Guzmán, 2003	90.17	3.05	2.46		

### 6.3.2. Propiedades mecánicas

En la tabla 5 se muestran los valores promedio y las desviaciones estándar de las propiedades mecánicas de las películas comestibles hechas a base de formulaciones de mucílago de nopal (MAG y MPG) y de las películas de quitosano (Q). Los datos de cada una de las películas evaluadas se encuentran en el Apéndice F.

**Tabla 5.** Parámetros de textura de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q) con distintos espesores.

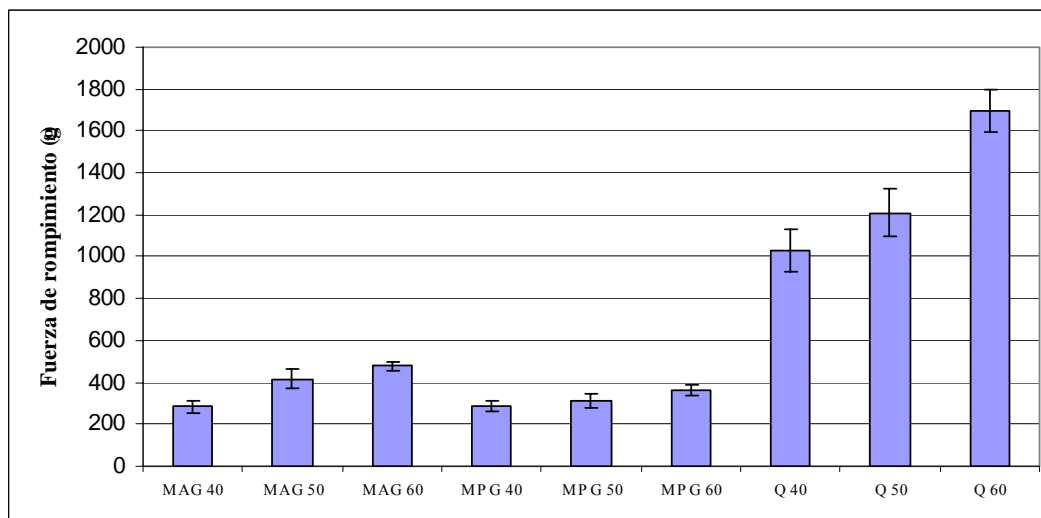
Tipo de película	Espesor (µm)	Fuerza (g)	Elongación (mm)	Área (gs)	Gradiente (g/s)
MAG 40	92.3	284.3±27.6 <sup>a</sup>	5.9±0.7 <sup>b</sup>	655.8±101.5 <sup>a</sup>	62.7±6.8 <sup>a</sup>
MAG 50	118.4	415.8±48.4 <sup>b</sup>	6.1±0.8 <sup>b</sup>	842.7±72.0 <sup>ab</sup>	84.3±6.2 <sup>a</sup>
MAG 60	155.9	479.0±22.6 <sup>bc</sup>	7.0±0.4 <sup>b</sup>	1259.1±89.9 <sup>cd</sup>	109.5±7.7 <sup>a</sup>
MPG 40	104.2	287.4±23.7 <sup>a</sup>	13.2±0.6 <sup>d</sup>	1267.2±102.7 <sup>cd</sup>	33.0±3.4 <sup>a</sup>
MPG 50	131.0	314.8±32.4 <sup>ab</sup>	12.9±1.0 <sup>d</sup>	1326.7±34.3 <sup>d</sup>	37.1±4.8 <sup>a</sup>
MPG 60	167.2	366.5±24.8 <sup>ab</sup>	10.8±1.0 <sup>c</sup>	1413.4±104.9 <sup>de</sup>	54.4±5.9 <sup>a</sup>
Q 40	34.2	1032±101.6 <sup>d</sup>	1.7±0.2 <sup>a</sup>	911.2±136.9 <sup>bc</sup>	574.1±57.8 <sup>b</sup>
Q 50	41.8	1209.4±114.9 <sup>e</sup>	2.5±0.3 <sup>a</sup>	1079.3±115.6 <sup>c</sup>	681.2±90.8 <sup>c</sup>
Q 60	48.7	1693.7±101.9 <sup>f</sup>	2.7±0.3 <sup>a</sup>	1578.5±239.5 <sup>e</sup>	907.0±69.8 <sup>d</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre el parámetro de textura correspondiente de las diferentes películas ( $p < 0.05$ ).

#### 6.3.2.1. Fuerza de rompimiento

Comparando la fuerza máxima requerida para romper las diferentes películas se observa que no hay una diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre la fuerza de rompimiento de las dos películas hechas a base de mucílago (Apéndice G). Sin embargo, los valores promedio para la fuerza de rompimiento de las películas de quitosano sí son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de los valores promedio de este parámetro en las

películas de mucílago de nopal (Tabla 5). Para las películas MAG, las fuerzas de rompimiento requeridas para aquellas formadas con 50 y 60 mL de solución formadora no son significativamente diferentes entre sí ( $p>0.05$ ), mientras las de 40 mL sí lo fueron ( $p<0.05$ ). Las películas de quitosano demostraron ser las películas más resistentes al rompimiento (Figura 26). A mayor espesor, mayor fuerza se requirió para romper la película. López (2007) reporta fuerzas de rompimiento promedio de 765.92 y 1225.07  $g_f$  para las películas de quitosano hechas con 15 y 30 mL de solución formadora de película en cajas de Petri de 8.8 cm de diámetro. En magnitud esos promedios son comparables con los obtenidos en este estudio para las películas Q 40 y Q 50. Guzmán (2003) reporta valores promedio para este parámetro de 1983.86 y 5138.7  $g_f$  para las películas de quitosano con 38.1 y 76.2  $\mu m$  de espesor respectivamente, formadas en cajas de Petri de 8 cm de diámetro. La película de 38.1  $\mu m$  requiere de una fuerza de rompimiento mayor a la que se registró para las películas Q 40 y Q 50 evaluadas durante esta investigación con espesores entre 34.2 y 41.8  $\mu m$ . Para las películas de quitosano elaboradas por Guzmán (2003) con un espesor de 76.2  $\mu m$  se esperaba el doble de fuerza para romperlas que para las de 38.1  $\mu m$ , pero el valor reportado es más de dos veces el obtenido con estas últimas. Es muy probable que las condiciones para medir los parámetros de textura fueron diferentes de las empleadas en el presente estudio.



**Figura 26.** Valores promedio para la fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).

En investigaciones realizadas con películas comestibles hechas a base de proteínas y plastificantes, se ha observado que a mayor concentración de plastificante, se requiere de una menor fuerza para romper la película (Park *et al.*, 1994). Lo anterior concuerda con el comportamiento de las películas hechas a base de mucílago de nopal, ya que en las dos formulaciones se empleó un porcentaje mayor de plastificante que en las hechas a base de quitosano.

En un estudio realizado por Park *et al.* (1994) con películas hechas a base de proteínas (zeína de maíz y gluten de trigo) con glicerol y polietilenglicol como plastificantes, estos autores propusieron que una mezcla de partes iguales de estos dos plastificantes, es la combinación que produce películas con las mejores características de fuerza y elongación. Para el caso de las películas hechas a partir de mucílago de nopal elaboradas durante esta investigación también se propuso la misma mezcla de plastificantes que utilizaron Park *et al.* (1994), pero en este caso, la formulación MPG resultó en películas con menor fuerza de rompimiento y muy elásticas. Durante las pruebas preliminares se hicieron películas a base de mucílago de nopal sólo con glicerol como plastificante, pero fue imposible despegarlas enteras de la superficie donde se formaron, ya que eran muy quebradizas (Figura 27). Lo mismo sucedió al emplear únicamente polietilenglicol, de ahí, que se decidió usarlos combinados y el porcentaje empleado en la formulación MPG fue el que permitió manipular mejor dicha película.

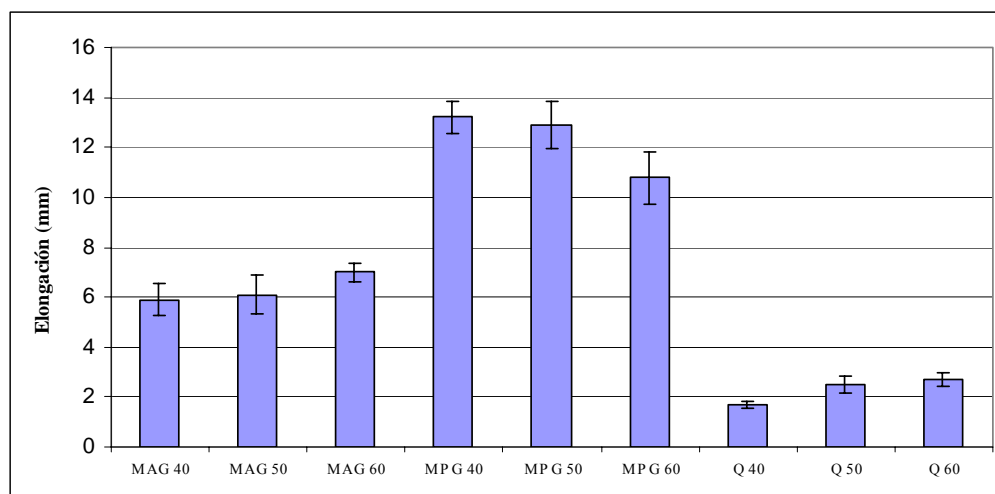


**Figura 27.** Película comestible a base de mucílago de nopal seco y glicerol.

#### 6.3.2.2. Elongación

La elongación o elasticidad de las películas es la distancia (mm) que la película puede estirarse antes de romperse. Comparando los valores promedio de la elongación para las tres formulaciones, se encuentra diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre ellos (Apéndice G). Las películas más elásticas o flexibles fueron las MPG obtenidas con 40 y 50 mL de

solución formadora y sus valores promedio de elongación no presentaron diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre ellos. Las películas de quitosano presentaron los valores más bajos de elasticidad (Figura 28), lo cual está relacionado con sus valores tan altos en la fuerza de rompimiento. No hubo diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los valores promedio de elasticidad de las películas MAG y Q con diferentes espesores. Cha y Chinnan (2004) reportan que a un incremento en el contenido total de plastificante, se observa un aumento en el % de elasticidad de la película. Lo anterior puede explicar la magnitud de la elasticidad de las películas de mucílago de nopal, ya que en sus formulaciones se utiliza 1% de glicerol y 1% de aceite de oliva o de polietilenglicol, lo cual es mayor al 0.6% del aceite de oliva empleado en las películas a base de quitosano. Butler *et al.* (1996) observan este mismo comportamiento de la elongación en las películas formadas con diferentes concentraciones de plastificantes.

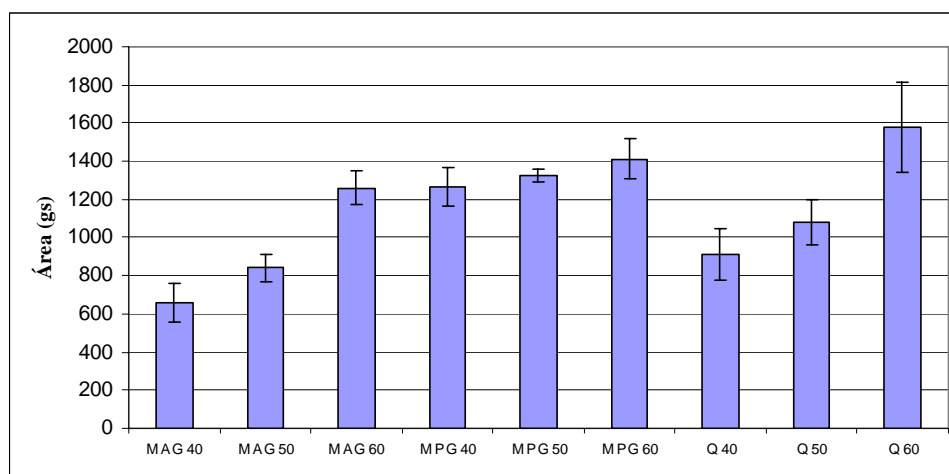


**Figura 28.** Valores promedio para la fuerza elongación de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).

El polietilenglicol en las películas hechas a base de mucílago de nopal influye también en la elasticidad. Al parecer el polietilenglicol forma mejores enlaces a través de interacciones hidrofóbicas entre el mucílago de nopal y glicerol, que los formados entre el aceite de oliva con el mucílago de nopal y glicerol. Se cree que la elasticidad generada por el polietilenglicol se debe a la cadena de carbono larga presente en este plastificante (Arizmendi, 2004).

### 6.3.2.3. Área

El área bajo la curva se considera como el trabajo realizado para romper la película. Comparando los valores promedio del área (Tabla 5), no se observa diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre las tres formulaciones (Apéndice G). Las películas MAG 40 y 50 presentan los valores promedio más bajos, mientras que las Q 60 muestran los valores más altos (Figura 29), lo cual coincide con el valor más alto de fuerza de rompimiento. Para las películas MAG, el área obtenida con las películas de 60 mL es mayor a las áreas obtenidas con las películas de 40 y 50 mL. Para la formulación MPG no se observó diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los valores promedio del área de las películas formadas con los tres distintos volúmenes. En el caso de las películas de quitosano, se observó la misma tendencia que con las películas MAG, es decir, las películas con 40 y 50 mL de solución formadora no presentaron diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre sus valores de área, mientras que el área para las películas con 60 mL fue la mayor. En el trabajo de investigación realizado por Guzmán (2003) se reporta que las películas hechas a base de quitosano con aceite de oliva como plastificante obtuvieron una mayor área bajo la curva comparadas con las elaboradas con otros plastificantes como el ácido láurico y mirístico. En la presente investigación, la combinación del quitosano y aceite de oliva generaron películas que requirieron un mayor trabajo para romperse que las obtenidas con las formulaciones a base de mucílago de nopal. Se requiere de mayor investigación para definir específicamente el efecto de cada uno de los elementos que forma parte de las formulaciones propuestas a base de mucílago de nopal.

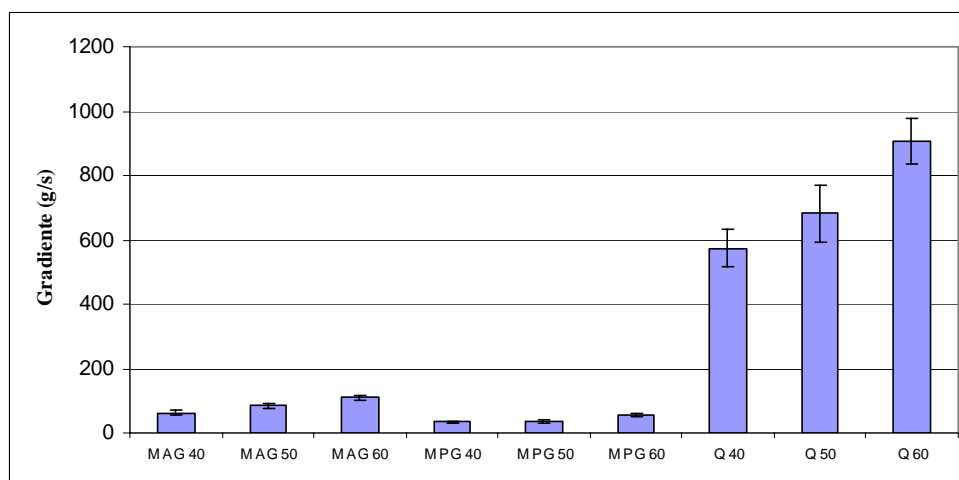


**Figura 29.** Valores promedio para el área de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).

#### 6.3.2.4. Gradiente

El gradiente (pendiente) indica dureza o suavidad en la evaluación de las películas durante la prueba de penetración. Las películas de quitosano muestran valores del gradiente significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) y superiores a los de las películas hechas a base de mucílago de nopal (Tabla 5). No se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre todas las películas de las dos formulaciones de mucílago de nopal (Apéndice G). Sólo en el caso de las películas de quitosano se observa que a menor espesor, se presenta menor gradiente, es decir, mayor suavidad. (Figura 30).

En el presente estudio se observa el comportamiento reportado por Rotzinger (2002) y Guzmán (2003), quienes confirman que al aumentar la concentración del plastificante, disminuye el valor del gradiente, es decir, la película se suaviza. Como se mencionó anteriormente, las formulaciones a base de mucílago de nopal contienen mayor cantidad de plastificante que las elaboradas a base de quitosano.



**Figura 30.** Valores promedio para el gradiente de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).

#### 6.3.3. Propiedades de transporte

##### 6.3.3.1. Velocidad de transmisión al vapor de agua (VTVA) y permeabilidad ( $k/x$ )

Una de las propiedades más importantes de una película comestible es su permeabilidad al vapor de agua. En la tabla 6 se muestran los valores promedio para la velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA) y permeabilidad  $k/x$  de las películas evaluadas

en este trabajo, mientras que en el Apéndice H se encuentran todos los datos experimentales de VTVA y permeabilidad  $k/x$  de las películas de mucílago de nopal (MPG y MAG) y quitosano (Q).

Se puede observar la misma tendencia en los valores promedio para la velocidad de transferencia al vapor de agua (VTVA) de las tres distintas películas en cada formulación, es decir a menor espesor, mayor VTVA. Sin embargo, al realizar el ANOVA y la prueba de Tukey (Apéndice I) se determinó que no hay diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los valores de VTVA para las películas MAG y Q con distinto espesor. En las películas MPG no hay diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los valores de VTVA para las películas hechas con 60 y 50 mL de solución formadora, lo mismo que entre las de 50 y 40 mL. Las películas MPG 60 y MPG 50 tienen valores de VTVA comparables con los de las películas de quitosano formadas con los tres distintos volúmenes de solución.

**Tabla 6.** Valores para la velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA) y Permeabilidad  $k/x$  de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MPG y MAG) y quitosano (Q).

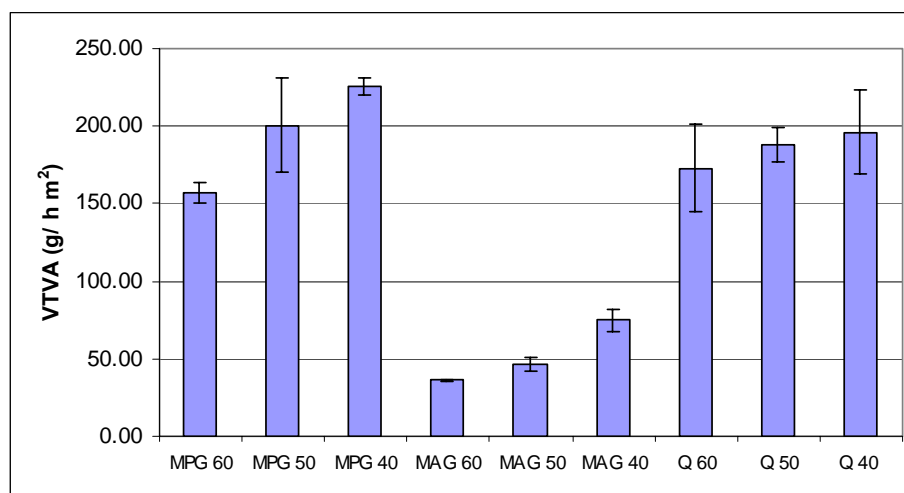
<b>Película</b>	<b>VTVA (g/ m<sup>2</sup> h)</b>	<b>Permeabilidad <math>k/x</math> (g/m<sup>2</sup> h mmHg)</b>	<b>Espesor (μm)</b>
<b>MPG 60</b>	156.69±6.66 <sup>b</sup>	8.79±0.37	177.3 ± 19.0
<b>MPG 50</b>	200.63±30.53 <sup>bc</sup>	11.25±1.71	133.2 ± 16.8
<b>MPG 40</b>	225.25±5.57 <sup>c</sup>	12.64±0.31	106.3 ± 0.0
<b>MAG 60</b>	36.02±0.56 <sup>a</sup>	2.02±0.03	167.9 ± 11.2
<b>MAG 50</b>	46.42±4.21 <sup>a</sup>	2.60±0.24	122.0 ± 10.0
<b>MAG 40</b>	75.09±7.12 <sup>a</sup>	4.21±0.40	94.0 ± 0.0
<b>Q 60</b>	173.02±27.99 <sup>b</sup>	9.71±1.57	46.7 ± 2.0
<b>Q 50</b>	188.09±10.9 <sup>bc</sup>	10.56±0.61	33.1 ± 2.2
<b>Q 40</b>	196.29±27.43 <sup>bc</sup>	11.02±1.54	30.2 ± 0.9

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los valores de VTVA de las películas obtenidas con las diferentes formulaciones ( $p<0.05$ ).

En la investigación realizada por Guzmán (2003) sobre películas a base de quitosano con diferentes plastificantes y concentraciones de estos, concluye que las películas elaboradas con aceite de oliva como plastificante presentan los valores más altos de VTVA. Las películas de quitosano (Figura 31) en la presente investigación también mostraron valores de VTVA altos, que en magnitud son comparables a los de la



formulación MPG, es decir, el polietilenglicol con el glicerol mezclados con el mucílago de nopal generan una película parecida en sus propiedades de barrera al vapor de agua a la de quitosano con aceite de oliva como plastificante. En general, los polisacáridos generan películas que no son buena barrera al vapor de agua, debido a su naturaleza hidrofílica (Krochta *et al.*, 1994). Sin embargo, esta característica permite el movimiento del vapor de agua a través de la película, previniendo la condensación de agua, que puede ser una fuente potencial para el deterioro microbiano en frutas y vegetales. Cabe mencionar que si las películas comestibles se elaboran a base de polisacáridos puros, sin la adición de plastificantes, tienden a presentar velocidades de transferencia al vapor de agua más bajas que la mayoría de las películas hechas a base de proteína, por ejemplo. La adición de lípidos en las formulaciones de las películas hechas a base de polisacáridos las hace excelentes barreras al vapor de agua (Habig y Krochta, 1994). Lo anterior se observó en las películas hechas a base de mucílago de nopal con aceite de oliva y glicerol como plastificantes, quienes presentaron los valores más bajos de VTVA. Este comportamiento es parecido al reportado por Nelson y Fennema (1991), quienes probaron que existe una disminución en la permeabilidad al vapor de agua en películas hechas a base de celulosa con el incremento de la concentración de la fracción lipídica en la formulación. En esta investigación, las películas MAG contienen un mayor % de aceite de oliva (1%) que las elaboradas con quitosano (0.6%).



**Figura 31.** Velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA) para las películas hechas a base de mucílago de nopal (MPG y MAG) y quitosano (Q).

Park *et al.* (1994) reportan que las películas con mayor flexibilidad tienen una mayor permeabilidad al vapor de agua para el caso de formulaciones hechas a base de celulosa (metilcelulosa o hidroxipropil celulosa) con polietilenglicol como plastificante. Ese mismo comportamiento se observa en las películas MPG elaboradas en el presente estudio, ya que fueron las más elásticas y mostraron valores altos de VTVA.

Gontard *et al.* (1994) reportaron que el ácido oléico con C<sub>18</sub> usado como plastificante en películas hechas a base de gluten de trigo, disminuyó la permeabilidad al vapor de agua de las películas debido a su grupo carboxil, que es poco hidrofílico, además de que este ácido tiene un cierto grado de movilidad por su doble enlace. Por lo anterior, se reduce la densidad de la red o estructura que forma y es así como mejora las propiedades de barrera a la humedad. Ellos afirman que las características del componente lipídico usado en la formulación de una película comestible, particularmente hidrofobicidad, punto de fusión y grado de insaturación, determinan en gran medida, la permeabilidad al vapor de agua de una película compuesta. Además, el tipo de plastificante podría aumentar o disminuir la permeabilidad al vapor de agua, dependiendo de su concentración.

#### 6.3.3.2. Permeabilidad a gases: O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

La mayoría de las investigaciones sobre películas comestibles incluyen la determinación de permeabilidades a gases, especialmente oxígeno y dióxido de carbono, ya que estas propiedades están relacionadas con las velocidades de oxidación y respiración de los alimentos en los que se aplican. Sin embargo, es muy difícil comparar los resultados obtenidos de una investigación a otra por la diferencia en las condiciones experimentales como temperatura, espesor de las películas, composición de la película y la humedad relativa.

En el Apéndice J se encuentran las curvas estándar que relacionan el porcentaje de O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> con el área bajo la curva (ABC) obtenida del software integrador conectado al cromatógrafo. A partir de la ecuación de cada una de estas curvas se pudo calcular la concentración del gas en estudio que pasó a través de las diferentes películas comestibles. Con esa información se obtuvo la velocidad de transferencia (ml/cm<sup>2</sup> min) y la permeabilidad (P/x) (ml/m<sup>2</sup> h Pa) del gas a través de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal y quitosano. En la tabla 7 se presentan los valores

de la velocidad de transferencia y permeabilidad al O<sub>2</sub> (P/x) para las diferentes películas evaluadas.

**Tabla 7.** Velocidad de transferencia y permeabilidad al O<sub>2</sub> (k/x) de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).

Película	Espesor (µm)	Velocidad de	
		transferencia al O <sub>2</sub> (ml/cm <sup>2</sup> min)	Permeabilidad al O <sub>2</sub> P/x (ml/m <sup>2</sup> h Pa)
Q 60	48.2±4.9	0.102±0.026	6.051±1.520 <sup>a</sup>
Q 50	36.1±5.4	0.238±0.052	14.072±3.055 <sup>b</sup>
Q 40	30.2±0.4	0.246±0.053	14.551±3.158 <sup>b</sup>
MAG 60	144.0±2.6	0.222±0.018	13.117±1.046 <sup>ab</sup>
MAG 50	114.7±7.5	0.230±0.017	13.616±1.024 <sup>b</sup>
MAG 40	90.7±3.2	0.324±0.049	19.194±2.897 <sup>b</sup>
MPG 60	157.0±2.6	0.310±0.043	18.328±2.564 <sup>b</sup>
MPG 50	129.0±8.9	0.310±0.048	18.381±2.813 <sup>b</sup>
MPG 40	102.0±5.3	0.344±0.052	20.354±3.930 <sup>bc</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las permeabilidades al O<sub>2</sub> para las diferentes películas comestibles (p<0.05)

x-Espesor de la película

Después de realizar un análisis de varianza (Apéndice K) con los datos experimentales de las distintas películas evaluadas, se observa que las películas hechas a base de quitosano con 40 y 50 ml no muestran diferencia significativa (p>0.05) en sus valores de permeabilidad al O<sub>2</sub>. La película Q 60 entre todas las películas evaluadas obtiene en promedio el valor más bajo de permeabilidad al O<sub>2</sub> seguida de la película MAG 60, es decir, las películas más gruesas de las formulaciones MAG y Q resultaron ser mejor barreras al O<sub>2</sub> que el resto de las películas evaluadas. Excluyendo las películas Q 60 y MAG 60, además de la MPG 40, que obtuvo el valor más alto de permeabilidad al O<sub>2</sub>, todas las películas restantes no muestran diferencia significativa (p>0.05) entre sus valores promedio de permeabilidad al O<sub>2</sub>. Las películas de las formulaciones hechas a base de mucílago de nopal presentaron espesores mucho más elevados que las elaboradas a partir de quitosano, con lo cual se esperaría que tuvieran permeabilidades a los gases más bajas, pero esta tendencia no se observa en los datos obtenidos en esta investigación, es decir, son más permeables a este gas.

La formulación MPG muestra los valores más altos de permeabilidad al O<sub>2</sub>, lo cual coincide con el efecto que tuvo el uso del polietilenglicol como plastificante en

películas hechas a base de proteínas en un estudio llevado a cabo por Park y Chinnan (1994). Ellos atribuyen este comportamiento a la flexibilidad que las películas tienen por el uso de este plastificante. En otro estudio con películas hechas a base de gluten de trigo, Park *et al.* (1994) reportan que la permeabilidad al O<sub>2</sub> aumenta al incrementar la relación glicerol/proteína. En la presente investigación, las dos formulaciones hechas a base de mucílago de nopal emplean glicerol como plastificante, lo cual puede estar contribuyendo al valor de permeabilidad a este gas obtenido para cada una de estas películas. Los plastificantes son usados para disminuir las atracciones intermoleculares entre cadenas de polímeros adyacentes, lo que a su vez facilita la penetración de las moléculas de gas a través de la estructura de la película comestible (Kester y Fennema, 1986).

En la tabla 8 se presentan los valores de transferencia y permeabilidad al CO<sub>2</sub> para las diferentes películas evaluadas. En ella se puede observar que no hay diferencia significativa entre los valores de la permeabilidad al CO<sub>2</sub> entre las distintas formulaciones, según el análisis de varianza de los datos (Apéndice K). Las películas de quitosano, la MAG 60 y la MPG 40 muestran los valores más altos de permeabilidad al CO<sub>2</sub>. La película MPG 40 presenta el valor promedio más alto de ellos, es decir, no es una buena barrera al paso del CO<sub>2</sub>.

Las películas de quitosano presentan espesores más bajos que los de las películas hechas a base de mucílago de nopal, por lo que se podrían esperar valores más altos de permeabilidad al CO<sub>2</sub> en estas películas que en otras películas más gruesas. Sin embargo, los valores de permeabilidad de las películas de quitosano son comparables con los de las formulaciones hechas a base de mucílago de nopal, con un espesor mucho más elevado.

Las películas MAG presentaron los valores promedio más bajos de permeabilidad al CO<sub>2</sub> aunque como se mencionó anteriormente no son significativamente diferentes a los que presentaron las otras formulaciones. La película MAG 40 muestra el menor valor para este parámetro, comportamiento que puede ser explicado por la presencia del aceite de oliva en la formulación. Ese valor es seguido por el de la película MAG 50 y la película MAG 60 obtiene el mayor valor de las tres películas de esta formulación. Esta tendencia es contraria a la esperada, es decir, a menor espesor mayor permeabilidad al gas en estudio. Lo cual puede ser explicado por la probable presencia de microperforaciones en las películas, por las cuales a traviesa el gas. Estas perforaciones pueden ser debidas a las burbujas de aire atrapado en la solución formadora de película,

que al momento de secar la película generan pequeños agujeros en ella. Para comprobar la presencia de tales irregularidades en la película, podría ser recomendable realizar observaciones al microscopio.

**Tabla 8.** Velocidad de transferencia y permeabilidad al CO<sub>2</sub> (k/x) de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) y quitosano (Q).

Película	Espesor (µm)	Velocidad de	Permeabilidad al CO <sub>2</sub> P/x
		transferencia al CO <sub>2</sub> (ml/cm <sup>2</sup> min)	(ml/m <sup>2</sup> h Pa)
Q 60	41.7±6.66	0.00085±0.00022	0.050±0.013 <sup>ab</sup>
Q 50	47.3±2.31	0.00088±0.00069	0.052±0.041 <sup>ab</sup>
Q 40	38.0±1.00	0.00092±0.00010	0.054±0.006 <sup>ab</sup>
MAG 60	167.7±10.97	0.00065±0.00004	0.039±0.002 <sup>ab</sup>
MAG 50	122.0±1.00	0.00037±0.00015	0.022±0.009 <sup>a</sup>
MAG 40	94.0±0.00	0.00031±0.00015	0.018±0.003 <sup>a</sup>
MPG 60	177.3±19.03	0.00035±0.00012	0.021±0.007 <sup>a</sup>
MPG 50	133.10±16.85	0.00059±0.00001	0.035±0.001 <sup>ab</sup>
MPG 40	106.10±6.00	0.00114±0.00009	0.068±0.005 <sup>b</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre la permeabilidad al CO<sub>2</sub> de las diferentes formulaciones (p<0.05)

x-Espesor de la película

Cabe mencionar en esta sección, que los valores de las permeabilidades a los gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>) determinados con el método propuesto, mostraron la misma tendencia, aún cuando presentan diferencias en valores absolutos comparados con los de otras investigaciones encontradas en la bibliografía.

#### 6.4 Caracterización de la materia prima

La materia prima fue caracterizada de acuerdo al contenido de sólidos solubles totales (°Bx), acidez titulable (% ácido cítrico), pH, humedad, color y firmeza. En la tabla 9 se encuentran los valores promedio para dichos parámetros.

**Tabla 9.** Caracterización de la fresa (*Fragaria ananassa*) variedad “Festival”.

Parámetro	Valor obtenido	Valor reportado
Contenido sólidos solubles (%p/p)	9.53±0.06	7.5±1.2 <sup>1</sup> ; 9.03±0.057 <sup>2</sup>
pH	3.43±0.02	3.98±0.12 <sup>1</sup>
Humedad (%)	89.40±0.16	90.96±0.057 <sup>2</sup>
Acidez titulable (% p/p)	1.51±0.09	0.87±0.09 <sup>1</sup>
Parámetros de color		
	L	21.37±1.03
	a	6.55±1.41
	b	2.91±0.92
Parámetros de textura		
	Firmeza (gf)	1627.65±573.58
		173.4 <sup>3</sup> ;147.18±27.10 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vargas et al., 2006; <sup>2</sup>López, 2007; <sup>3</sup>Hernández-Muñoz et al., 2006.

Se observan algunas diferencias entre los valores obtenidos durante este trabajo y los reportados en la bibliografía, lo cual se atribuye a la diferencia en la variedad de fresa empleada. Vargas et al. (2006) utilizaron fresa de la variedad “Camarosa” y López (2007) no reporta la variedad empleada, pero sus valores son incluidos, ya que aplicó a fresas, películas comestibles hechas a base de quitosano y sus resultados son de mucho valor para la presente investigación.

El contenido de sólidos solubles, el pH y la humedad son de la misma magnitud. El porcentaje de acidez titulable de la fresa empleada en esta investigación fue mayor que el reportado en la bibliografía, diferencia debida probablemente al distinto grado de madurez de la fruta y su variedad. Entre los parámetros de color, la luminosidad es ligeramente más alta que la reportada, mientras que los parámetros “a” y “b” son menores.

En cuanto a firmeza de la fresa, Hernández-Muñoz *et al.* (2006), quienes emplearon fresa variedad “Camarosa” obtuvieron datos de firmeza comparables a los reportados por López (2007), mientras que los reportados en la presente investigación son superiores. La diferencia puede ser debida al método empleado.

### 6.5 Evaluación de la fresa en almacenamiento

La fresa, como cualquier otra fruta, sigue con su metabolismo activo durante el período postcosecha, caracterizado por una alta tasa de respiración y un rápido proceso de

senescencia. Debido a los cambios biofísicos y bioquímicos normales unidos al ataque fúngico, este fruto sufre un rápido deterioro que reduce su vida útil.

Para el seguimiento de la evolución de los procesos de deterioro pueden evaluarse diversos parámetros indicativos de la frescura del producto, tales como pérdida de peso, firmeza, color externo, acidez, contenido total de sólidos solubles, pH y desarrollo microbiano. En esta investigación se registraron los valores iniciales y finales de pH, porcentaje de acidez titulable, humedad y contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) del período de almacenamiento de 21 días en refrigeración. Los parámetros evaluados a lo largo del período de almacenamiento fueron: pérdida de peso, color externo, textura y desarrollo microbiano, además de una evaluación sensorial.

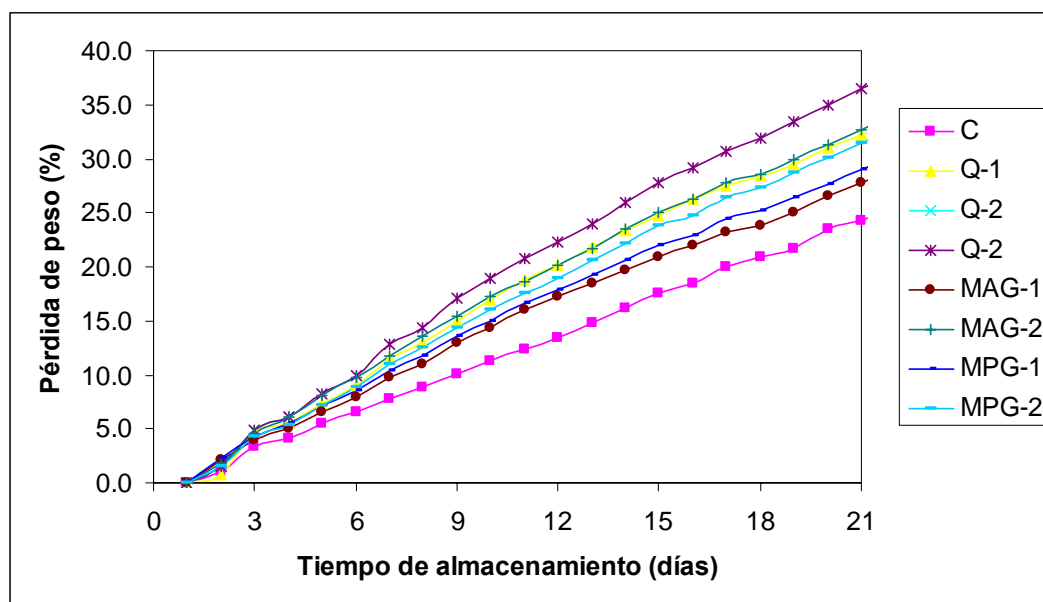
#### 6.5.1 Pérdida de peso

Para esta investigación, la pérdida de peso se expresa como porcentaje de reducción de peso frente al peso inicial del producto. Toda la fruta de los seis tratamientos y el control mostró una pérdida de peso progresiva durante el almacenamiento. La fresa recubierta con las tres formulaciones presentó pérdidas de peso superiores a las del control como se observa en la Figura 32. Al final del período de almacenamiento de 21 días bajo refrigeración a una  $T_{b.s.}$  de  $4.5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{b.h.}$   $3.3^{\circ}\text{C}$  y H.R.  $> 85\%$ , la fruta sin recubrimiento (control) presentó una pérdida total de peso del  $25.5\%$ , seguida de la fruta recubierta con una capa de la formulación MAG, la cual perdió un total de  $28.9\%$  de su peso inicial (Tabla 10). Los demás lotes tuvieron una pérdida de peso total entre  $30.1$  y  $37.9\%$  a los 21 días de almacenamiento. La fresa recubierta con dos capas de la película de quitosano perdió  $48.5\%$  más de peso que la fruta del control. A pesar de parecer altas estas pérdidas de peso son comparables con las reportadas por Almenar (2005), quien obtuvo una pérdida de peso a los 6 días de fresa almacenada a  $10^{\circ}\text{C}$  del  $45\%$ , mientras que a  $3^{\circ}\text{C}$ , la pérdida de peso promedio es del  $25\%$ .

Debido a que no se cuenta con información de replicados, no se puede afirmar basándose en análisis estadísticos si hay o no diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo anterior, sólo se puede decir que los recubrimientos no contribuyeron a frenar la pérdida de peso en la fresa. Las pérdidas de peso totales al final del período de almacenamiento fueron superiores para los lotes recubiertos con dos capas que con solo una de cualquiera de las formulaciones evaluadas. Probablemente el doble período de secado en los lotes recubiertos con dos capas de película comestible

contribuyó a la pérdida de peso durante el almacenamiento, por el daño ocasionado a las células.

La pérdida de peso en frutas y vegetales frescos se debe principalmente a la pérdida de agua, resultado de sus procesos de transpiración y respiración, que en el caso de frutas recubiertas con películas comestibles ocurre generalmente a través de la parte hidrofílica de ésta. Normalmente las películas comestibles hechas a base de polisacáridos son muy permeables al vapor de agua y para contrarrestar esto, se adicionan lípidos. Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas aplicadas a fresas evaluadas en la presente investigación mostraron que las formulaciones MPG y Q no son buenas barreras al vapor de agua, mientras que la formulación MAG mostró valores mucho menores a los obtenidos en las otras dos formulaciones para los tres espesores evaluados. Lo anterior explica porqué el lote de fresa recubierta con una sola capa de la formulación MAG presentó la menor pérdida de peso de todos los lotes. El empleo de aceite de oliva impartió características hidrofóbicas a las películas hechas a base de mucílago de nopal.



**Figura 32.** Pérdida de peso de fresa durante el almacenamiento en refrigeración.

Normalmente la fresa se puede comercializar antes de perder el 10% de su peso inicial, ya que a ese grado de deshidratación, esta fruta no es atractiva al consumidor. De la tabla 10 se puede observar que la fruta sin recubrimiento presenta una pérdida de peso menor al 10% hasta el séptimo día de almacenamiento en las condiciones antes



mencionadas. Todos los demás lotes excepto el recubierto con una capa de la formulación MAG, logran mantener una pérdida de peso por debajo de ese porcentaje hasta el quinto día de almacenamiento. La fruta recubierta con una capa de la película MAG mantiene una pérdida de peso menor al 10% hasta el día 6, sin embargo, este período es menor al alcanzado por la fruta control.

**Tabla 10.** Pérdida de peso (%) de los lotes de fresa recubiertos con una y dos capas de las películas comestibles hechas a base de mucílago de nopal y quitosano.

Día	C	Q 1	Q 2	MAG 1	MAG 2	MPG 1	MPG 2
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	1.1	0.7	1.5	2.2	1.9	2.3	1.6
2	3.3	4.7	4.9	4.0	4.5	4.2	4.2
3	4.1	5.5	6.1	5.1	6.1	5.5	5.4
4	5.5	7.3	8.2	6.6	8.0	7.1	7.2
5	6.5	9.0	<b>10.0</b>	7.9	9.8	8.5	8.8
6	7.7	<b>11.5</b>	12.8	9.8	<b>11.8</b>	<b>10.3</b>	<b>11.0</b>
7	8.9	12.9	14.4	<b>11.0</b>	13.6	11.7	12.4
8	<b>10.1</b>	14.9	17.0	12.9	15.5	13.5	14.4
9	11.3	16.9	19.0	14.4	17.2	14.9	16.1
10	12.4	18.8	20.8	16.0	18.7	16.6	17.6
11	13.4	20.2	22.2	17.2	20.1	17.9	18.9
12	14.8	21.8	24.0	18.4	21.8	19.3	20.7
13	16.2	23.3	25.9	19.7	23.5	20.5	22.1
14	17.6	24.8	27.8	20.9	25.0	21.9	23.9
15	18.5	26.2	29.2	21.9	26.3	23.0	24.8
16	19.9	27.5	30.8	23.1	27.7	24.4	26.4
17	20.9	28.4	31.9	23.8	28.6	25.3	27.4
18	21.7	29.5	33.4	25.0	29.9	26.4	28.8
19	23.5	31.0	35.0	26.5	31.2	27.7	30.0
20	24.3	32.3	36.5	27.7	32.7	29.0	31.5
21	25.5	33.3	37.9	28.9	34.2	30.1	32.8
<b>Pérdida de peso total (%)</b>	<b>25.5</b>	<b>33.3</b>	<b>37.9</b>	<b>28.9</b>	<b>34.2</b>	<b>30.1</b>	<b>32.8</b>

### 6.5.2 pH

Los valores de pH al inicio y al final del almacenamiento en refrigeración de la fresa con una y dos capas de las películas comestibles Q, MAG y MPG se encuentran en la Tabla 11.

Las fresas control presentaron un pH promedio de  $3.43 \pm 0.02$  al inicio del período de almacenamiento. La aplicación de una o dos capas de las tres películas probadas en fresa modificaron el pH de la fruta fresca. Los valores de pH iniciales para las fresas

recubiertas con una y dos capas de la formulación de quitosano se mantuvieron muy parecidos a los de la fruta fresca, ya que el pH de la solución formadora de película fue en promedio de 3.32, ligeramente menor al de la fruta. Este pH es bajo por la concentración de ácido acético (2.5%) presente en la solución, necesaria para disolver el quitosano. En cambio, los lotes de fresa recubierta con una y dos capas de las formulaciones hechas a base de mucílago de nopal obtuvieron pH's iniciales más altos, debido al pH de la solución formadora de película. Para la solución MAG se registró un pH promedio de 4.71, mientras que el pH de la solución MPG fue de 4.73.

Al final del período de almacenamiento, todos los tratamientos mostraron un aumento en su pH respecto al inicial de la fruta sin recubrimiento (control). La fresa recubierta con una capa de película de quitosano presentó el menor aumento en el pH (0.27 unidades) y el mayor incremento se registró en la fruta recubierta con dos capas de la película MPG-2, siendo de 0.56 unidades. Según Holcroft y Kader (1998), los cambios de pH intracelular de la fresa son mayoritariamente debidos a la capacidad tampón de los ácidos orgánicos, por lo que la concentración de CO<sub>2</sub> podría afectar al metabolismo de dichos ácidos y, por ello, influir en los cambios de pH. En su investigación, Han *et al.* (2004) reportaron igualmente un aumento en el pH durante el período de almacenamiento de fresa tanto recubierta con una película de quitosano como sin recubrimiento, hecho que coincide con los datos reportados por otros autores (El Ghaouth *et al.*, 1991 y Garcia *et al.*, 1988), quienes argumentan que un aumento en el pH durante el almacenamiento demuestra la senescencia del producto. La fruta recubierta con una o dos capas de la formulación de quitosano, con dos capas de la formulación MAG y con una capa de la formulación MPG mostraron aumentos menores en pH al presentado por la fruta control, es decir, estos recubrimientos disminuyeron los cambios en pH, retardando la senescencia del producto. Lo anterior es debido a que los recubrimientos antes mencionados formaron una capa semipermeable sobre la superficie de la fruta, que modificó su atmósfera interna.

**Tabla 11.** Valores promedio de pH de las fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.

Tratamiento	pH	
	Valor Inicial	Valor Final
C	3.43±0.02 <sup>a</sup>	3.79±0.06 <sup>ab</sup>
MAG-1	3.88±0.02 <sup>b</sup>	3.85±0.05 <sup>b</sup>
MAG -2	4.20±0.03 <sup>c</sup>	3.74±0.05 <sup>ab</sup>
MPG-1	3.86±0.01 <sup>b</sup>	3.78±0.03 <sup>ab</sup>
MPG-2	3.92±0.01 <sup>b</sup>	3.99±0.02 <sup>c</sup>
Q-1	3.40±0.06 <sup>a</sup>	3.70±0.02 <sup>a</sup>
Q-2	3.36±0.02 <sup>a</sup>	3.74±0.05 <sup>ab</sup>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los valores de pH de las fresas de los distintos lotes ( $p < 0.05$ ).

### 6.5.3 Acidez Titulable

En la tabla 11 se encuentran los valores promedio de los porcentajes de acidez titulable para los lotes de fresa control y recubierta con una o dos capas de las películas comestibles MAG, MPG y Q.

Al inicio del período de almacenamiento, no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los porcentajes de acidez titulable de los lotes recubiertos con una o dos capas de las soluciones formadoras de película, incluyendo el control. Las fresas recubiertas con dos capas de la película MPG presentaron el porcentaje de acidez más bajo, mientras que las recubiertas con dos capas de la película de quitosano, presentaron el valor más alto en promedio para este parámetro. El hecho de que la fruta recubierta con la película de quitosano presente valores más altos está relacionado con la formulación de la película aplicada como se mencionó en la sección de pH, ya que esta contiene un 2.5% de ácido acético y seguramente, afectó el porcentaje de acidez de la fruta.

Después de 21 días de almacenamiento en refrigeración, no se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los porcentajes de acidez titulable para las fresas sin recubrimiento y las recubiertas con una capa de la formulación MAG. Estos dos lotes tienen los porcentajes de acidez más bajos comparados con el resto de los lotes tratados. Los lotes que mostraron los valores de acidez más altos y sin diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre ellos fueron los recubiertos con dos capas de la formulación MAG, una capa de la formulación MPG y con una o dos capas de la película de quitosano.

**Tabla 12.** Valores promedio de acidez titulable (%) de las fresa con (1 y 2 capas) de los recubrimientos comestibles (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.

% Acidez titulable		
Tratamiento	Valor Inicial	Valor Final
C	1.56±0.05 <sup>b</sup>	0.93±0.02 <sup>a</sup>
MAG-1	1.42±0.16 <sup>ab</sup>	1.00±0.051 <sup>ab</sup>
MAG -2	1.51±0.06 <sup>ab</sup>	1.21±0.04 <sup>bc</sup>
MPG-1	1.44±0.01 <sup>ab</sup>	1.34±0.10 <sup>c</sup>
MPG-2	1.31±0.01 <sup>a</sup>	1.13±0.04 <sup>b</sup>
Q-1	1.54±0.16 <sup>b</sup>	1.32±0.07 <sup>c</sup>
Q-2	1.66±0.06 <sup>bc</sup>	1.37±0.01 <sup>c</sup>

Letras diferentes en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas en los valores de acidez titulable de las fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible ( $p < 0.05$ ).

Todos los tratamientos incluyendo el control presentaron una disminución en su acidez después del período de almacenamiento en refrigeración. La disminución de la acidez en la fruta demuestra que el proceso de senescencia se está desarrollando y también se presenta en las fresas recubiertas con las películas comestibles propuestas en esta investigación, elaboradas a base de quitosano y mucílago de nopal. Esta misma tendencia fue observada por El Gaouth *et al.* (1991), quienes también realizaron una investigación sobre fresas recubiertas con una película de quitosano y por García *et al.* (1998), al recubrir fresas con una película elaborada a base de almidón. La aplicación de una o dos capas de la formulación hecha a base de quitosano, dos capas de la formulación MAG o una capa de la formulación MPG hizo que las fresas retuvieran en mayor medida su acidez durante el tiempo de almacenamiento. Este comportamiento probablemente es debido a que la película semi-permeable formada sobre la superficie de la fresa pudo haber modificado la atmósfera interna de la fruta, retardando así la maduración. Si la película hace que disminuya la velocidad de respiración, se retardarán las reacciones enzimáticas que ocurren en la respiración y por lo tanto, el uso de ácidos orgánicos Hernández-Muñoz *et al.* (2006).

#### 6.5.4 Sólidos solubles

El porcentaje promedio de sólidos solubles presentes en la fresa control fue de  $8.2 \pm 0.3$  °Bx, valor que no presentó diferencia significativa con el obtenido para la fruta

recubierta con una capa de cualquiera de las tres formulaciones propuestas en esta investigación al inicio del período de almacenamiento en refrigeración (Tabla 13). Sin embargo, el contenido de sólidos solubles se incrementó en las fresas que recibieron dos capas de las distintas películas. Las fresas recubiertas con dos capas de la formulación de quitosano obtuvieron en promedio  $9.77 \pm 0.25$  °Bx, mientras que con dos capas de las formulaciones elaboradas a base de mucílago de nopal se obtuvieron los valores más altos para este parámetro al inicio del almacenamiento. El aumento registrado fue de aproximadamente 2.5% más en su contenido de sólidos solubles, lo cual era de esperarse, ya que las soluciones formadoras de película hechas a base de mucílago de nopal contienen 4% de mucílago seco, cantidad mucho mayor que el quitosano seco presente en la formulación de quitosano.

**Tabla 13.** Valores promedio de sólidos solubles (%) de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.

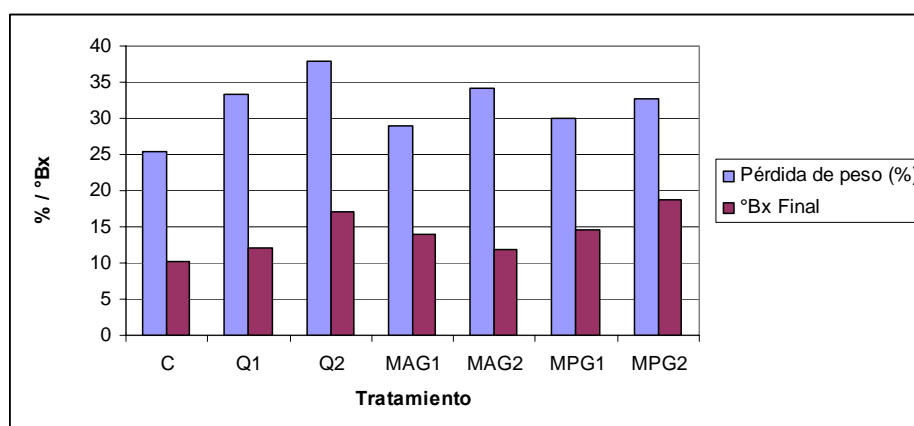
Contenido de sólidos solubles totales (°Bx)		
Tratamiento	Valor Inicial	Valor Final
C	$8.2 \pm 0.3^{a,A}$	$10 \pm 0.0^{a,B}$
MAG-1	$8.5 \pm 0.0^{a,A}$	$14 \pm 0.0^{c,B}$
MAG -2	$10.8 \pm 0.0^{c,A}$	$11.83 \pm 0.76^{b,A}$
MPG-1	$8.5 \pm 0.0^{a,A}$	$14.5 \pm 0.5^{c,B}$
MPG-2	$10.7 \pm 0.2^{c,A}$	$18.83 \pm 0.29^{e,B}$
Q-1	$8.5 \pm 0.0^{a,A}$	$12 \pm 0.0^{b,B}$
Q-2	$9.77 \pm 0.25^{b,A}$	$17 \pm 0.0^{d,B}$

Letras diferentes (a-e) en la misma columna o (A-B) en la misma línea indican diferencias significativas entre el contenido de sólidos solubles totales en las fresas con (1 y 2 capas) o sin recubrimiento comestible ( $p < 0.05$ ).

Al final del período de almacenamiento de 21 días en refrigeración (4.5°C y 85% HR), todos los lotes de fresa, excepto el recubierto con dos capas de la formulación MAG, presentaron un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de sólidos solubles con respecto a su valor inicial. La fresa control mostró el menor contenido de sólidos solubles (10°Bx), seguido del lote de fresas recubiertas con dos capas de la formulación MAG y con una capa de la formulación de quitosano, las cuales no mostraron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre sus valores para este parámetro al final del período de almacenamiento. Las fresas recubiertas con una capa de las dos formulaciones de mucílago de nopal no mostraron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre sus contenidos

de sólidos solubles. Finalmente, los lotes de fruta recubierta con dos capas de la formulación Q y de la MPG mostraron los valores más elevados en el contenido de sólidos solubles. El comportamiento anterior se puede explicar por la pérdida considerable de agua ocurrida durante los 21 días del almacenamiento. En la Figura 33 se puede observar la tendencia de la pérdida de peso total y el contenido de sólidos en las fresas al final del período de almacenamiento.

Vargas *et al.* (2006) en su estudio realizado a fresas recubiertas con una película comestible elaborada a base de quitosano y ácido oléico (1:1), reportaron que no se presentó un cambio significativo en su contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento en refrigeración por 10 días. Cabe mencionar que el método de aplicación de la película es similar al empleado en la presente investigación y su proceso de secado es por convección natural durante 1 hora a 20°C, además de empacar a las fresas en cajas de PET (750 mL) colocando aproximadamente 10 fresas por caja. Dicha información podría ser comparada con la obtenida para el lote de fresa recubierta con una capa de la formulación de quitosano al 1% con aceite de oliva al 0.6%. Sin embargo, este lote mostró un contenido de sólidos solubles después de 21 días de 12 °Bx, que es significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) por dos grados al de la fresa control para ese tiempo. En teoría a mayor concentración de plastificante, mayor sería la permeabilidad al vapor de agua, lo que generaría una mayor pérdida de agua en las fresas recubiertas con la película propuesta por Vargas *et al.* (2006) en un período de 21 días como se realizó en la presente investigación. Es por lo anterior que se debería incluir la evaluación de este parámetro a lo largo del período de almacenamiento, para analizar su comportamiento.



**Figura 33.** Pérdida de peso total (%) y contenido de sólidos solubles (°Bx) al final del período de almacenamiento en refrigeración (4.5°C y 85-90% HR).

### 6.5.5 Humedad

Los valores promedio del porcentaje de humedad para las fresas recubiertas con una o dos capas de las formulaciones de películas comestibles MAG, MPG y Q al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración (4.5°C y 85% HR), se encuentran en la Tabla 14. Al inicio del período de almacenamiento, las fresas de los lotes recubiertos con dos capas de cualquiera de las formulaciones de películas comestibles propuestas presentan valores de contenido de humedad menores a los de los lotes recubiertos con una sola capa o sin recubrimiento, lo que significa que el doble período de secado necesario para las dos capas aplicadas, provocó pérdida de humedad en la fresa.

**Tabla 14.** Valores promedio de humedad de las fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) al inicio y al final del período de almacenamiento en refrigeración.

Tratamiento	Humedad (%)	
	Valor Inicial	Valor Final
C	90.54±0.08 <sup>ab,A</sup>	88.22±0.42 <sup>c,B</sup>
MAG-1	90.25±0.27 <sup>ab,A</sup>	83.95±0.98 <sup>ab,B</sup>
MAG -2	87.77±0.17 <sup>a,A</sup>	84.86±0.32 <sup>b,B</sup>
MPG-1	92.22±3.05 <sup>b,A</sup>	82.63±0.23 <sup>ab,B</sup>
MPG-2	87.83±0.09 <sup>a,A</sup>	80.77±3.26 <sup>ab,B</sup>
Q-1	90.29±0.04 <sup>ab,A</sup>	84.36±0.19 <sup>b,B</sup>
Q-2	88.54±0.12 <sup>a,A</sup>	81.04±0.86 <sup>ab,B</sup>

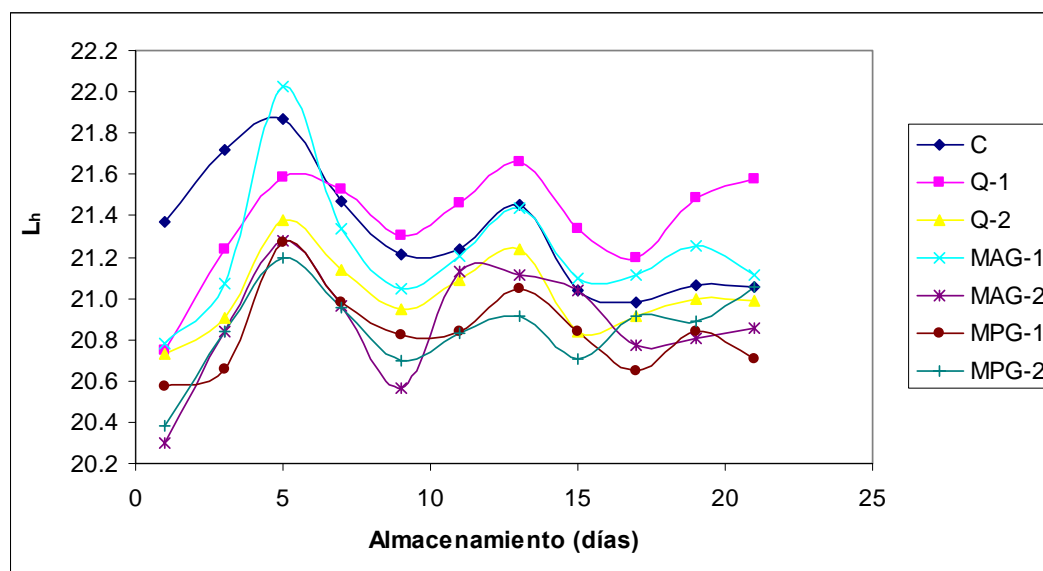
Letras diferentes (a-c) en la misma columna o (A-B) en la misma línea indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad en las fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible ( $p < 0.05$ ).

Todos los lotes presentaron una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en su contenido de humedad después de 21 días de almacenamiento en refrigeración. Como lo reflejan los datos de pérdida de peso total anteriormente presentados, el lote control mantuvo el contenido de humedad más alto al final del período de almacenamiento. Las fresas de los lotes recubiertos con una capa de la formulación MAG, con una y dos capas de la formulación MPG y con dos capas de la formulación de quitosano sufrieron una mayor deshidratación durante el período de almacenamiento. Comparando los tratamientos, se

podría decir que una capa de la formulación de quitosano o dos capas de la formulación MAG resultan ser una mejor barrera para la humedad que el resto de las combinaciones. El comportamiento observado en la fresa recubierta con dos capas de la formulación MAG puede ser explicado por la velocidad de transferencia al vapor de agua (VTVA) que presenta la película en sí, al ser caracterizada. En la sección de permeabilidad de las películas comestibles de la presente investigación, se encuentra reportado que las películas MAG fueron las menos permeables al vapor de agua de todas las caracterizadas, lo cual ayudó a mantener la humedad interna de la fresa durante el almacenamiento.

#### 6.5.6 Color

Los cambios en el color de la fruta fresca son un buen indicador de su maduración. Los valores para los parámetros de color  $L_h$ , saturación (S) y tono (h) de los lotes de fresa con (1 o 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración ( $4.5^{\circ}\text{C}$ ) se encuentran graficados en las Figuras 34, 35 y 36. En el Apéndice L, se muestran los datos del color ( $L_h$ ,  $a_h$  y  $b_h$ ) para los siete lotes de fresas.



**Figura 34.** Luminosidad ( $L_h$ ) de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) a lo largo del almacenamiento en refrigeración.

Los lotes de fresa control, Q-2, MPG-1 y MPG-2 no mostraron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en la luminosidad durante los 21 días de almacenamiento en refrigeración



(Tabla 15). Sin embargo, todos los lotes presentan al menos dos aumentos en la luminosidad seguidos por disminuciones en este parámetro de color a lo largo del período de almacenamiento (Figura 34). La fresa recubierta con una sola capa de la formulación hecha a base de quitisano mostró un valor de luminosidad el quinto día de almacenamiento, que fue significativamente superior y diferente al registrado el primer día. Para este lote, los días 5, 7, 13 y 21 muestran valores de luminosidad superiores significativamente al resto, es decir, las fresas mostraron una luminosidad significativamente mayor al final del período de almacenamiento comparada con su luminosidad inicial ( $p < 0.05$ ) (Tabla 15). Los lotes de fresa recubiertos con una o dos capas de la formulación MAG también muestran un aumento significativo en la luminosidad el día 5, sin embargo, al final del período de almacenamiento, el valor de luminosidad no fue significativamente diferente ( $p > 0.05$ ) al registrado al inicio del almacenamiento.

**Tabla 15.** Luminosidad ( $L_h$ ) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.

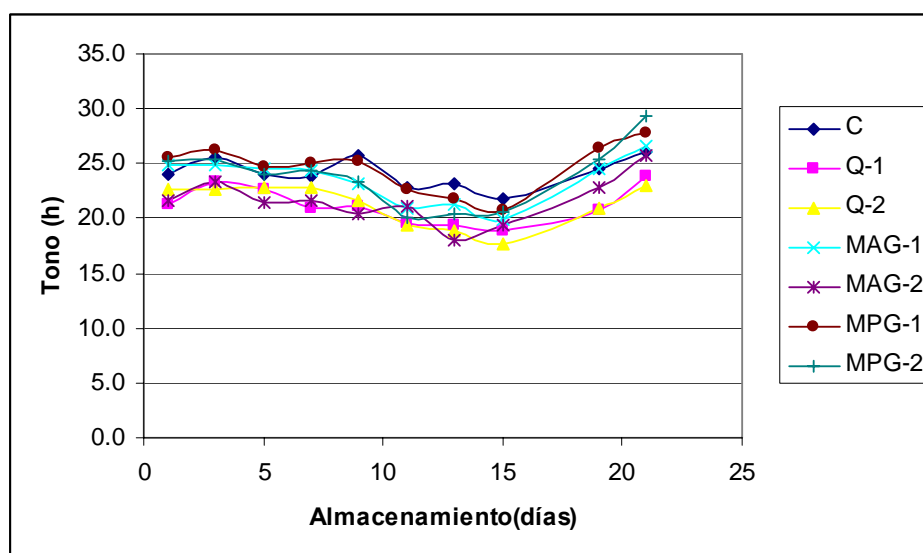
Día	Tratamiento						
	C	Q-1	Q-2	MAG-1	MAG-2	MPG-1	MPG-2
1	21.37±1.03 <sup>a,A</sup>	20.75±0.65 <sup>a,A</sup>	20.73±1.12 <sup>a,A</sup>	20.78±1.02 <sup>a,A</sup>	20.30±0.46 <sup>a,A</sup>	20.57±0.55 <sup>a,A</sup>	20.38±0.70 <sup>a,A</sup>
3	21.72±0.54 <sup>a,B</sup>	21.24±0.76 <sup>ab,AB</sup>	20.91±0.53 <sup>a,A</sup>	21.07±0.51 <sup>a,AB</sup>	20.84±0.40 <sup>ab,A</sup>	20.66±0.63 <sup>a,A</sup>	20.84±0.58 <sup>a,A</sup>
5	21.87±0.76 <sup>a,A</sup>	21.58±0.43 <sup>b,A</sup>	21.38±1.09 <sup>a,A</sup>	22.03±0.75 <sup>b,A</sup>	21.28±0.29 <sup>b,A</sup>	21.27±0.56 <sup>a,A</sup>	21.20±0.53 <sup>a,A</sup>
7	21.47±0.77 <sup>a,A</sup>	21.52±0.51 <sup>b,A</sup>	21.14±0.78 <sup>a,A</sup>	21.33±0.51 <sup>ab,A</sup>	20.96±0.31 <sup>b,A</sup>	20.98±0.59 <sup>a,A</sup>	20.96±0.49 <sup>a,A</sup>
9	21.22±0.67 <sup>a,A</sup>	21.30±0.63 <sup>ab,A</sup>	20.95±0.80 <sup>a,A</sup>	21.05±0.76 <sup>a,A</sup>	20.56±0.40 <sup>ab,A</sup>	20.83±0.52 <sup>a,A</sup>	20.70±0.46 <sup>a,A</sup>
11	21.24±0.57 <sup>a,A</sup>	21.47±0.47 <sup>ab,A</sup>	21.09±0.65 <sup>a,A</sup>	21.21±0.50 <sup>ab,A</sup>	21.13±0.42 <sup>b,A</sup>	20.84±0.43 <sup>a,A</sup>	20.83±0.39 <sup>a,A</sup>
13	21.46±0.51 <sup>a,AB</sup>	21.66±0.45 <sup>b,B</sup>	21.24±0.64 <sup>a,AB</sup>	21.43±0.46 <sup>ab,AB</sup>	21.11±0.38 <sup>b,AB</sup>	21.05±0.42 <sup>a,AB</sup>	20.92±0.43 <sup>a,A</sup>
15	21.04±0.43 <sup>a,A</sup>	21.34±0.34 <sup>ab,A</sup>	20.84±0.76 <sup>a,A</sup>	21.10±0.41 <sup>a,A</sup>	21.04±0.36 <sup>b,A</sup>	20.84±0.57 <sup>a,A</sup>	20.71±0.37 <sup>a,A</sup>
17	20.98±0.47 <sup>a,A</sup>	21.19±0.44 <sup>ab,A</sup>	20.91±0.62 <sup>a,A</sup>	21.12±0.23 <sup>a,A</sup>	20.77±0.62 <sup>ab,A</sup>	20.65±0.39 <sup>a,A</sup>	20.91±0.47 <sup>a,A</sup>
19	21.06±0.31 <sup>a,AB</sup>	21.48±0.46 <sup>ab,B</sup>	20.99±0.67 <sup>a,AB</sup>	21.26±0.19 <sup>ab,AB</sup>	20.81±0.41 <sup>ab,A</sup>	20.84±0.40 <sup>a,A</sup>	20.89±0.40 <sup>a,A</sup>
21	21.05±0.39 <sup>a,AB</sup>	21.57±0.46 <sup>b,B</sup>	20.99±0.58 <sup>a,AB</sup>	21.12±0.26 <sup>a,AB</sup>	20.85±0.48 <sup>ab,A</sup>	20.71±0.36 <sup>a,A</sup>	21.05±0.45 <sup>a,AB</sup>

Letras diferentes (a-b) en la misma columna o (A-B) en la misma línea indican diferencias significativas entre la luminosidad en las fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible ( $p < 0.05$ ).

Haciendo una comparación del parámetro de luminosidad entre los diferentes lotes de fresa con y sin recubrimiento para cada día del período de almacenamiento en que se evaluaron los parámetros de color, se observa que en el día 1 no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en la luminosidad de las fresas entre todos los lotes. Para el día 3, la fruta del lote control presenta una luminosidad significativamente superior ( $p < 0.05$ ) a la de los otros lotes, junto con la fresa del lote Q-1 y MAG-1, sin embargo, los valores

de luminosidad de estos dos lotes no son significativamente diferentes a los del resto. En los días 5, 7, 9 y 11 no se observa diferencia significativa entre la luminosidad de los siete lotes de fresa. Para el día 13, sólo el lote Q-1 muestra una luminosidad promedio significativamente superior ( $p < 0.05$ ) a la luminosidad del resto de los lotes y en el lote MPG-2 se registra el menor valor para este parámetro, mientras que para el resto de los lotes no se observa diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). El día 15 y 17 no se observa diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre la luminosidad de los siete lotes. Para el día 19, es el lote de fresa recubierto con una capa de la formulación de quitosano, el que muestra el mayor valor de luminosidad de todos los lotes, mientras que en los lotes MAG-2, MPG-1 y MPG-2 se observan los menores valores. El último día del almacenamiento en refrigeración, es el lote Q-1 el que muestra el mayor valor de luminosidad comparado contra el resto de los lotes. Ya que la fresa recubierta con una capa de la formulación Q-1 mostró uno de los valores de humedad más altos al final del período de almacenamiento, esto podría explicar porqué fue el lote de fresa que presentó la mayor luminosidad al final del este período. Cuando se presenta una menor pérdida de humedad superficial, los colores se perciben más luminosos.

Los cambios en el tono (h) de la fresa con (1 o 2 capas) y sin recubrimiento comestible se encuentra graficado en la Figura 35, mientras que en la Tabla 16, se encuentran los valores promedio de este parámetro para cada lote de fresa a lo largo del período de almacenamiento.



**Figura 35.** Tono (h) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestibles (Q, MAG y MPG) a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración.

---

---

Revisando el comportamiento del tono (h) en cada uno de los lotes a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración se observó que solamente la fruta control no presentó diferencia significativa en este parámetro, mientras que todos los lotes de fresa recubierta mantuvieron este parámetro estable por unos días, pero posteriormente presentó variaciones. Cabe señalar que todos los lotes mostraron un aumento en el tono(h) al final del período de almacenamiento (después del día 15). Para la fresa recubierta con una capa de la formulación de quitosano, se observó un valor para el tono(h) significativamente superior el día 3, mientras que no hubo diferencia significativa en este parámetro hasta el día 13.

El lote identificado como Q-2 no presentó diferencia significativa en tono (h) hasta el día 13. Después del día 15 se presenta un aumento en el tono (h).

La fruta recubierta con una capa de la formulación MAG fue muy estable en cuanto al tono (h), ya que no hubo diferencia significativa en los valores de este parámetro a lo largo del almacenamiento. Fue el día 15 en donde se registró un tono (h) significativamente menor ( $p<0.05$ ) y al final del período de almacenamiento se presenta un aumento en el valor de este parámetro.

Para el lote de fresa recubierto con dos capas de la formulación MAG, se observó un aumento significativo ( $p<0.05$ ) en el valor del tono (h) el día 3 del almacenamiento, sin embargo, se mantuvo estable hasta el día 13. A igual que con los lotes anteriores, al final del período de almacenamiento se registra un aumento en los valores del tono (h).

El comportamiento del tono (h) en el lote MPG-1 fue similar al MAG-2, mostrando el menor valor para este parámetro el día 15 no el 13 como se observó en los lotes Q-1, Q-2 y MAG-1. Cabe resaltar que en los últimos días del almacenamiento (19 y 21) se observó un incremento significativo ( $p<0.05$ ) en el tono (h) de la fruta.

El día 5 del almacenamiento del lote MPG-2 se observó una disminución significativa en el tono (h). Del día 5 al 15 se mantiene estable, incrementándose significativamente ( $p<0.05$ ) al final del período de almacenamiento.

**Tabla 16.** Tono (h) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.

Día	C	Tratamiento					
		Q-1	Q-2	MAG-1	MAG-2	MPG-1	MPG-2
1	23.96±4.14 <sup>a,A</sup>	21.36±3.26 <sup>ab,A</sup>	22.60±3.46 <sup>b,A</sup>	24.87±5.25 <sup>ab,A</sup>	21.62±2.73 <sup>ab,A</sup>	25.51±3.05 <sup>c,ab,A</sup>	25.19±2.44 <sup>ab,A</sup>
3	25.50±2.73 <sup>a,A</sup>	23.27±2.81 <sup>b,A</sup>	22.71±2.88 <sup>b,A</sup>	24.86±3.15 <sup>ab,A</sup>	23.33±3.67 <sup>b,A</sup>	26.29±2.82 <sup>b,A</sup>	25.44±3.13 <sup>ab,A</sup>
5	24.00±3.52 <sup>a,A</sup>	22.64±2.44 <sup>ab,A</sup>	22.74±2.78 <sup>b,A</sup>	24.47±4.07 <sup>ab,A</sup>	21.51±2.36 <sup>ab,A</sup>	24.67±3.72 <sup>ab,A</sup>	23.99±3.00 <sup>a,A</sup>
7	23.80±2.68 <sup>a,A</sup>	20.87±2.65 <sup>ab,A</sup>	22.74±3.34 <sup>b,A</sup>	24.36±4.49 <sup>ab,A</sup>	21.69±3.52 <sup>ab,A</sup>	25.05±3.04 <sup>ab,A</sup>	24.37±2.61 <sup>a,A</sup>
9	25.68±3.69 <sup>a,B</sup>	21.09±2.49 <sup>ab,AB</sup>	21.61±2.80 <sup>ab,AB</sup>	23.10±4.15 <sup>ab,AB</sup>	20.46±2.81 <sup>ab,A</sup>	25.16±4.39 <sup>ab,AB</sup>	23.31±3.84 <sup>a,AB</sup>
11	22.81±4.26 <sup>a,A</sup>	19.63±1.93 <sup>ab,A</sup>	19.39±3.10 <sup>ab,A</sup>	20.90±4.11 <sup>ab,A</sup>	21.05±2.57 <sup>ab,A</sup>	22.73±4.26 <sup>ab,A</sup>	20.15±2.52 <sup>a,A</sup>
13	23.14±4.14 <sup>a,B</sup>	19.41±2.27 <sup>ab,AB</sup>	18.91±3.43 <sup>ab,AB</sup>	21.26±5.01 <sup>ab,AB</sup>	18.09±2.46 <sup>a,A</sup>	21.87±3.93 <sup>ab,AB</sup>	20.36±3.69 <sup>a,AB</sup>
15	21.78±3.75 <sup>a,A</sup>	18.95±2.17 <sup>a,A</sup>	17.69±3.62 <sup>a,A</sup>	19.89±4.11 <sup>a,A</sup>	19.33±3.22 <sup>ab,A</sup>	20.80±4.38 <sup>a,A</sup>	20.61±3.15 <sup>a,A</sup>
19	24.55±3.67 <sup>a,AB</sup>	20.82±1.81 <sup>ab,A</sup>	20.87±2.42 <sup>ab,A</sup>	24.54±4.06 <sup>ab,AB</sup>	22.80±2.99 <sup>b,AB</sup>	26.45±5.05 <sup>b,B</sup>	25.36±4.67 <sup>ab,AB</sup>
21	26.03±4.32 <sup>a,AB</sup>	23.82±4.52 <sup>b,AB</sup>	22.95±1.88 <sup>b,A</sup>	26.66±5.06 <sup>b,AB</sup>	25.77±3.75 <sup>bc,AB</sup>	27.76±3.24 <sup>b,AB</sup>	29.40±4.33 <sup>b,B</sup>

Letras diferentes (a-c) en la misma columna o (A-B) en la misma línea indican diferencias significativas entre en el tono de las fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible ( $p < 0.05$ ).

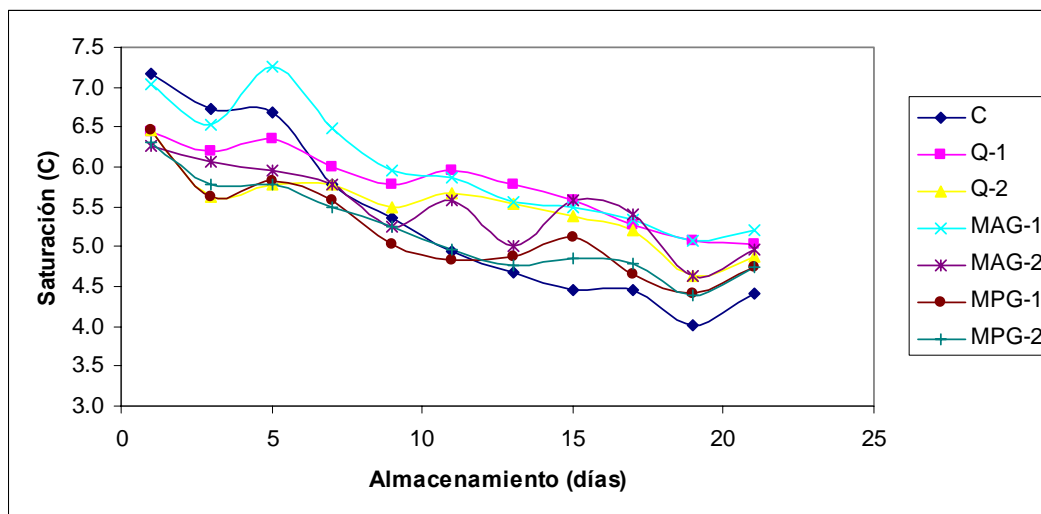
Comparando el tono (h) entre los diferentes lotes en el mismo día de almacenamiento se observó que los días 1 al 7, 11 y 15 no se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) para este parámetro. Los días 9 y 13, la fresa recubierta con dos capas de la formulación MAG presentan el tono más bajo, mientras que en la fresa control se observa el valor más alto de este parámetro. En el resto de los lotes no se observa diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). El día 19, los lotes Q-1 y Q-2 presentan los valores más bajos de tono (h) con un color rojo no tan oscuro como el de las fresas en los otros lotes. El lote MPG-1 muestra el valor promedio más alto para este parámetro de color (color rojo oscuro intenso).

El lote recubierto con dos capas de la formulación de quitosano presentó el menor valor de tono (h), mientras que el lote recubierto con dos capas de la formulación MPG obtuvo el mayor valor para este parámetro al final del período de almacenamiento (día 21).

Durante los primeros 13 a 15 días se mantuvo estable el color de la fresa en todos los lotes, después se observó un incremento en el tono (h) provocado por el incremento en el contenido de antocianinas, pigmentos presentes en la fresa que se sintetizan normalmente en la maduración de la fresa contribuyen al color rojo de la misma.

Los cambios en la saturación (C) de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible se encuentra graficado en la Figura 36, mientras que en la Tabla 17, se

encuentran los valores promedio de este parámetro para cada lote de fresa a lo largo del período de almacenamiento.



**Figura 36.** Saturación (C) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración.

Revisando el comportamiento de la saturación (C) de los siete lotes de fresa a lo largo del período de almacenamiento se observa que en la fresa del lote control, se presenta una disminución significativa de este parámetro a partir del día 11. El lote Q-1 obtiene su valor más alto de saturación (C) el primer día del almacenamiento, a partir del día 3 se observa una ligera disminución que no hace diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con el valor reportado al inicio de este período. El valor de este parámetro se mantiene estable hasta el último día del período de almacenamiento, en el que su valor es significativamente menor ( $p < 0.05$ ) al inicial. El lote Q-2 presenta el mismo comportamiento que el Q-1, sin embargo, el menor valor de saturación (C) y que es significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) al inicial se presenta el día 19. Para el día 21 se registra un valor de saturación (C) similar al observado a lo largo de todo el almacenamiento.

El lote MAG-1 mantiene su saturación (C) estable hasta el día 15, posteriormente se presenta una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) con respecto al valor registrado al inicio del período de almacenamiento.

La fresa del lote MAG-2 presenta el mayor valor de saturación (C) el primer día del almacenamiento, después se mantiene sin diferencias significativas hasta el día 17. Los días 19 y 21 muestra valores de saturación significativamente menores al inicial.

La fresa recubierta con una sola capa de la formulación MPG-1 presenta una saturación inicial superior pero sin diferencias significativas ( $p>0.05$ ) con respecto a la registrada hasta el día 7 del almacenamiento. Posteriormente se observa una disminución significativa ( $p<0.05$ ), manteniéndose con valores similares hasta el final del período de almacenamiento.

El lote MPG-2 muestra valores de saturación (C) sin una diferencia significativa ( $p>0.05$ ) hasta el día 9 del almacenamiento en refrigeración. Posteriormente se detecta una disminución significativa en este parámetro ( $p<0.05$ ).

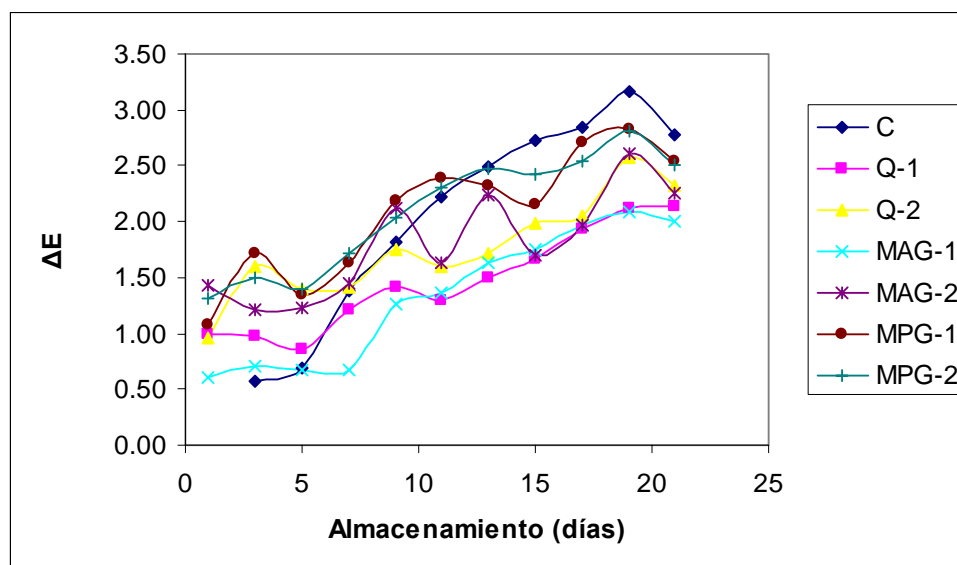
**Tabla 17.** Saturación (C) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.

Día	C	Tratamiento					
		Q-1	Q-2	MAG-1	MAG-2	MPG-1	MPG-2
1	7.16±1.60 <sup>a,A</sup>	6.45±1.04 <sup>b,A</sup>	6.47±1.63 <sup>b,A</sup>	7.04±1.16 <sup>b,A</sup>	6.26±0.83 <sup>c,A</sup>	6.47±1.01 <sup>b,A</sup>	6.32±0.87 <sup>b,A</sup>
3	6.74±1.08 <sup>a,A</sup>	6.20±1.14 <sup>ab,A</sup>	5.63±1.23 <sup>ab,A</sup>	6.53±0.89 <sup>b,A</sup>	6.07±0.55 <sup>bc,A</sup>	5.61±0.98 <sup>ab,A</sup>	5.77±0.99 <sup>ab,A</sup>
5	6.68±1.20 <sup>a,AB</sup>	6.34±1.08 <sup>ab,AB</sup>	5.78±1.38 <sup>ab,A</sup>	7.26±1.01 <sup>bc,B</sup>	5.96±0.63 <sup>bc,AB</sup>	5.82±0.84 <sup>ab,A</sup>	5.78±0.71 <sup>ab,A</sup>
7	5.78±1.32 <sup>ab,A</sup>	6.01±0.84 <sup>ab,A</sup>	5.78±1.24 <sup>ab,A</sup>	6.49±0.84 <sup>b,A</sup>	5.79±0.57 <sup>bc,A</sup>	5.57±0.97 <sup>ab,A</sup>	5.49±0.62 <sup>ab,A</sup>
9	5.36±1.16 <sup>ab,A</sup>	5.78±0.83 <sup>ab,A</sup>	5.49±1.20 <sup>ab,A</sup>	5.95±0.92 <sup>ab,A</sup>	5.24±0.72 <sup>bc,A</sup>	5.04±0.79 <sup>a,A</sup>	5.25±0.60 <sup>ab,A</sup>
11	4.95±1.07 <sup>b,AB</sup>	5.97±0.97 <sup>ab,B</sup>	5.67±1.10 <sup>ab,AB</sup>	5.86±0.74 <sup>ab,AB</sup>	5.59±0.41 <sup>bc,AB</sup>	4.83±0.54 <sup>a,A</sup>	4.96±0.68 <sup>a,AB</sup>
13	4.67±0.93 <sup>b,A</sup>	5.78±0.89 <sup>ab,A</sup>	5.54±0.96 <sup>ab,A</sup>	5.56±0.67 <sup>ab,A</sup>	5.02±0.57 <sup>b,A</sup>	4.87±0.72 <sup>a,A</sup>	4.76±0.91 <sup>a,A</sup>
15	4.46±0.67 <sup>b,A</sup>	5.59±0.93 <sup>ab,A</sup>	5.38±1.20 <sup>ab,A</sup>	5.49±0.65 <sup>ab,A</sup>	5.58±0.80 <sup>bc,A</sup>	5.11±1.14 <sup>a,A</sup>	4.85±0.62 <sup>a,A</sup>
17	4.46±0.86 <sup>b,A</sup>	5.27±0.87 <sup>ab,A</sup>	5.20±1.09 <sup>ab,A</sup>	5.33±0.50 <sup>a,A</sup>	5.40±1.00 <sup>bc,A</sup>	4.66±0.82 <sup>a,A</sup>	4.79±0.78 <sup>a,A</sup>
19	4.01±0.68 <sup>bc,A</sup>	5.08±0.83 <sup>ab,B</sup>	4.64±1.09 <sup>a,AB</sup>	5.08±0.34 <sup>a,B</sup>	4.63±0.82 <sup>ab,AB</sup>	4.40±0.81 <sup>a,AB</sup>	4.39±0.74 <sup>a,AB</sup>
21	4.42±0.70 <sup>b,A</sup>	5.04±0.91 <sup>a,A</sup>	4.87±0.95 <sup>ab,A</sup>	5.20±0.43 <sup>a,A</sup>	4.97±0.99 <sup>ab,A</sup>	4.74±0.74 <sup>a,A</sup>	4.74±0.75 <sup>a,A</sup>

Letras diferentes (a-c) en la misma columna o (A-B) en la misma línea indican diferencias significativas entre en la saturación (C) de las fresas con (1 y 2 capas) o sin recubrimiento comestible(Q, MAG y MPG) ( $p<0.05$ ).

Si se compara el comportamiento de la saturación (C) de las fresas de los siete lotes para el mismo día de almacenamiento se observa que no hay diferencia significativa ( $p<0.05$ ) entre los valores de este parámetro en los días 1, 3, 7, 9, 13, 15, 17 y 21. Para el día 5, el lote MAG-1 presenta el valor más alto en saturación (C), mientras que los lotes Q-2, MPG-1 y MPG-2 obtienen los valores más bajos. El día 11 se observa que las fresas Q-1 tienen el valor de saturación (C) más alto y las MPG-1, el más bajo. Finalmente, es el día 19 donde se observan diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre la saturación (C) de los siete lotes. Para este día, es la fresa control la que muestra los valores de saturación (C) más bajos y las recubiertas con una capa de la formulación de quitosano y de la MAG son las que muestran el valor más alto de saturación.

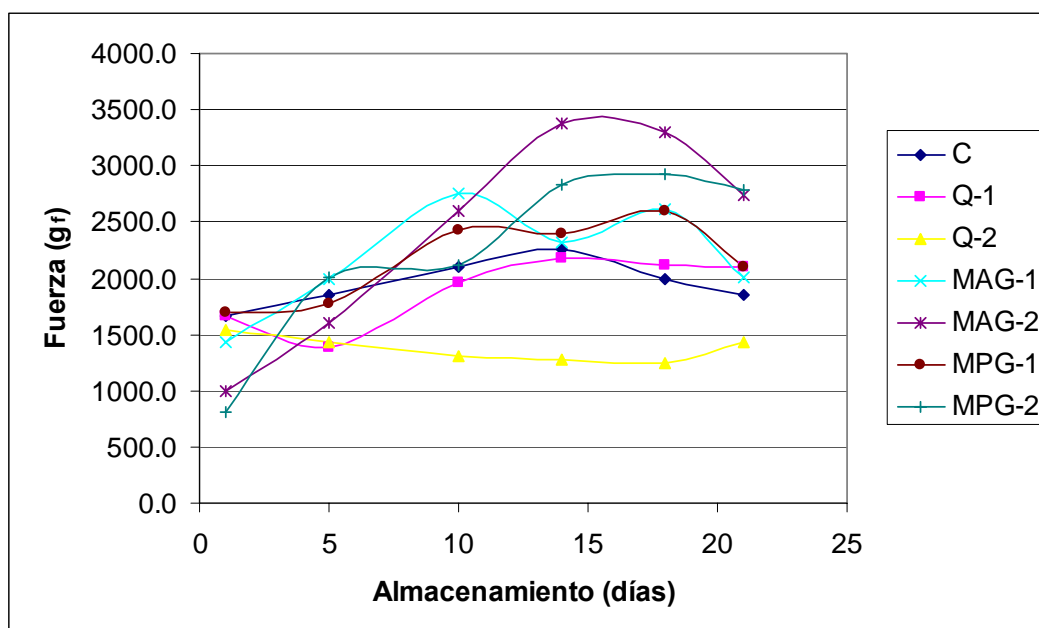
El cambio neto de color ( $\Delta E$ ) se incrementó conforme transcurrieron los días del almacenamiento (Figura 37). Los lotes Q-1 y MAG-1 presentaron los cambios netos en color más bajos de todos los lotes evaluados, mientras que la fruta control presentó el máximo  $\Delta E$  al final del período de almacenamiento. Con esta información y la de los parámetros de color anteriores, se podría decir que la aplicación de una capa de las películas MAG y Q es efectiva para mantener el color de la fresa en las condiciones de almacenamiento empleadas.



**Figura 37.** Cambio neto de color ( $\Delta E$ ) de los lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración.

### 6.5.7 Textura

Uno de los principales factores usados para determinar la calidad de la fruta y su vida postcosecha es la pérdida de firmeza durante el almacenamiento de fruta suave, como es el caso de la fresa (Tanada-Palmu y Grosso, 2005). El ablandamiento de la fruta se atribuye a la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, debido a la acción de enzimas específicas como la poligalacturonasa. En la Figura 38, se muestra el comportamiento de la fuerza promedio necesaria para romper el tejido de la fresa ( $g_f$ ) con (1 o 2 capas) y sin recubrimiento comestible, mientras que en la Tabla 18, se muestran sus valores promedio. En los apéndices N y O se encuentran los ANOVAS y resultados de la Prueba de Tukey realizados.



**Figura 38.** Fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el período de almacenamiento en refrigeración.

Observando cada uno de los lotes de fresa a lo largo del período de almacenamiento se puede decir que los lotes C, Q-1, Q-2 y MPG-1 no mostraron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en la fuerza requerida para romper la fruta comparada con la registrada al inicio de dicho período. Sin embargo en los tres lotes restantes sí hubo variaciones. El lote de fresa recubierto con una capa de la formulación MAG presentó un ligero incremento durante el almacenamiento, sin embargo, disminuyó la fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) al final de este período. El lote MAG-2 mostró un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) el día 10, posteriormente, aumento ligeramente sin mostrar diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) la fuerza de rompimiento hasta finalizar el período de almacenamiento. Finalmente, el lote MPG-2 presentó un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) el día 10 y se mantuvo estable hasta el final.



**Tabla 18.** Fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el período de almacenamiento en refrigeración.

Día	Tratamiento						
	C	Q-1	Q-2	MAG-1	MAG-2	MPG-1	MPG-2
1	1671.6±357.8 <sup>a,C</sup>	1668.6±457.9 <sup>a,C</sup>	1539.3±453.0 <sup>a,BC</sup>	1431.2±342.4 <sup>a,BC</sup>	1000.9±238.6 <sup>a,B</sup>	1688.8±494.8 <sup>a,C</sup>	807.2±190.0 <sup>a,AB</sup>
5	1850.8±456.6 <sup>a,A</sup>	1390.4±451.1 <sup>a,A</sup>	1428.4±376.5 <sup>a,A</sup>	1999.0±793.2 <sup>ab,A</sup>	1610.8±1000.5 <sup>ab,A</sup>	1777.6±837.3 <sup>a,A</sup>	2007.4±879.3 <sup>ab,A</sup>
10	2096.6±497.9 <sup>a,AB</sup>	1960.0±483.2 <sup>a,AB</sup>	1304.7±275.4 <sup>a,A</sup>	2749.5±627.3 <sup>b,B</sup>	2607.0±446.6 <sup>b,B</sup>	2429.7±541.2 <sup>a,B</sup>	2121.3±1077.3 <sup>b,AB</sup>
14	2251.2±497.7 <sup>a,A</sup>	2178.1±952.2 <sup>a,A</sup>	1280.1±405.2 <sup>a,A</sup>	2313.1±430.0 <sup>ab,A</sup>	3379.8±939.4 <sup>bc,AB</sup>	2396.2±725.2 <sup>a,A</sup>	2832.8±959.4 <sup>b,AB</sup>
18	1986.8±447.3 <sup>a,AB</sup>	2113.5±350.3 <sup>a,AB</sup>	1247.6±434.4 <sup>a,A</sup>	2620.9±925.4 <sup>b,BC</sup>	3305.8±279.7 <sup>bc,C</sup>	2592.5±828.2 <sup>a,BC</sup>	2926.4±847.5 <sup>b,BC</sup>
21	1852.1±257.4 <sup>a,A</sup>	2105.8±665.2 <sup>a,AB</sup>	1433.2±433.6 <sup>a,A</sup>	2009.5±578.7 <sup>ab,AB</sup>	2734.3±871.6 <sup>bc,B</sup>	2108.1±265.7 <sup>a,AB</sup>	2786.1±424.9 <sup>b,B</sup>

Letras diferentes (a-c) en la misma columna o (A-C) en la misma línea indican diferencias significativas entre en la fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) de las fresas con (1 y 2 capas) o sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) ( $p < 0.05$ ).

Al inicio del período de almacenamiento, la fresa de los lotes MAG-2 y MPG-2 tenía valores de fuerza de rompimiento significativamente menores ( $p < 0.05$ ) a la fresa de los lotes restantes, lo cual pudo haberse debido al doble período de secado aplicado para secar las dos capas de película comestible, sin embargo, este comportamiento no se observó en el caso de la fresa recubierta con dos capas de la formulación de quitosano, la cual también se expuso a dos períodos de secado.

El día 5 del período de almacenamiento no se registró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los valores de fuerza de rompimiento para las fresas de los distintos lotes.

Para el día 10, la fruta recubierta con dos capas de la formulación de quitosano presentó el menor valor de fuerza de rompimiento ( $g_f$ ), mientras que las fresas de los lotes MAG-1, MAG-2 y MPG-1 presentaron los valores significativamente ( $p < 0.05$ ) más altos.

El día 14 no se observó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los valores de fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) de los siete lotes, sin embargo, la fruta de los lotes MAG-2 y MPG-2 presentaron valores ligeramente mayores.

Para el día 18 nuevamente el lote Q-2 presentaba el menor valor de fuerza de rompimiento ( $g_f$ ), mientras que el lote MAG-2 seguía mostrando el máximo valor para este parámetro de textura.

Finalmente, los lotes C y Q-2 presentaron los menores valores de fuerza de rompimiento ( $g_f$ ) el día 21, mientras que las fresas con dos capas de las formulaciones hechas a base de mucílago de nopal (MAG y MPG) mostraron los valores más altos para este parámetro.

De lo anterior, se puede decir que los recubrimientos aplicados (Q-1, MAG-1, MAG-2, MPG-1 y MPG-2) ayudaron a mantener e incluso a incrementar la fuerza de

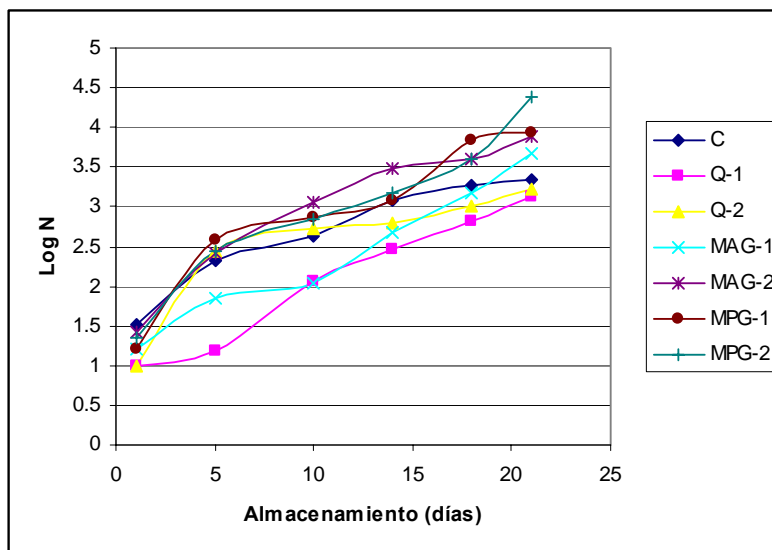
rompimiento ( $g_f$ ) de la fruta durante el período de almacenamiento en refrigeración con respecto a su valor inicial. La misma tendencia fue observada en los trabajos de investigación de Ribeiro et al. (2007), Bhaskara Reddy *et al.* (2000) y El Ghaouth *et al.* (1991). Cabe señalar que la fruta no recubierta también mantuvo su firmeza durante el período de almacenamiento, lo cual pudo haber sido generado en cierta medida por el proceso de desinfección inicial, eliminando la carga microbiana inicial que pudiera afectar la textura en la fruta y por no sufrir el daño por manipulación y secado al aplicar los recubrimientos comestibles.

### 6.5.8 Microbiología

La evaluación del crecimiento de microorganismos sobre la superficie de la fruta puede realizarse a través del cálculo de la velocidad de crecimiento respectivo ( $k$ ), que se determina como la pendiente de la gráfica entre el  $\log N$  y  $t$ , donde  $N$  es el número de UFC/ $g_{\text{fresa}}$  y  $t$  es el tiempo de almacenamiento (días). Este método se aplicó tanto para hongos y levaduras como para mesófilos aerobios, sin embargo, un análisis visual de las cajas de Petri para evaluar mesófilos aerobios, indicó que la mayoría de los microorganismos que crecieron sobre la fresa fueron hongos.

#### 6.5.8.1 Mesófilos aerobios

En la Figura 39 se encuentran graficadas las cuentas de mesófilos ( $\log N$ ) para los siete lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) a lo largo del período de almacenamiento (21 días) en refrigeración ( $4.5^\circ\text{C}$ ).



**Figura 39.** Desarrollo de mesófilos aerobios en fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración.

Al realizar la comparación de las cuentas de UFC de mesófilos aerobios por gramo de fresa de cada uno de los lotes ( $\text{Log UFC/g}_{\text{fresa}}$ ) a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración se observaron aumentos significativos ( $p < 0.05$ ) en las cuentas de estos microorganismos conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento (Tabla 19). Además, se realizó una comparación entre las cuentas de cada uno de los lotes para cada día en que se realizó la evaluación microbiológica (1, 5, 10, 14, 18 y 21). El primer día del almacenamiento, los lotes con las cuentas significativamente más bajas ( $p < 0.05$ ) de mesófilos aerobios fueron los recubiertos con una o dos capas de la formulación de quitosano, mientras que los lotes que contaban con una mayor cantidad de ellos eran los del lote control y del MAG-2. El segundo día evaluado microbiológicamente fue el quinto. Para este día, el lote Q-1 seguía teniendo la menor cantidad de mesófilos aerobios, seguido del lote MAG-1, mientras que el resto de los lotes presentaron cuentas significativamente superiores ( $p < 0.05$ ) a éstas. Para el décimo día, los lotes recubiertos con una capa de las formulaciones Q y MAG presentaron las cuentas de mesófilos aerobios significativamente más bajas ( $p < 0.05$ ), mientras que el lote MAG-2 mostraba por el contrario la mayor cantidad de mesófilos aerobios. Al día 14 nuevamente los lotes Q-1, MAG-1 y Q-2 presentaron las cuentas significativamente más bajas ( $p < 0.05$ ) de mesófilos aerobios entre todos los lotes y el lote MAG-2 las más altas. El día 18, los tres lotes que mostraron las cuentas más bajas de mesófilos aerobios el día anterior evaluado junto con el lote de la fresa control presentaron cuentas más bajas que los otros tres lotes, observando que el lote MPG-1 tiene una cantidad significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) de estos microorganismos. Al final del período de almacenamiento (día 21), el lote control, los recubiertos con una y dos capas de la formulación de quitosano y el recubierto con una capa de la formulación MAG mostraron crecimientos microbianos (mesófilos) significativamente más bajos, seguidos del lote MAG-2. Los lotes recubiertos con una y dos capas de la formulación MPG presentaron el crecimiento microbiano significativamente más alto ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 19.** Efecto de los recubrimientos comestibles (0, 1 y 2) de las formulaciones Q, MAG y MPG en el crecimiento de mesófilos aerobios (Log UFC/g<sub>fresa</sub>) en fresa almacenada durante 21 días en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR)

Día	Log UFC/g <sub>fresa</sub>						
	C	Q-1	Q-2	MAG-1	MAG-2	MPG-1	MPG-2
1	1.51±0.19 <sup>a,B</sup>	1.00±0.00 <sup>a,A</sup>	1.00±0.00 <sup>a,A</sup>	1.20±0.25 <sup>a,AB</sup>	1.43±0.15 <sup>a,B</sup>	1.21±0.24 <sup>a,AB</sup>	1.35±0.38 <sup>a,AB</sup>
5	2.32±0.36 <sup>a,C</sup>	1.18±0.21 <sup>a,A</sup>	2.44±0.23 <sup>b,C</sup>	1.86±0.33 <sup>b,B</sup>	2.41±0.06 <sup>b,C</sup>	2.59±0.16 <sup>b,C</sup>	2.45±0.16 <sup>b,C</sup>
10	2.64±0.85 <sup>ab,AB</sup>	2.05±0.12 <sup>b,A</sup>	2.73±0.54 <sup>b,AB</sup>	2.03±0.34 <sup>b,A</sup>	3.05±0.54 <sup>c,B</sup>	2.87±0.20 <sup>bc,AB</sup>	2.84±0.45 <sup>bc,AB</sup>
14	3.08±0.51 <sup>ab,AB</sup>	2.47±0.30 <sup>bc,A</sup>	2.80±0.28 <sup>b,A</sup>	2.68±0.12 <sup>c,A</sup>	3.48±0.22 <sup>cd,B</sup>	3.08±0.11 <sup>c,AB</sup>	3.17±0.23 <sup>c,AB</sup>
18	3.28±0.31 <sup>b,A</sup>	2.82±0.30 <sup>c,A</sup>	3.00±0.00 <sup>bc,A</sup>	3.18±0.21 <sup>d,A</sup>	3.60±0.45 <sup>cd,AB</sup>	3.85±0.16 <sup>d,B</sup>	3.61±0.25 <sup>c,AB</sup>
21	3.33±0.40 <sup>b,A</sup>	3.12±0.30 <sup>c,A</sup>	3.22±0.34 <sup>bc,A</sup>	3.68±0.11 <sup>e,AB</sup>	3.89±0.30 <sup>d,B</sup>	3.94±0.05 <sup>d,BC</sup>	4.39±0.19 <sup>d,BC</sup>

Letras diferentes (a-d) en la misma columna o (A-C) en la misma línea indican diferencias significativas entre en las cuentas de UFC<sub>mesófilos/g</sub> de las fresas con (1 y 2 capas) o sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) (p<0.05).

En la Tabla 20, se puede observar que la fresa no recubierta mostró la menor velocidad de crecimiento microbiano, seguida de la fresa recubierta con dos capas de la formulación de quitosano. Las fresas de los lotes Q-1, MAG-1 y MAG-2 presentaron velocidades de crecimiento microbiano (mesófilos) similares, mientras que los lotes MPG-1 y MPG-2 obtuvieron valores más altos en la velocidad de crecimiento de mesófilos aerobios.

De los conteos de mesófilos aerobios y de las velocidades de crecimiento ( $k_m$ ) se puede decir, que la aplicación de una o dos capas de los recubrimientos comestibles (Q, MAG y MPG) propuestos en esta investigación no mostraron un beneficio real al final del período de almacenamiento, ya sea de impedir o retardar el crecimiento de mesófilos aerobios en la fresa empleada. Se observó que la aplicación de una y dos capas de la formulación de quitosano y una capa de la formulación MAG mantuvieron a la fresa en condiciones similares a la de la fresa control, sin embargo con dos capas de la formulación MAG y con una o dos capas de la formulación MPG, el crecimiento microbiano fue mayor al final del período de almacenamiento en refrigeración.

**Tabla 20.** Velocidad de crecimiento microbiano para mesófilos aerobios ( $k_m$ ) y coeficiente de correlación ( $R^2$ ) obtenidos para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) almacenadas en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).

Tratamiento	$k_m$	Coefficiente de correlación $R^2$
C	0.0878	0.9260
Q-1	0.1121	0.9823
Q-2	0.0907	0.7652
MAG-1	0.1179	0.9744
MAG-2	0.1152	0.9279
MPG-1	0.1237	0.9045
MPG-2	0.1320	0.9506

Cabe mencionar, que durante los primeros 14 días de almacenamiento el crecimiento microbiano fue menor en los lotes recubiertos con una capa de la formulación de quitosano y de la formulación MAG e incluso con dos capas de la formulación de quitosano, comparado con el crecimiento microbiano en la fresa control. Este comportamiento coincide con investigaciones realizadas por Ribeiro *et al.* (2007), quienes reportan que el crecimiento microbiano más bajo ocurrió al usar un recubrimiento de quitosano al 1% con 0.1mL de Tween 80 como plastificante en una solución de ácido clorhídrico en fresas almacenadas por 7 días en refrigeración (0-5°C y 85-90% HR) comparado con el de otros lotes de fresa recubiertos con formulaciones hechas a base de almidón o de carragenina. Estos investigadores argumentan que este hecho puede atribuirse a las propiedades fungistáticas del quitosano y/o su habilidad de inducir enzimas de defensa (quitinasa y  $\beta$ -1,3-gluconasa). Ese mismo comportamiento ha sido observado por otros investigadores como El Ghaouth *et al.* (1991) y Sanz *et al.* (1999).

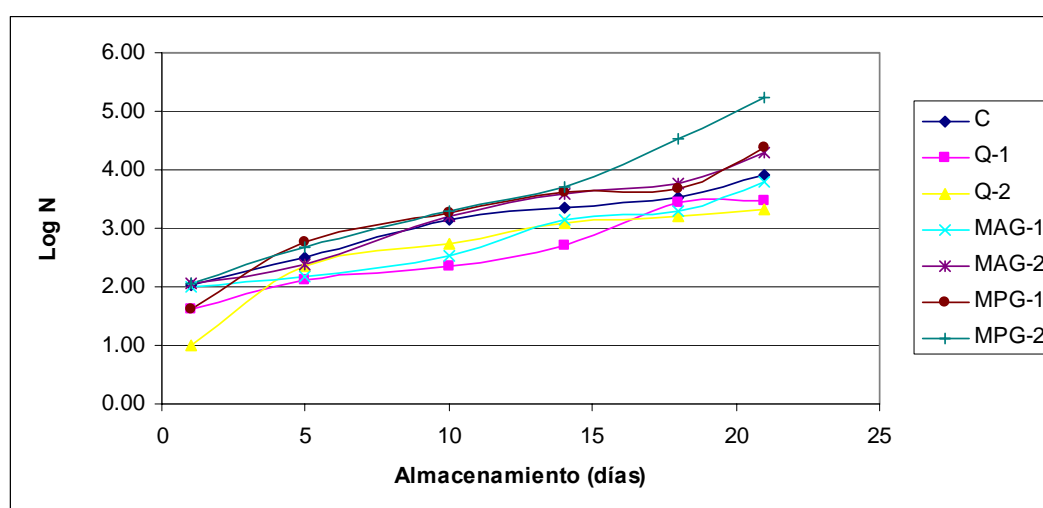
El hecho de que los lotes recubiertos con una y dos capas de la formulación MPG tuvieran cargas microbianas más altas durante el período de almacenamiento pudo ser ocasionado por el secado incompleto del recubrimiento, lo cual proporcionó mejores condiciones para una proliferación más rápida de los microorganismos, pero que de extenderse más el tiempo de secado o aumentarse su temperatura hubiera deshidratado en mayor grado a la fruta.

También se puede observar que la aplicación de una segunda capa del recubrimiento no ofrece beneficios, sino al contrario, al final del período de almacenamiento con las tres

formulaciones es mayor el crecimiento microbiano en los lotes donde se aplicaron 2 capas.

### 6.5.8.2 Hongos y Levaduras

La fresa es una fruta altamente perecedera y su vida útil termina regularmente debido a infección por hongos. En la Figura 40 se encuentran graficadas las cuentas de hongos y levaduras ( $\log N$ ) para los siete lotes de fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) a lo largo del período de almacenamiento (21 días) en refrigeración ( $4.5^{\circ}\text{C}$ , 85-90%HR). Todos los lotes presentaron un aumento en el crecimiento de hongos y levaduras conforme transcurrieron los días en almacenamiento.



**Figura 40.** Crecimiento de hongos y levaduras en fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) durante el almacenamiento en refrigeración ( $4.5^{\circ}\text{C}$ , 85-90%HR).

La Tabla 21 muestra los resultados de los análisis microbiológicos (valores promedio y sus desviaciones estándar) realizados para evaluar el crecimiento de hongos y levaduras en la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible de los propuestos en esta investigación. Comparando el crecimiento microbiano de los siete lotes en los días 1, 5, 10, 14, 18 y 21, se observó que no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en las cuentas de hongos y levaduras de todos los lotes para el primer día de almacenamiento.

Los lotes recubiertos con una y dos capas de la formulación de quitosano y el lote recubierto con una capa de la formulación MAG mostraron las cuentas significativamente más bajas ( $p < 0.05$ ) en el quinto día de almacenamiento. Para ese día, los lotes recubiertos con una y dos capas de la formulación MPG presentaron el mayor crecimiento microbiano significativo ( $p < 0.05$ ).

Para el día 10 del almacenamiento, el lote Q-1 presentó el menor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de hongos y levaduras, mientras que los lotes C, MAG-2, MPG-1 y MPG-2 mostraron el mayor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de estos microorganismos.

Nuevamente el día 14 fue el lote Q-1, el que presentó el menor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de hongos y levaduras y los lotes MAG-2, MPG-1 y MPG-2 los que presentaron el mayor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ).

Para el día 18 los lotes Q-1, Q-2 y MAG-1 mostraron el menor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de hongos y levaduras, mientras que el lote MPG-2 obtuvo el mayor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de estos microorganismos.

Al final del período de almacenamiento de 21 días fueron los lotes recubiertos con una y dos capas de la formulación de quitosano los que presentaron el menor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de hongos y levaduras, seguidos por el lote control y el lote MAG-1, los cuales no mostraron diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre sus cuentas de hongos y levaduras. Los lotes MAG-2 y MPG-1 tuvieron mayor crecimiento de hongos y levaduras que los lotes anteriores, sin diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre ellos, mientras que el lote MPG-2 mostró el mayor crecimiento significativo ( $p<0.05$ ) de hongos y levaduras.

**Tabla 21.** Efecto de los recubrimientos comestibles (0, 1 y 2) de las formulaciones Q, MAG y MPG en el crecimiento de hongos y levaduras (Log UFC/g<sub>fresa</sub>) de fresa almacenada durante 21 días en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).

Día	Log UFC/g <sub>fresa</sub>						
	C	Q-1	Q-2	MAG-1	MAG-2	MPG-1	MPG-2
1	2.02±0.24 <sup>a,B</sup>	1.61±0.30 <sup>a,B</sup>	1.00±0.00 <sup>a,A</sup>	2.00±0.00 <sup>a,B</sup>	2.07±0.22 <sup>a,B</sup>	1.62±0.48 <sup>a,B</sup>	2.07±0.21 <sup>a,B</sup>
5	2.51±0.30 <sup>b,AB</sup>	2.13±0.21 <sup>b,A</sup>	2.34±0.19 <sup>b,A</sup>	2.17±0.23 <sup>a,A</sup>	2.39±0.11 <sup>a,AB</sup>	2.77±0.15 <sup>b,B</sup>	2.68±0.09 <sup>b,B</sup>
10	3.16±0.03 <sup>c,B</sup>	2.36±0.12 <sup>b,A</sup>	2.73±0.50 <sup>b,AB</sup>	2.54±0.10 <sup>b,AB</sup>	3.2±0.75 <sup>b,B</sup>	3.26±0.08 <sup>bc,B</sup>	3.30±0.07 <sup>c,B</sup>
14	3.34±0.18 <sup>cd,B</sup>	2.70±0.06 <sup>bc,A</sup>	3.10±0.11 <sup>bc,B</sup>	3.14±0.03 <sup>c,B</sup>	3.58±0.16 <sup>b,C</sup>	3.63±0.15 <sup>c,C</sup>	3.72±0.12 <sup>d,C</sup>
18	3.54±0.16 <sup>d,AB</sup>	3.45±0.23 <sup>d,A</sup>	3.20±0.31 <sup>bc,A</sup>	3.29±0.14 <sup>c,A</sup>	3.77±0.36 <sup>bc,AB</sup>	3.68±0.46 <sup>c,AB</sup>	4.54±0.17 <sup>e,B</sup>
21	3.92±0.19 <sup>e,B</sup>	3.46±0.20 <sup>d,A</sup>	3.33±0.28 <sup>c,A</sup>	3.78±0.08 <sup>d,B</sup>	4.28±0.13 <sup>c,C</sup>	4.38±0.12 <sup>d,C</sup>	5.24±0.08 <sup>f,D</sup>

Letras diferentes (a-f) en la misma columna o (A-D) en la misma línea indican diferencias significativas entre las cuentas de UFC<sub>hongos y levaduras</sub>/g de las fresas con o sin recubrimiento (s) comestible(s) (Q, MAG y MPG) ( $p<0.05$ ).

En la Tabla 21, se puede observar que la fresa no recubierta y la cubierta con una capa de la formulación MAG mostraron las velocidades de crecimiento de hongos y levaduras más bajas, seguidas de las velocidades de crecimiento de hongos y levaduras

obtenidas de la fresa recubierta con una y dos capas de la formulación de quitosano y la fresa con dos capas de la formulación MAG, lotes que presentaron valores similares entre sí. Las fresas de los lotes MPG-1 mostraron una mayor velocidad de crecimiento de hongos y levaduras con respecto a las anteriores, mientras que las fresas del lote MPG-2 obtuvieron la mayor velocidad de crecimiento de estos microorganismos.

De los conteos de hongos y levaduras y de las velocidades de crecimiento ( $k_{HvL}$ ) (Tabla 22) se puede decir, que la aplicación de una o dos capas de la formulación de quitosano propuesta en esta investigación mostró un beneficio real al final del período de almacenamiento, ya que el crecimiento de hongos y levaduras fue menor al del lote control. Se observó también que con la aplicación de una capa de la formulación MAG se obtiene la menor velocidad de crecimiento de hongos y levaduras en fresas, sin embargo, al final del período de almacenamiento la cuenta de hongos y levaduras es similar a la del control. Las películas MAG obtuvieron los menores valores de VTVA, por lo que no permiten el paso de humedad fácilmente y esto ayuda a que no exista agua disponible que favorezca las condiciones para el crecimiento de hongos y levaduras.

**Tabla 22.** Velocidad de crecimiento microbiano para hongos y levaduras ( $k_{HvL}$ ) y coeficiente de correlación ( $R^2$ ) obtenidos para fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) almacenadas en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).

Tratamiento	$k_{HvL}$	Coefficiente de correlación $R^2$
C	0.0897	0.9686
Q-1	0.0946	0.9619
Q-2	0.1035	0.8306
MAG-1	0.0895	0.9693
MAG-2	0.1092	0.9808
MPG-1	0.1182	0.9138
MPG-2	0.1516	0.9822

En un estudio realizado por Vargas *et al.* (2006) sobre fresas recubiertas con formulaciones hechas a base de quitosano al 1% y diferentes concentraciones de ácido oléico (0, 1, 2 y 4%) almacenadas en refrigeración (4±1°C) se reporta que todos los recubrimientos retrasaron la aparición de infección fúngica en comparación con las fresas no recubiertas, en las que el decaimiento empezó desde el principio del almacenamiento. Al final del almacenamiento, el porcentaje de fresas recubiertas



infectadas fue menor al 50%, mientras que todas las muestras no recubiertas mostraron signos de decaimiento por hongos. Estos resultados están de acuerdo con aquellos observados por otros autores que han recubierto fresas con quitosano (El Ghaouth *et al.*, 1991; Zhang y Quantick, 1998; Han *et al.*, 2004) y otras frutas como la pera japonesa, el durazno, kivi y uva (Vargas *et al.*, 2006; Romanazzi *et al.*, 2002). En las muestras de Vargas *et al.* (2006) que fueron recubiertas con las formulaciones que contenían ácido oléico se observaron menos signos de infección por hongos durante el almacenamiento en refrigeración, especialmente las que contenían 2 y 4% de este ácido. Ellos sugieren que esta concentración de ácido oléico podría aumentar las propiedades antimicrobianas del quitosano. De hecho, el ácido oléico es un agente fungistático contra un amplio espectro de hongos y levaduras a pH bajos (Vargas *et al.*, 2006). Lo anterior coincide hasta cierto punto con el comportamiento de lotes recubiertos con una y dos capas de la formulación de quitosano empleada en la presente investigación pues contiene 0.6% de aceite de oliva, y mantuvieron el crecimiento de hongos y levaduras por debajo del observado en el lote control. El desempeño de la formulación MAG en retardar el crecimiento microbiano fue mejor que el de la formulación MPG, lo cual podría ser explicado por las propiedades del aceite de oliva (1%) presente en dicho recubrimiento. En una investigación realizada por Han *et al.* (2004) con dos variedades de fresas (Driscoll y Puget Reliance) recubiertas con tres formulaciones a base de quitosano al 2% (Q; Q-5%GC, Gluconal CAL: mezcla de lactato de calcio y gluconato de calcio; Q-0.2% VE: Vitamina E) reportaron que las fresas recubiertas con la formulación que contenía Vitamina E mostraron el menor crecimiento microbiano. Dicho comportamiento lo explicaron argumentando que la vitamina E selló la superficie de la fruta, mientras que la sal de calcio (humectante) de la segunda formulación, absorbe y retiene humedad, lo que hace que la superficie de las fresas sea más húmeda y favorezca el crecimiento de hongos.

La aplicación de dos capas de la formulación MAG o una/dos capa(s) de la formulación MPG contribuyeron a mantener mejores condiciones para un mayor crecimiento de hongos y levaduras en la fresa empleada durante esta investigación. Lo anterior pudo haber sido ocasionado por un secado incompleto de las capas de recubrimiento, lo cual favoreció al crecimiento microbiano desde el inicio del período de almacenamiento, además de que en la caracterización de las películas, las elaboradas a base de la formulación MPG mostraron los valores más altos de velocidad de transferencia al vapor de agua (VTVA). Es decir, las películas MPG son las barreras más pobres al paso

---

---

del agua, permitiendo una mayor salida de humedad que mejora las condiciones para que se favorezca el crecimiento microbiano.

Tanada-Palmu y Grosso (2005) mencionan que las películas y recubrimientos comestibles pueden reducir el decaimiento al retrasar la senescencia, la cual hace que el producto sea más vulnerable a la infección de microorganismos patógenos como un resultado de la pérdida de integridad celular o del tejido. Hay muchos casos donde los recubrimientos pueden de hecho incrementar el decaimiento del producto, tal como en el caso de que la carga de esporas en la fruta proveniente del terreno de cultivo sea alta o se tengan malas condiciones sanitarias al momento del proceso de empaclado. Además, hay casos en donde el recubrimiento puede ser tan restrictivo al intercambio de gases que puede inducir desórdenes fisiológicos en la superficie, posiblemente por inducir fermentación y acumulación de metabolitos tóxicos. Esta situación puede conducir a muerte celular del tejido e incremento de la incidencia de decaimiento.

En cuanto a la Norma Oficial Mexicana-093-SSA1-1994, esta señala en la sección dedicada a las especificaciones sanitarias relacionadas con la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos que las ensaladas verdes, crudas o preparadas con frutas no deben exceder una cuenta total de mesófilos aerobios de 150,000 UFC/g y <3 NMP/g conformes fecales. Tomando en cuenta lo anterior, las cargas microbianas presentes hasta el día 21 del almacenamiento de los lotes de fresas con y sin recubrimiento(s) comestible(s) estuvieron por debajo del límite máximo permitido, lo que las hizo aptas para el consumo humano. La combinación de la desinfección inicial, la aplicación de la película y el almacenamiento en refrigeración contribuyeron a obtener estos resultados. Si se hubiera empleado otro lote de fresas (cosechado a finales de enero, fin de temporada), ya sea por uno del inicio del período de cosecha o bien de fresa cultivada en invernadero, la carga microbiana inicial hubiera sido menor. Las características de esta planta, particularmente la succulencia de la fresa y los largos períodos de cosecha, proporcionan las condiciones adecuadas para el desarrollo de infecciones fúngicas en la planta y el fruto, que fueron favorecidas por un alto contenido de humedad debido a lluvias (Salinas, 2008). Browne *et al.* (1984) demostró que las fresas obtenidas de la primera cosecha en cada estación tienen una vida de anaquel más larga que la de las cosechas subsecuentes debido a que la primera cosecha es menos susceptible a hongos.

### 6.5.9 Evaluación Sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial de las fresas recubiertas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) realizada a los 3, 6, 9 y 13 días del almacenamiento en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR) se encuentran reportados en la Tabla 23. Los atributos evaluados fueron la apariencia, color, aroma, sabor, textura al tocar, textura al degustar y calidad general.

#### 6.5.9.1 Apariencia

La primera evaluación sensorial se realizó el día 3 del almacenamiento y en ella se observó que la apariencia de las fresas recubiertas con una capa de la formulación de quitosano gustaron más a los panelistas, mientras que las recubiertas con dos capas de la formulación MAG fueron las que menos les agradaron ( $p < 0.05$ ). No hubo diferencia significativa ( $p > 0.5$ ) entre la preferencia de los jueces hacia la apariencia del resto de los lotes. La aplicación de una sola capa de la formulación de quitosano parece beneficiar inmediatamente la apariencia de la fresa, ya que en esta primera evaluación sensorial, la fresa del lote Q-1 tenía un aspecto más brillante.

Para el día 6, no hubo diferencia significativa entre las calificaciones de la apariencia otorgadas por los panelistas a los 7 lotes de fresa.

Para el día 9, la apariencia del lote MAG-1 fue la que más agradó a los jueces, mientras que los lotes MAG-2, MPG-1 y MPG-2 fueron las que menos les agradaron. Entre la calificación para apariencia de la fruta sin recubrimiento, con una y dos capas de la formulación de quitosano no hubo diferencia significativa ( $p > 0.5$ ).

Finalmente, el día 13 se observó el mismo comportamiento que el día 6.

Analizando el nivel de agrado por la apariencia por parte de los panelistas de un mismo lote en las cuatro evaluaciones sensoriales realizadas se observó que no hubo diferencia significativa entre las calificaciones otorgadas por los panelistas para todos los lotes excepto los recubiertos con una y dos capas de la formulación MAG. El lote MAG-1 les gustó significativamente menos a los panelistas el día 3 del almacenamiento, mientras que para el día 9, a los panelistas les agradó más la apariencia de las fresas de ese lote. En cuanto al lote MAG-2, fue el día 6 cuando más les agradó su apariencia a los jueces, mientras que el día 9, los jueces dieron las calificaciones más altas para la apariencia de este lote, es decir, su nivel de agrado fue menor. Entre los niveles de agrado por la apariencia del día 3 y 14 no hubo diferencia significativa ( $p > 0.5$ ).

### 6.5.9.2 Color

Para el día 3, fue el color del lote Q-2 el que más agradó significativamente ( $p < 0.05$ ) a los panelistas, mientras que el MPG-1 fue el que menos les agradó. Entre los otros lotes no se presentó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las calificaciones para color otorgadas por los jueces.

El día 6 los jueces dieron calificaciones similares para el color de todos los lotes.

Para el día 9, el color del lote MAG-1 fue el que significativamente agradó más ( $p < 0.05$ ) a los jueces, seguido de los lotes C, Q-1 y Q-2. El color de lotes MAG-2 y MPG-1 les agradó menos que el de los anteriores a los jueces, mientras que el color del lote MPG-2 fue el que les agradó significativamente menos ( $p < 0.05$ ).

En la última evaluación realizada, fue el color del lote control el que más agrado significativamente ( $p < 0.05$ ) a los panelistas, mientras que el color de los lotes Q-2 y MAG-2 fue el que menos agrado significativamente ( $p < 0.05$ ). El color de estos lotes no les agradó a los jueces porque argumentaron que era demasiado rojo, como el de una fresa sobremadura.

Analizando el nivel de agrado por el color de cada uno de los lotes de fresa en las 4 evaluaciones realizadas, se puede observar que no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las calificaciones que los jueces le dieron en las cuatro sesiones al color del lote control y los recubiertos con una sola capa de cualquiera de las formulaciones, mientras que en los 3 lotes con fresas recubiertas con dos capas de las formulaciones si se presentó diferencia significativa entre las calificaciones para color. Parece ser que la aplicación de una sola capa de cualquiera de las formulaciones propuestas en esta investigación, mantienen el color en el mismo nivel durante al menos 13 días según los jueces y este hecho coincide con el período en el que se mantuvo estable el tono (h) obtenido de las mediciones hechas con el colorímetro.

El color del lote Q-2 agradó significativamente más ( $p < 0.05$ ) el día 3, posteriormente disminuyó el nivel de agrado por el color de ese lote con respecto a la primera evaluación por dos sesiones y finalmente el día 13, su color agradó significativamente menos ( $p < 0.05$ ) a los panelista que el inicial.

El día que agradó significativamente más ( $p < 0.05$ ) a los jueces el color del lote MAG-2 fue el 6 y para el día 13 el nivel de agrado por su color disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ). Este fue el único lote que no recibió la mejor calificación para su color el primer día que se realizó la evaluación sensorial.

El agrado por el color del lote MPG-2 no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las evaluaciones realizadas los días 3, 6 y 14, mientras que el día 9, el color de este lote agradó significativamente menos ( $p < 0.05$ ) a los panelistas.

La aplicación de dos capas parece afectar el color de la fresa, según la percepción de los jueces. La razón de esto puede ser la composición misma de las películas o el doble período de secado necesario que deshidrata la fruta y afecta su color.

### 6.5.9.3 Aroma

Durante la primera evaluación sensorial (día 3) no se detectó diferencia significativa entre el aroma de las fresas de los diferentes lotes. Para el día 6, el aroma de las fresas del lote MAG-1 fue el que agradó significativamente más ( $p < 0.05$ ) a los jueces, seguido del de las fresas de los lotes C, MAG-2, MPG-1 y MPG-2. El aroma de las fresas de los lotes Q-1 y Q-2 fueron los que significativamente agradaron menos ( $p < 0.05$ ) a los jueces. Esto pudo ser causado por el ácido acético (2.5%) contenido en la solución que se utilizó para disolver el quitosano y obtener una solución formadora de película.

Para el día 9, el aroma de las fresas que significativamente agradó más ( $p < 0.05$ ) fue el de los lotes control, MAG-1 y MPG-1, seguidos de los lotes MAG-2 y MPG-2 y finalmente el aroma de fresa que menos agradó significativamente ( $p < 0.05$ ) fue el de las fresas recubiertas con una y dos capas de las formulaciones de quitosano.

Este comportamiento coincide hasta cierto punto con el reportado por Vargas *et al.* (2006), quienes argumentan que las fresas recubiertas con películas de quitosano al 1% y distintos contenidos de ácido oléico fueron considerablemente menos intensos que el de la fresa control. En esta investigación, el aroma de las fresas recubiertas con dos capas de las formulaciones hechas a base de mucílago de nopal agradó menos a los jueces por ser menos intenso o parecido al de una fresa fresca.

Finalmente el día 13, todos los lotes recibieron calificaciones similares para su aroma, excepto el recubierto con dos capas de quitosano, el cual fue el que menos agradó significativamente ( $p < 0.05$ ) a los panelistas.

Comparando el comportamiento de las calificaciones otorgadas por los jueces para el aroma de las fresas de cada uno de los lotes a lo largo de las cuatro evaluaciones sensoriales realizadas se observó que no se presentó diferencia significativa entre dichas calificaciones en todos los lotes excepto los recubiertos con dos capas de las formulaciones MAG y MPG.

---

---

El aroma del lote MAG-2 agradó significativamente más ( $p < 0.05$ ) el día 6 y para el día 13 disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) el nivel de agrado por el aroma de este lote de fresas.

#### 6.5.9.4 Sabor

En cuanto a la evaluación del sabor de las fresas con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG) se observó que en la primera sesión de evaluación sensorial realizada el día 3 del almacenamiento, el sabor que más agradó significativamente ( $p < 0.05$ ) fue el de la fresa control. Todos los demás lotes fueron evaluados con calificaciones similares, excepto el lote recubierto con dos capas de quitosano, el cual fue el que agradó significativamente menos ( $p < 0.05$ ) a los jueces. Lo anterior pudo haberse debido a la composición de la misma capa y la cantidad de recubrimiento aplicado en este lote de fresa. Está reportado (Vargas *et al.*, 2006) que el quitosano muestra atributos astringentes cuando se disuelve en medios acidificados, como resultado de un aumento en los grupos aminoprotonados, lo cual es detectado al degustar la fresa recubierta con este. Deblieguiere *et al.* (2004) detectaron estas propiedades astringentes en evaluaciones sensoriales de fresas recubiertas con quitosano llevadas a cabo el día de la aplicación de la película, donde se ha encontrado un ligero sabor amargo y astringente. En el lote recubierto con una sola capa de la formulación de quitosano, la astringencia de este no fue notoria, probablemente por la cantidad aplicada de recubrimiento.

En las evaluaciones realizada el día 6 y 9 del almacenamiento, no se observó diferencia significativa ( $p > 0.5$ ) entre las calificaciones para sabor otorgadas por los jueces para los siete lotes.

El día 14 fue el sabor del lote MAG-1 el que agradó más significativamente ( $p < 0.05$ ) a los jueces, mientras que el sabor del lote Q-2 fue el que menos les agradó significativamente ( $p < 0.05$ ). El resto de los lotes no presentó diferencia significativa entre los niveles de agrado que los jueces expresaron en cuanto al sabor de las fresas.

**Tabla 23.** Calificaciones promedio de los atributos en la evaluación sensorial para lotes de fresa con y sin recubrimiento(s) comestible(s) (Q, MAG y MPG) almacenados en refrigeración (4.5°C, 85-90%HR).

Parámetro	Lote	Almacenamiento a 4.5°C				Parámetro	Lote	Almacenamiento a 4.5°C			
		Día 3	Día 6	Día 9	Día 13			Día 3	Día 6	Día 9	Día 13
Apariencia	C	2.9 <sup>ab,A</sup>	3.4 <sup>a,A</sup>	3.1 <sup>ab,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	Textura (tocar)	C	1.2 <sup>a,A</sup>	2.2 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>ab,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>
	Q-1	2.4 <sup>a,A</sup>	3.0 <sup>a,A</sup>	3.4 <sup>ab,A</sup>	3.5 <sup>a,A</sup>		Q-1	1.8 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	5.0 <sup>b,A</sup>	3.0 <sup>a,AB</sup>
	Q-2	2.7 <sup>ab,A</sup>	3.1 <sup>a,A</sup>	3.1 <sup>ab,A</sup>	4.0 <sup>a,A</sup>		Q-2	3.2 <sup>a,A</sup>	4.4 <sup>a,A</sup>	3.4 <sup>ab,A</sup>	5.8 <sup>a,A</sup>
	MAG-1	3.6 <sup>ab,B</sup>	3.4 <sup>a,AB</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	3.1 <sup>a,AB</sup>		MAG-1	3.4 <sup>a,A</sup>	3.4 <sup>a,A</sup>	1.4 <sup>a,A</sup>	4.2 <sup>a,A</sup>
	MAG-2	4.0 <sup>b,AB</sup>	2.9 <sup>a,A</sup>	4.4 <sup>b,B</sup>	4.0 <sup>a,AB</sup>		MAG-2	3.2 <sup>a,A</sup>	3.2 <sup>a,A</sup>	3.6 <sup>ab,A</sup>	4.0 <sup>a,A</sup>
	MPG-1	3.4 <sup>ab,A</sup>	3.6 <sup>a,A</sup>	4.4 <sup>b,A</sup>	3.5 <sup>a,A</sup>		MPG-1	3.0 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	4.2 <sup>b,A</sup>	3.6 <sup>a,A</sup>
	MPG-2	3.2 <sup>ab,A</sup>	4.0 <sup>a,A</sup>	4.5 <sup>b,A</sup>	3.7 <sup>a,A</sup>		MPG-2	4.0 <sup>a,A</sup>	3.2 <sup>a,A</sup>	4.8 <sup>b,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>
Color	C	2.6 <sup>ab,A</sup>	2.9 <sup>a,A</sup>	3.0 <sup>ab,A</sup>	2.2 <sup>a,A</sup>	Textura (degustar)	C	1.0 <sup>a,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	2.2 <sup>a,A</sup>
	Q-1	2.4 <sup>ab,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	3.2 <sup>ab,A</sup>	3.3 <sup>ab,A</sup>		Q-1	1.6 <sup>ab,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	4.4 <sup>a,A</sup>	3.4 <sup>a,A</sup>
	Q-2	2.3 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>a,AB</sup>	2.9 <sup>ab,AB</sup>	4.0 <sup>b,B</sup>		Q-2	1.8 <sup>ab,A</sup>	3.4 <sup>a,AB</sup>	3.4 <sup>a,AB</sup>	6.0 <sup>a,B</sup>
	MAG-1	3.1 <sup>ab,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	2.1 <sup>a,A</sup>	3.1 <sup>ab,A</sup>		MAG-1	2.0 <sup>ab,A</sup>	1.8 <sup>a,A</sup>	1.2 <sup>a,A</sup>	3.0 <sup>a,A</sup>
	MAG-2	3.0 <sup>ab,AB</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	4.1 <sup>bc,AB</sup>	4.1 <sup>b,B</sup>		MAG-2	2.6 <sup>b,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	4.0 <sup>a,A</sup>
	MPG-1	3.6 <sup>b,A</sup>	3.2 <sup>a,A</sup>	4.2 <sup>bc,A</sup>	3.1 <sup>ab,A</sup>		MPG-1	2.0 <sup>ab,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	3.8 <sup>a,A</sup>	3.0 <sup>a,A</sup>
	MPG-2	3.3 <sup>ab,A</sup>	2.9 <sup>a,A</sup>	4.8 <sup>c,B</sup>	3.0 <sup>ab,A</sup>		MPG-2	2.0 <sup>ab,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	3.2 <sup>a,A</sup>	4.0 <sup>a,A</sup>
Aroma	C	2.3 <sup>a,A</sup>	1.8 <sup>ab,A</sup>	1.9 <sup>a,A</sup>	1.9 <sup>a,A</sup>	Calidad General	C	1.4 <sup>a,A</sup>	2.2 <sup>a,A</sup>	2.6 <sup>ab,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>
	Q-1	2.4 <sup>a,A</sup>	2.9 <sup>bc,A</sup>	3.8 <sup>b,A</sup>	2.7 <sup>a,A</sup>		Q-1	1.8 <sup>ab,A</sup>	1.8 <sup>a,A</sup>	4.2 <sup>b,B</sup>	3.2 <sup>a,AB</sup>
	Q-2	3.2 <sup>a,A</sup>	3.4 <sup>c,A</sup>	3.7 <sup>b,A</sup>	4.8 <sup>b,A</sup>		Q-2	2.8 <sup>b,A</sup>	3.6 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>ab,A</sup>	3.8 <sup>a,A</sup>
	MAG-1	2.4 <sup>a,A</sup>	1.5 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>		MAG-1	2.4 <sup>ab,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	1.4 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>
	MAG-2	2.1 <sup>a,AB</sup>	1.7 <sup>ab,A</sup>	2.5 <sup>ab,AB</sup>	2.8 <sup>a,B</sup>		MAG-2	2.8 <sup>b,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	2.6 <sup>ab,A</sup>	3.8 <sup>a,A</sup>
	MPG-1	2.5 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>ab,A</sup>	1.9 <sup>a,A</sup>	2.5 <sup>a,A</sup>		MPG-1	2.2 <sup>ab,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	3.6 <sup>ab,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>
	MPG-2	2.3 <sup>a,AB</sup>	1.9 <sup>ab,AB</sup>	2.7 <sup>ab,A</sup>	1.6 <sup>a,B</sup>		MPG-2	2.2 <sup>ab,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	3.6 <sup>ab,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>
Sabor	C	1.0 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>ab,A</sup>		C	1.0 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	2.4 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>ab,A</sup>
	Q-1	1.4 <sup>ab,A</sup>	1.8 <sup>a,A</sup>	4.4 <sup>a,A</sup>	3.0 <sup>ab,A</sup>		Q-1	1.4 <sup>ab,A</sup>	1.8 <sup>a,A</sup>	4.4 <sup>a,A</sup>	3.0 <sup>ab,A</sup>
	Q-2	3.0 <sup>b,A</sup>	3.4 <sup>a,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	4.8 <sup>b,A</sup>		Q-2	3.0 <sup>b,A</sup>	3.4 <sup>a,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	4.8 <sup>b,A</sup>
	MAG-1	2.2 <sup>ab,A</sup>	1.4 <sup>a,A</sup>	1.6 <sup>a,A</sup>	1.6 <sup>a,A</sup>		MAG-1	2.2 <sup>ab,A</sup>	1.4 <sup>a,A</sup>	1.6 <sup>a,A</sup>	1.6 <sup>a,A</sup>
	MAG-2	1.8 <sup>ab,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	3.8 <sup>ab,A</sup>		MAG-2	1.8 <sup>ab,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	2.0 <sup>a,A</sup>	3.8 <sup>ab,A</sup>
	MPG-1	1.4 <sup>ab,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	2.6 <sup>ab,A</sup>		MPG-1	1.4 <sup>ab,A</sup>	2.6 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	2.6 <sup>ab,A</sup>
	MPG-2	1.6 <sup>ab,A</sup>	2.2 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	2.3 <sup>ab,A</sup>		MPG-2	1.6 <sup>ab,A</sup>	2.2 <sup>a,A</sup>	2.8 <sup>a,A</sup>	2.3 <sup>ab,A</sup>

Calificaciones para los atributos—1: me gusta muchísimo, 2: me gusta mucho, ..., 8: me disgusta mucho, 9: me disgusta muchísimo. Letras diferentes (a-c) en la misma columna o (A-B) en la misma línea indican diferencias significativas entre las calificaciones promedio de los atributos en la evaluación sensorial de las fresas con o sin recubrimiento (s) comestible(s) (Q, MAG y MPG) ( $p < 0.05$ ).

---

---

Comparando los niveles de agrado del sabor para las fresas de cada uno de los siete lotes durante las cuatro sesiones de evaluación sensorial, no se observó diferencia significativa entre ellos.

#### 6.5.9.5 Textura al tocar

El nivel de agrado por la textura detectada por el juez al momento de tocar la fruta no presentó diferencia significativa ( $p>0.5$ ) entre los siete lotes en la primera y segunda evaluación sensorial realizada (día 3 y 6). Para el día 9, la textura que más agradó significativamente ( $p<0.05$ ) fue la del lote MAG-1, seguida de la textura de las fresas de los lotes C, Q-2 y MAG-2. La textura que menos agradó fue el de las fresas de los lotes Q-1, MPG-1 y MPG-2. Finalmente, para el día 13 no se detectó diferencia significativa ( $p>0.5$ ) en el nivel de agrado por la textura de las fresas de todos los lotes.

Comparando el nivel de agrado por la textura de las fresas en cada uno de los lotes a lo largo de las 4 evaluaciones sensoriales no se observó diferencia significativa ( $p>0.5$ ), excepto para el lote Q-1, el cual presentó un nivel de agrado menor ( $p<0.05$ ) en la evaluación del día 13 comparado con los obtenidos en las otras evaluaciones anteriores. Los jueces argumentaron que la fresa se sentía muy blanda, sin embargo, un día antes en el análisis de textura a través de la fuerza de rompimiento medida a través del texturómetro, la fresa de este lote presentaba valores de igual magnitud que la fresa control. Fue el lote Q-2 que a partir del día 18 presentó los valores más bajos para este parámetro, no el Q-1.

#### 6.5.9.6 Textura al degustar

La textura al degustar detectada por los jueces el día 3 del almacenamiento que más les agradó fue la de la fruta control, mientras que la que menos les agradó significativamente ( $p<0.05$ ) fue la de las fresas recubiertas con dos capas de la formulación MAG. Entre el resto de los lotes, no se presentó diferencia significativa ( $p>0.5$ ) entre los niveles de agrado de los jueces.

En las evaluaciones sensoriales restantes (día 6, 9 y 13) no se observó diferencia significativa ( $p>0.5$ ) entre los niveles de agrado de los jueces por la textura de las fresas de los siete lotes.

Comparando ahora los niveles de agrado por la textura de la fresa al momento de degustarla por parte de los jueces para cada lote en las cuatro sesiones de evaluación sensorial, no se observó diferencia significativa ( $p>0.5$ ), excepto para el lote Q-2, cuya



textura al degustar agradó significativamente más ( $p < 0.05$ ) el día 3. En las siguientes dos evaluaciones no se observó diferencia significativa ( $p > 0.5$ ) con respecto al nivel de agrado inicial por la textura al degustar y el día 13 sí se observó una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en el nivel de agrado. Los jueces argumentaron que la fruta se sentía muy blanda al morderla, lo que coincide con los valores de fuerza de rompimiento obtenidos en las evaluaciones realizadas con el texturómetro.

#### 6.5.9.7 Calidad General

El último juicio emitido por los panelistas fue dado para evaluar su nivel de agrado por la calidad general de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG). En la primera evaluación sensorial (día 3), a los jueces les agradó significativamente más ( $p < 0.05$ ) la calidad general de la fresa control, seguida por la calidad de los lotes Q-1, MAG-1, MPG-1 y MPG-2. La calidad general de las fresas que les agradó significativamente menos ( $p < 0.05$ ) fue la de las fresas de los lotes Q-2 y MAG-2. Para la siguiente evaluación sensorial (día 6) no se presentó diferencia significativa ( $p > 0.5$ ) en el nivel de agrado por la calidad general de las fresas de los siete lotes. Para el día 9 del almacenamiento, los jueces prefirieron la calidad general de las fresas del lote MAG-1, seguida de la calidad del resto de los lotes, excepto del lote Q-1. La calidad del lote Q-1 fue la que significativamente agradó menos ( $p < 0.05$ ) a los jueces en esta evaluación sensorial. Finalmente, el día 13 no se detectó diferencia significativa ( $p > 0.5$ ) entre los niveles de agrado por la calidad general de los siete lotes de fresa evaluados.

Se había planeado la realización de dos evaluaciones sensoriales más (día 16 y 19) a lo largo del período de almacenamiento en refrigeración de la fresa con (1 y 2 capas) y sin recubrimiento comestible (Q, MAG y MPG), sin embargo, estas no se realizaron ya que se consideró que la apariencia de la fruta ya no era agradable para esas fechas. Solamente se realizó una inspección de los atributos sensoriales.

**Día 16 :** El sabor de las fresas del lote control y de los lotes MAG-1 y MAG-2 son muy similares, mientras que se detecta un sabor a fermentado en las fresas recubiertas con las películas hechas a base de quitosano, especialmente las de dos capas. El sabor es muy dulce y bueno, lo cual seguramente es debido a la variedad de fresa empleada, ya que una de las características de la fresa “Festival” es su dulzura. Las fresas de los lotes MPG-1 y MPG-2 no se probaron por la presencia de hongos.

Todos los lotes incluyendo el control tienen un color rojo oscuro. Sobre la superficie de al menos una fresa de los lotes recubiertos con dos capas de las formulaciones MAG y MPG es perceptible el crecimiento de hongos. En general, se observa una resecaación sobre la superficie de la fresa y es notorio el desprendimiento de la película de quitosano en el lote Q-1 en mayor medida que en el Q-2. En cuanto a firmeza, las fresas del lote control y del Q-1 se sienten más firmes, seguidas de las recubiertas con las formulaciones MAG-1 y MAG-2. Las fresas con un recubrimiento de MPG están más firmes que las recubiertas con dos capas de esta formulación y éstas a su vez tienen mayor firmeza que las recubiertas con dos capas de la formulación de quitosano.

El aroma de las fresas es a fresco en los lotes C, MAG-1 y MPG-1, disminuye la intensidad del aroma en los lotes MAG-2 y MPG-2, mientras que en los lotes Q-1 y Q-2 se detecta un olor muy ligero a fermentado.

**Día 19:** En la fresa del lote control se observa crecimiento de hongos, pero su aroma, textura y color son aceptables.

En la fresa del lote Q-1 se nota el desprendimiento de la capa del recubrimiento comestible como se observó el día 16. Su olor es a fermentado y su color es pálido y ligeramente blanquecino debido al recubrimiento. Se nota la resecaedad sobre la superficie de la fresa y se siente suave su textura.

El lote Q-2 tiene un menor desprendimiento de la película que el lote Q-1, sin embargo su aroma es mucho más fuerte a fermentado y su textura es mucho más suave.

El lote MAG-1 presenta ligero crecimiento de hongos, su color es rojo oscuro pero aceptable, su olor es agradable y su textura firme.

El lote MAG-2 presenta crecimiento ligero de hongos, el olor de las fresas es agradable, su color rojo oscuro y se siente ligeramente menos firme la textura que el de las fresas del lote MAG-1.

El lote de fresas MPG-1 presenta crecimiento mínimo de hongos, su olor es agradable, su color es rojo oscuro, parecido al de las fresas del lote MAG-1.

La fruta del lote MPG-2 es similar a la del lote MPG-1, pero con una deshidratación ligeramente más pronunciada.

Las fresas recubiertas con las formulaciones hechas a base de mucílago de nopal presentan una textura más firme.

Comparando el nivel de agrado de los jueces por la calidad general de las fresas de cada lote a lo largo de las cuatro evaluaciones sensoriales, no se observó diferencia significativa ( $p > 0.5$ ), excepto para el lote Q-1, cuya calidad general agradó

significativamente menos ( $p < 0.05$ ) a partir del día 9. El día 13 recibió una mejor calificación en su calidad general, pero no fue significativamente diferente ( $p > 0.5$ ) a la obtenida en la evaluación sensorial anterior.

Observando los juicios dados por los panelistas, la aplicación de una sola capa de las películas comestibles propuestas (Q, MAG y MPG) puede ser una opción para mantener los atributos sensoriales de la fresa, haciendo énfasis en que la aplicación de una doble capa no es bien aceptada por el consumidor. Probablemente se pudieran mantener los beneficios de una extra protección siempre y cuando se encontrara otro método de secado que fuera menos agresivo contra la apariencia de la fruta. Es necesario evaluar otra concentración de ácido acético para la formulación hecha a base de quitosano, ya que se observó que el consumidor detecta la concentración empleada en esta investigación. Las películas hechas a base de mucílago de nopal no presentaron algún sabor, ni olor desagradable para el consumidor, la aplicación de una capa de la formulación MAG ayudó a mantener los atributos sensoriales e hizo que el consumidor la prefiriera, lo que abre las posibilidades de aplicarla en esta fruta.