

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Agrícola

Formulación de un recubrimiento comestible de alginato y cloruro de calcio para reducir el drenaje de jugo de trozos de piña (*Ananas comosus*) frescos cortados

PROYECTO DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA.

Adriana Gómez Castillo

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Noviembre de 2012

Proyecto de Graduación titulado: ***“Formulación de un recubrimiento comestible de alginato y cloruro de calcio para reducir el drenaje de jugo de trozos de piña (Ananas comosus) frescos cortados”***

Aprobado por el Tribunal:

Dra. Marta Montero Calderón
Directora del Trabajo de Investigación

Ing. Manuel Molina Córdoba
Lector

Inga. María del Milagro Cerdas Araya, M.Sc
Lector

Ing. Geovanni Carmona Villalobos
Miembro del tribunal

Ing. Carlos Benavides León
Miembro del tribunal

Adriana Gómez Castillo
Estudiante

A Dios por todas las bendiciones que ha puesto en mi camino.

A mi familia por creer y confiar siempre en mí...

A mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanas Nana, Neca, y a mi hermano Mau. Y en especial a mis queridos sobrinos, Jean Ca y Andrés, por encontrar en ellos la fuerza y voluntad para seguir adelante...

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Marta Montero por su dedicación, paciencia y apoyo durante la realización de este proyecto.

Al personal del Laboratorio de Tecnología de Poscosecha por toda la colaboración brindada, por el préstamo de equipo y ayuda durante la realización de pruebas, a Laura, María José, Allen, Jose Pablo, Juan Ro y demás compañeros que me brindaron su ayuda durante los ensayos.

A Luis Diego y Luis Ulloa por toda la ayuda brindada y sus palabras alentadoras, gracias Luisitos!

Al personal del Laboratorio de Educación Física por el préstamo de equipo y colaboración durante realización de pruebas.

A mis compañeros y amigos: al Ing. Juan Benavides, Jéssica, Lucre, Chana, Anita, Eyra, Mayra, Ing. Oscar Quesada, gracias por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y los buenos momentos compartidos.

Y en especial, a mi familia, por sus sabios consejos y por brindarme su apoyo hasta el final.

Muchas Gracias!!

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la formulación de un recubrimiento comestible a base de alginato y CaCl_2 sobre su eficacia para reducir la pérdida de jugo de los trozos de piña del cultivar “Dorada”. Se evaluaron tiempos de inmersión de 3 a 120 s, la aplicación de inmersiones simples y múltiples, la secuencia de inmersión en las soluciones formadoras del recubrimiento sobre la pérdida de jugo, la formación del recubrimiento y los atributos de calidad de los trozos de piña para definir la forma de aplicación del recubrimiento y posteriormente, se evaluó el efecto del contenido de alginato [1,0 a 2,0%], CaCl_2 [1,0 a 10,0%], glicerol [0,5-5,0%] y aceite de girasol [0,05 a 0,4%] sobre la pérdida de jugo, pérdida de peso, tasa respiratoria, los atributos de calidad de los trozos de piña durante el almacenamiento a 5°C. Además, se estudió la resistencia al vapor de agua de los trozos de fruta con y sin recubrimiento.

Se encontró que tiempos de inmersión de 10 s permitían una buena formación y cobertura del recubrimiento, mientras que el uso de inmersiones múltiples tuvo un efecto negativo sobre la salida de jugos y la apariencia de los trozos. Por su parte, se encontró que la secuencia de inmersión en las soluciones formadoras del recubrimiento, afectó significativamente la pérdida de jugo de los trozos de piña, siendo mayor cuando los trozos se sumergían primero en la solución de CaCl_2 .

Con las formulaciones con 1,0 a 2,0% de alginato y de 1,0 a 2,0% de CaCl_2 se logró retener las pérdidas de jugo de los trozos de piña durante los primeros seis días de almacenamiento y fueron menores que las de los trozos sin recubrimiento ($p < 0,05$); sin embargo, no pudieron controlarse totalmente durante los 15 días de vida útil esperados para este tipo de producto. El contenido de glicerol (0,5 a 2,5%) y aceite de girasol (0,05 a 0,4%) no tuvieron un efecto significativo en la pérdida de jugo, para recubrimientos con 1,5% de alginato y 1,0% de CaCl_2 . El uso del recubrimiento no afectó la tasa respiratoria, la composición gaseosa en el espacio de cabeza, el color (L^* , a^* , b^*), la firmeza, los SS,

AT y pH durante el almacenamiento. La resistencia al vapor de agua de los trozos con recubrimiento con las formulaciones evaluadas fue de 3,31-3,50 s/cm. Se concluyó, que la aplicación de recubrimientos de alginato (1,0-2,0%) con bajas concentraciones de CaCl_2 (1,0-2,0%), reducen significativamente la pérdida de líquidos de los trozos de piña durante el almacenamiento, permiten una buena cobertura y un grosor uniforme para concentraciones de 1,0 a 1,5% de alginato.

Se recomendó evaluar la sustitución del glicerol por otros plastificantes y lípidos en la formulación de los recubrimientos, con el fin de aumentar la resistencia del recubrimiento al paso del jugo de los trozos de piña, que permita controlarlo por 15 días ó más. Además, se recomendó estudiar con mayor profundidad los procesos de transferencia de masa a través del recubrimiento, para frutas con un alto contenido jugos, con el fin de identificar el o los mecanismos de transporte del agua, tanto en su estado líquido como en forma de vapor de agua a través del recubrimiento y validar el método de la RVA propuesto en presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
3.1. Frutas frescas cortadas	4
3.1.1. <i>Definición</i>	4
3.1.2. <i>Cambios que experimentan las frutas frescas cortadas</i>	4
3.1.3. <i>Piña fresca cortada</i>	5
3.1.4. <i>Materiales de empaque utilizados en frutas frescas cortadas</i>	6
3.2. Recubrimientos comestibles	7
3.2.1. <i>Componentes de los recubrimientos comestibles</i>	11
3.2.2. <i>Uso de los recubrimientos comestibles en frutas frescas</i>	17
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA	20
Materiales	20
Metodología	20
<i>Formulación del recubrimiento</i>	20
<i>Preparación de la fruta</i>	21

4.1. Pruebas preliminares para la preparación y evaluación de los recubrimientos comestibles	21
<i>4.1.1. Efecto de los tiempos de inmersión.....</i>	<i>22</i>
<i>4.1.2. Efecto de la aplicación de inmersiones múltiples.....</i>	<i>23</i>
<i>4.1.3. Efecto de la selección de puntas y las condiciones de operación del texturómetro</i>	<i>26</i>
<i>4.1.4. Efecto del orden de inmersión</i>	<i>27</i>
<i>4.1.5. Método de determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA</i>	<i>28</i>
4.2. Efecto de la formulación del recubrimiento comestible: ensayos principales	29
<i>4.2.1. Efecto de las concentraciones de alginato de sodio y CaCl₂.....</i>	<i>30</i>
<i>4.2.2. Efecto del contenido de glicerol y aceite de girasol.....</i>	<i>32</i>
<i>4.2.3. Determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA.....</i>	<i>35</i>
4.3. Diseños estadísticos	36
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1. Pruebas preliminares para la preparación y evaluación de los recubrimientos comestibles	37
<i>5.1.1. Efecto de los tiempos de inmersión.....</i>	<i>37</i>
<i>5.1.2. Efecto de la aplicación de inmersiones múltiples.....</i>	<i>38</i>
<i>5.1.3. Efecto de la selección de puntas y las condiciones de operación del texturómetro</i>	<i>45</i>
<i>5.1.4. Efecto del orden de inmersión</i>	<i>49</i>
<i>5.1.5. Método de determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA</i>	<i>51</i>
5.2. Efecto de la formulación del recubrimiento comestible	54

5.2.1. <i>Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl₂</i>	54
5.2.2. <i>Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol</i>	70
5.2.3. <i>Resistencia al vapor de agua, RVA</i>	93
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
7. NOMENCLATURA	101
8. BIBLIOGRAFÍA	103
9. ANEXOS	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Representación esquemática del paso de vapor en recubrimientos de doble capa y sencilla.....	11
Figura 4.1. Método para medir el espesor del recubrimiento.....	35
Figura 5.1. Curvas fuerza-desplazamiento obtenidas para las pruebas de firmeza	47
Figura 5.2. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl_2 sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña.	58
Figura 5.3. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl_2 sobre la pérdida de peso de los trozos de piña.	63
Figura 5.4. Efecto de la concentración de alginato y CaCl_2 sobre el color L^* ; a^* y b^* en los trozos de piña.	66
Figura 5.5. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl_2 sobre la uniformidad del grosor del recubrimiento en los trozos de piña.	68
Figura 5.6. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl_2 sobre la adherencia del recubrimiento a los trozos de piña.	70
Figura 5.7. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña.	75
Figura 5.8. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la pérdida de peso de los trozos de piña.	78
Figura 5.9. Efecto de la concentración de glicerol y aceite de girasol sobre el color L^* ; a^* y b^* , en los trozos de piña	82
Figura 5.10. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la apariencia de los trozos de piña.	87
Figura 5.11. Colonias visibles de microorganismos sobre la superficie de los trozos de piña con y sin recubrimiento.....	88
Figura 5.12. Corte de un trozo de piña con un recubrimiento de alginato al 1,5% y 1,0% de CaCl_2	91
Figura 5.13. Efecto de las concentraciones de CaCl_2 , glicerol y aceite de girasol sobre la RVA	97

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Tasa respiratoria de la piña.....	5
Cuadro 3.2. Características de permeabilidad y transmisión de vapor de agua de materiales de empaque.....	7
Cuadro 4.1. Concentraciones de CaCl_2 y alginato usados para la formación de recubrimientos con inmersiones múltiples.	23
Cuadro 4.2. Escala de uniformidad aparente del recubrimiento.	31
Cuadro 4.3. Escala de adherencia.	32
Cuadro 4.4. Escala subjetiva de apariencia.....	34
Cuadro 5.1. Efecto del uso de inmersiones múltiples en las soluciones formadoras de recubrimiento sobre la pérdida de jugo y peso de los trozos de piña.....	41
Cuadro 5.2. Efecto del uso de inmersiones múltiples sobre el color ($L^*a^*b^*$) de los trozos de piña.....	43
Cuadro 5.3. Efecto del uso de inmersiones múltiples sobre el contenido de sólidos solubles y la acidez de los trozos de piña.	44
Cuadro 5.4. Efecto de las inmersiones múltiples sobre la firmeza en los trozos de piña.	48
Cuadro 5.5. Efecto del orden de inmersión sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña.	50
Cuadro 5.6. Condiciones de operación para la determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA.	53
Cuadro 5.7. Efecto de la concentración de alginato y cloruro de calcio sobre la composición gaseosa del espacio de cabeza en los empaques con trozos de piña.....	64
Cuadro 5.8. Efecto de la concentración de glicerol y aceite de girasol sobre la composición gaseosa del espacio de cabeza en los empaques y sobre la tasa respiratoria de los trozos de piña.	80
Cuadro 5.9. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre los atributos de calidad de los trozos de piña.	85

Cuadro 5.10. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la uniformidad del espesor del recubrimiento de los trozos de piña.....	90
Cuadro 5.11. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la adherencia del recubrimiento a los trozos de piña.....	93
Cuadro 9.1. Efecto de las puntas del texturómetro y la velocidad de avance sobre la firmeza en los trozos de piña.	112
Cuadro 9.2. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl ₂ sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña.	113
Cuadro 9.3. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl ₂ sobre la pérdida de peso de los empaques con trozos de piña.	114
Cuadro 9.4. Efecto de la concentración de alginato y CaCl ₂ sobre el color L* en los trozos de piña.....	115
Cuadro 9.5. Efecto de la concentración de alginato y CaCl ₂ sobre el color a* en los trozos de piña.....	116
Cuadro 9.6. Efecto de la concentración de alginato y CaCl ₂ sobre el color b* en los trozos de piña.....	117
Cuadro 9.7. Efecto de la concentración de alginato y CaCl ₂ sobre la uniformidad del recubrimiento de trozos de piña.....	118
Cuadro 9.8. Efecto de la concentración de alginato y CaCl ₂ sobre la adherencia del recubrimiento de trozos de piña.....	119
Cuadro 9.9. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña.	120
Cuadro 9.10. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la pérdida de peso de los trozos de piña.	121
Cuadro 9.11. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre el porcentaje de O ₂ en el empaque de los trozos de piña.....	122
Cuadro 9.12. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre el porcentaje de CO ₂ en el empaque de los trozos de piña.	123
Cuadro 9.13. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la tasa respiratoria de los trozos de piña.	124

Cuadro 9.14. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la variable L* de los trozos de piña.	125
Cuadro 9.15. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la variable a* de los trozos de piña.	126
Cuadro 9.16. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la variable b* de los trozos de piña.	127
Cuadro 9.17. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la firmeza de los trozos de piña.	128
Cuadro 9.18. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre los SS de los trozos de piña.	129
Cuadro 9.19. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre el contenido de AT de los trozos de piña.	130
Cuadro 9.20. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre el pH de los trozos de piña.	131
Cuadro 9.21. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la apariencia de los trozos de piña.	132
Cuadro 9.22. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la adherencia al tacto del recubrimiento de los trozos de piña.	133
Cuadro 9.23. Efecto de las concentraciones de CaCl ₂ , glicerol y aceite de girasol, sobre la RVA del recubrimiento.	134

1. INTRODUCCIÓN

Las frutas frescas cortadas son productos mínimamente procesados, listos para consumir, que conservan los atributos de calidad de la fruta fresca. La preparación de estos productos incluye operaciones de recibo del producto, lavado, desinfección, pelado y troceado, envasado, enfriamiento y almacenamiento, y pueden incluir también algunos tratamientos estabilizantes para disminuir los cambios y prevenir la pérdida de calidad (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso 2005).

Los atributos de calidad de las frutas frescas cortadas incluyen la apariencia general del producto, color, textura, sabor, olor, valor nutritivo, entre otros, que deben ser similares a los del producto fresco y pueden verse afectados por las operaciones de procesamiento y las condiciones de almacenamiento (Aranguren 2006). Lo anterior, por cuanto con estas operaciones se remueve la protección natural de la fruta (cáscara), se provocan daños en los tejidos y se aumenta el área expuesta al ambiente, lo cual hace que la actividad metabólica del producto aumente, que sea más susceptible a la pérdida de humedad, además provoca cambios en la firmeza, en el color y favorece el crecimiento de microorganismos (Agar et al. 1999).

El consumo de las frutas frescas cortadas ha experimentado un crecimiento en su demanda, principalmente por las tendencias y los hábitos alimenticios que han adoptado los consumidores al adquirir productos de fácil preparación, frescos y saludables. Según Montero et al. (2009), en Estados Unidos y países europeos, el mercado de las frutas frescas cortadas ha crecido durante los últimos años abarcando entre ellas el kiwi, pera, sandía, melón cantaloupe y piña. En el 2005, el consumo de frutas frescas cortadas per cápita en España estuvo entre 1,5 y 2,0 kg, muy por debajo de los 30 kg en EE.UU. y 6 kg en Francia. No obstante, el mercado de España ha mostrado una tendencia al incremento de la demanda por estos productos.

Por su parte, la piña es un producto de origen tropical que ha ido ganando mercado a nivel internacional, lo cual se refleja en el aumento de las exportaciones, que en algunos años ha logrado superar las de banano. Los atributos sensoriales y nutricionales han favorecido este crecimiento, junto con las mejoras tecnológicas en las etapas de producción y manejo poscosecha. Paralelo a ello, surgen oportunidades de añadir valor a la fruta, mediante la elaboración de productos a base de ella, como la elaboración de trozos de fruta cortada o mínimamente procesada, que ofrece al consumidor las ventajas del producto fresco en envases convenientes para su consumo. Los trozos de piña cortada, ya se producen comercialmente, preparados en muchos casos de manera artesanal, pero presentan el problema de una vida útil corta, por el rápido deterioro de los trozos durante el almacenamiento. Durante la preparación, se producen heridas en los tejidos, lo cual acelera la tasa metabólica de los productos, y el área expuesta al ambiente es mayor sin la protección de la cáscara, lo cual favorece también el deterioro porque facilita la salida de fluidos, con la consecuente pérdida de forma, firmeza, brillo y otros cambios indeseables.

El uso de los recubrimientos comestibles ofrece una alternativa para ayudar a conservar al producto, formando una barrera a la transferencia de masa, disminuyendo de ésta forma la pérdida de jugo, manteniendo la forma, la firmeza y otros atributos de calidad de la piña durante el almacenamiento. Al mismo tiempo, la reducción en el jugo drenado de la fruta que inunda los envases que contienen los trozos de fruta, reduce los peligros de que se inicien los procesos de fermentación y el crecimiento de microorganismos.

Con este proyecto se pretende evaluar el efecto de la formulación de recubrimientos de alginato sobre la salida de jugo de los trozos de piña dorada con el fin de buscar la mejor combinación para reducir estas pérdidas y conservar los atributos de calidad durante el almacenamiento a 5°C.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- ◆ Evaluar el efecto de la formulación de un recubrimiento comestible de alginato y cloruro de calcio sobre su eficacia para reducir la pérdida de jugo de los trozos de piña fresca cortada.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las concentraciones de alginato, cloruro de calcio, glicerol y aceite de girasol en las soluciones formadoras del recubrimiento, sobre la pérdida de fluidos y la formación del recubrimiento.
- Evaluar el efecto de las formulaciones que permitan retener mejor la salida de fluidos, sobre la tasa respiratoria y los atributos de calidad de los trozos de piña durante el almacenamiento a 5°C.
- Estudiar el efecto de la formulación de las soluciones formadoras, sobre la resistencia al vapor de agua del recubrimiento.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

3.1. Frutas frescas cortadas

3.1.1. *Definición*

Las frutas frescas cortadas son trozos de fruta que durante su proceso pasan por una serie de operaciones de lavado, desinfección, pelado, cortado y envasado, con el propósito de reducir su tamaño, acondicionarlos y prepararlos para consumo, de forma que se estabiliza la integridad del alimento y la actividad metabólica propia de los tejidos vivos, sin someterlos a ningún tratamiento térmico (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso 2005).

A diferencia de los productos enteros, las frutas frescas cortadas se deterioran mucho más rápido, debido a las heridas presentes en el tejido vegetal asociadas al procesamiento, el cual conduce a cambios físicos y fisiológicos que afectan la calidad del producto (Watada y Qi 1999).

3.1.2. *Cambios que experimentan las frutas frescas cortadas*

Durante las operaciones del procesamiento mínimo, se provocan una serie de cambios que afectan negativamente la calidad de los productos frescos cortados. Rojas-Graü et al. (2007a) señalan que algunos de los cambios observados en productos frescos cortados son la pérdida de agua, oscurecimiento y ablandamiento de los tejidos, aumento en la tasa respiratoria y la producción de etileno.

El aumento en la pérdida de agua surge debido a la remoción de la epidermis de la fruta, la cual funciona como una barrera de protección natural, este incremento junto con la presencia de azúcares disueltos propios de la fruta, crean un ambiente ideal para la colonización y multiplicación de microorganismos (Olivas y Barbosa 2005).

El deterioro en la textura, está asociada al estado de madurez y a la pérdida de agua causada por las operaciones de proceso, principalmente por el pelado y el corte (Olivas y Barbosa 2005). Rojas-Graü et al. (2009) señalan que estas operaciones dan lugar a la pérdida de firmeza en el tejido de la fruta, debido a la acción de las enzimas pécticas, donde la compartimentación subcelular se interrumpe en la superficie del corte y se mezclan sustratos y enzimas que están normalmente separados y pueden iniciar reacciones que normalmente no se producen en el producto entero.

3.1.3. *Piña fresca cortada*

La piña (*Ananas comosus*) es un fruto compuesto no climatérico que forma parte de la familia de las bromeliáceas. Al ser un producto no climatérico muestra moderadas y bajas tasas de respiración (Cuadro 3.1) y producción de etileno ($0,1$ a $1,0 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) (Paull y Cheng 2004). Actualmente es uno de los frutos tropicales más populares siendo la variedad MD-2, comúnmente conocida como "Dorada", la que ha alcanzado gran éxito a nivel comercial y el principal como producto de exportación en Costa Rica (Brenes 2007).

Cuadro 3.1 Tasa respiratoria de la piña.

Temperatura (°C)	Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
5	2
10	4-7
15	10-16
20	19-29

Fuente: Paull y Cheng, 2004.

La piña fresca cortada ha sido uno de los productos con mayor aceptabilidad debido a que sus atributos sensoriales (nutritiva, jugosa, aromática y de buen sabor) la hacen un producto

de gran calidad, además de ser más conveniente para el consumidor ya que tiene la ventaja comercial de que la cáscara y la corona se han eliminado (Montero-Calderón et al. 2010; Azarakhsh et al. 2012). Tiene un contenido de sólidos solubles de 11-18%; acidez titulable de 0,5-1,6% y su contenido de ácido ascórbico es de 10-65 mg/100g de peso en fresco, dichos valores dependen de la variedad y del estado de maduración de la fruta (Kader 2006).

Uno de los principales cambios observados en la piña fresca cortada, es la acumulación de líquido en el envase (Antoniolli et al. 2007 citado por Rocculi et al. 2009; Aranguren 2006, Solano 2008) el cual ha sido uno de los mayores problemas ya que puede afectar la actividad metabólica del producto y acelerar los procesos de fermentación, lo cual puede favorecer el deterioro del mismo y disminuir su vida útil. Otros cambios que han afectado negativamente la calidad de la piña fresca cortada han sido el deterioro de la textura, cambios en la apariencia, en el sabor y el crecimiento de microbios que se ven afectados por las condiciones de envase y la temperatura de almacenamiento, así como cultivar y estado de madurez (Montero-Calderón et al. 2008).

3.1.4. *Materiales de empaque utilizados en frutas frescas cortadas*

En las frutas frescas cortadas los materiales de empaque cumplen un papel importante en la protección y preservación de las mismas, al controlar la transferencia de humedad y gases, además de proteger al producto contra daños físicos y servir como barrera a la influencia de factores internos como externos. Los principales materiales usados son películas flexibles de polímeros, que restringe la transferencia de masa hacia adentro y hacia fuera del envase y como resultado del proceso de respiración del producto, se modifica el contenido de oxígeno y dióxido de carbono dentro del empaque (Aranguren, 2006).

La selección adecuada del material de empaque que asegure un correcto intercambio de gases (O_2 y CO_2) entre el interior del empaque y la atmósfera, además de una adecuada temperatura de almacenamiento, permitirán conservar al producto por un mayor tiempo, manteniendo sus atributos de calidad hasta su comercialización. Dentro de los principales materiales usados para el envasado de frutas frescas cortadas se encuentran: polietileno de alta y baja densidad, polipropileno, politereftalato o poliéster, cloruro de polivinilo, poliestireno, entre otros. En el Cuadro 3.2 se muestran algunos de los materiales de empaque y sus principales propiedades de permeabilidad y transmisión al vapor de agua. Sin embargo, para los productos frescos cortados, es preferible el uso de empaques rígidos que den soporte mecánico a los trozos de fruta, sin ejercer presión sobre ellos.

Cuadro 3.2. Características de permeabilidad y transmisión de vapor de agua de materiales de empaque.

Película	Permeabilidad (cm^3/m^2 día atm) para una película de $25 \mu m$ a $25^\circ C$		Transmisión de vapor de agua (g/m^2 día) $38^\circ C$, 90%HR
	O_2	CO_2	
Poliestireno (PS), orientado	5000	18000	100-125
Policloruro de vinilo (PVC) plastificado	500-30000	1500-46000	15-40
Politereftalato de etilenglicol (PET) o poliéster, orientado	50-130	180-390	25-30

Fuente: García et al., 2006

3.2. Recubrimientos comestibles

La práctica de recubrir las frutas con películas comestibles se ha realizado durante siglos con el propósito de incrementar el tiempo de almacenamiento (Olivas y Barbosa 2005). Los

materiales más comúnmente empleados son las ceras, existen reportes que datan de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua (García 2008).

El uso de recubrimientos comestibles en frutas frescas surge a partir de 1930, con la aplicación de emulsiones preparadas con ceras y aceites dispersos en agua, que se utilizaban para dar brillo y mejorar la apariencia del producto, como medio para la aplicación de fungicidas, para tener un mejor control de la maduración y retardar la pérdida de peso (Rojas Graü et al. 2007a).

En 1972, se registró uno de los primeros trabajos realizados en frutas frescas cortadas con recubrimientos comestibles; Bryan (citado por Olivas y Barbosa 2005) patentó un método para cubrir mitades de pomelo con un recubrimiento a base de pectina y goma de algarrobo dispersa en zumo de pomelo. Ya para mediados de la década de 1980, se contaba con varias formulaciones de recubrimientos solubles en agua, compuestos principalmente por carboximetilcelulosa con ésteres de sacarosa y ácidos grasos como emulsificantes (García 2008).

Más recientemente McHugh y Krochta (1996), citado por Rojas et al. (2007a), elaboraron recubrimientos comestibles a partir de purés de frutas, usando manzana, pera, melón, entre otras. Rojas y colaboradores también hicieron referencia a un recubrimiento que ha alcanzado gran éxito a nivel comercial, llamado NatureSeal[®], elaborado con productos a base de sales de calcio, vitaminas, minerales y carboximetilcelulosa. Sus aplicaciones en frutas y hortalizas han mostrado resultados favorables, como la retardación de las reacciones de oscurecimiento.

En general, los recubrimientos comestibles se forman directamente sobre las frutas frescas cortadas y se aplican en forma líquida sobre el mismo, ya sea por inmersión, espuma, aspersión, goteo o con una brocha; puede requerir de un secado posterior que va de unos

pocos segundos hasta 30 min o más (Bosquez et al. 2000, citado por García 2008). Los recubrimientos comestibles crean una capa delgada de un material biopolímero sobre la superficie de las frutas frescas cortadas, dicha capa permite modificar la atmósfera interna de la fruta, crear una barrera a la transferencia de gases (O_2 y CO_2) y a la humedad, mejorar la apariencia general del producto durante el almacenamiento y además, permite mantener la calidad de las frutas frescas cortadas por un mayor tiempo (Olivas y Barbosa 2005; Carrasco et al. 2002).

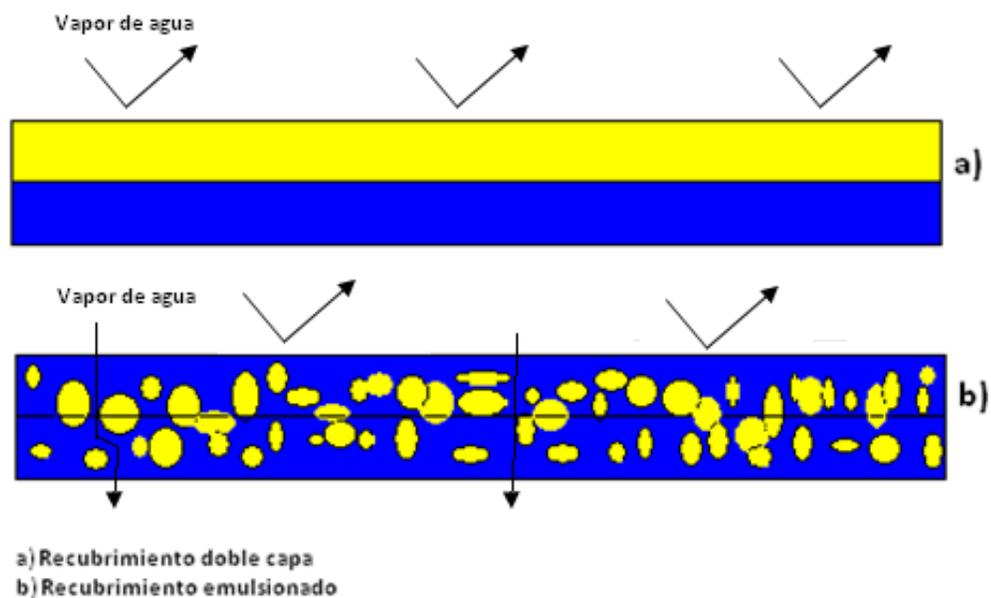
Los recubrimientos comestibles se pueden clasificar en tres categorías: los hidrocoloides, los lípidos y las mezclas de hidrocoloides y lípidos.

Hidrocoloides: Se denominan comúnmente hidrocoloides a los biopolímeros de elevado peso molecular y que se dispersan en agua. Los hidrocoloides, por lo general presentan buenas barreras para el O_2 y CO_2 , pero son hidrófilos, por lo que permiten el paso del agua (Olivas y Barbosa 2005). Su cohesión molecular les confiere buenas propiedades mecánicas, pudiendo ejercer de matriz estructural del recubrimiento (Nisperos-Carriedo 1994). Pueden clasificarse de acuerdo con su composición, carga molecular o solubilidad en agua. En general son los derivados de polisacáridos como almidón, pectinas, alginato, quitosano y de proteínas como maíz, soya y suero de leche (Agustí 2003).

Lípidos: Los lípidos son recubrimientos hidrofóbicos, por lo que presentan buenas propiedades como barrera al vapor de agua; sin embargo los recubrimientos formados por solo lípidos son muy frágiles y friables, por lo que se deben de aplicar en combinación con una matriz de hidrocoloides que le den soporte (Olivas y Barbosa 2005). Greener (1992), citado por Marzo (2010), señala que la mayoría de los lípidos existen en forma cristalina y sus cristales individuales son altamente impermeables a los gases y al vapor de agua, pero permiten el paso de estos gases entre los cristales. Por tanto, las propiedades de barrera dependerán del acomodo intercristalino; cuanto más hermética y compacta sea la disposición de los cristales, mayor será la resistencia a la difusión, del mismo modo, los

cristales orientados perpendicularmente al flujo de vapor de agua que lo atraviesan, proporcionan un mejor efecto de barrera que agrupados con otra orientación. Algunos lípidos combinados con polisacáridos y proteínas han sido empleados con éxito en frutas frescas cortadas y enteras, como la cera de abejas, monoglicéridos acetilados, alcoholes grasos y ácidos grasos, entre otros, siendo el mayor beneficio la reducción en los procesos de respiración y de pérdida de humedad de los productos frescos durante el almacenamiento (Olivas y Barbosa 2005; Agustí 2003).

Mezcla de hidrocoloides y lípidos: La mezcla de hidrocoloides y lípidos es la mejor opción para la preparación de recubrimientos comestibles que se utilizan en frutas frescas cortadas, ya que combina las propiedades de los hidrocoloides y de los lípidos (Olivas y Barbosa 2005). Los autores señalan que los recubrimientos elaborados con la mezcla de ambos componentes (hidrocoloides y lípidos) en una sola capa mediante emulsión, son menos eficaces a las barreras de gas y vapor de agua que los recubrimientos elaborados con dos capas (una capa de hidrocoloides y una capa de lípidos). Cuando se usan capas dobles (Fig. 3.1a), cada una de ellas cumple una función específica, así, los lípidos forman una barrera contra el vapor de agua y los polisacáridos brindan propiedades mecánicas al recubrimiento, al usar emulsiones (una sola capa), la dispersión de los lípidos aunque puede ser uniforme, puede dejar espacios que permitan el paso de vapor de agua (Fig. 3.1b, como lo señalan las flechas). Sin embargo, son más convenientes pues requieren una sola aplicación, además de que muestran una mayor adherencia a las superficies de la fruta debido a sus características polares y no polares.



Fuente: Rodríguez, 2011.

Figura 3.1. Representación esquemática del paso de vapor en recubrimientos de doble capa (a) y sencilla (b), las flechas señalan la dirección del vapor de agua, que puede ser repelido o pasar a través del recubrimiento emulsionado.

3.2.1. Componentes de los recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles empleados en frutas frescas cortadas están constituidos principalmente por polisacáridos, debido a la ventaja que le atribuye al producto al reducir la tasa de respiración; sin embargo tienen una barrera pobre para el paso de vapor de agua y por ello es necesaria la incorporación de otros componentes, como es el caso de los lípidos. Es necesario incluir en la formulación componentes como los plastificantes y los

estabilizantes de la textura, lo cuales mejoran la flexibilidad y funcionalidad del recubrimiento y ayuda a que los trozos mantengan su firmeza (Rojas-Graü et al. 2007a).

◆ **Alginato**

El alginato es un polisacárido extraído de algas marrones de origen marino (*Phaeophyceae* sp) (Zactiti y Kieckbusch 2006). Wong et al. (1996) señalan que es un polímero lineal de ácidos ligados de 1,4 β -D-manurónico y α -L-gulurónicos. Sus sales de metales alcalinos son solubles en agua y forman geles rápidamente en presencia de calcio, los cuales presentan buenas características para ser empleados como recubrimientos comestibles. La formación del gel se da por la interacción de los iones de calcio con los grupos policarboxílicos del alginato, creando una red de entre-cruzamientos tridimensional que conforman una estructura tipo “caja de huevo” (Rojas-Graü et al. 2007a y Tapia et al. 2008).

Bastos et al. (2009), señalan que el alginato tiene propiedades únicas coloidales de engrosamiento, estabilización y suspensión, que forman una emulsión estable y contribuyen a la formación del recubrimiento. Por otro lado, la capacidad de los geles de alginato para formar enlaces fuertes e insolubles con los iones de calcio puede ser utilizada para mejorar las propiedades de tales películas (Zactiti y Kieckbusch 2006).

◆ **Sales de calcio**

El cloruro de calcio (CaCl_2) es una agente reafirmante, el cual ha sido utilizado para inhibir la pérdida de firmeza, aumentando la resistencia mecánica. La aplicación de CaCl_2 en recubrimientos comestibles mejora la textura y el color de los productos. Varios autores (Mei et al. 2002; Sapers y Miller 1998) han reportado que la adición de calcio, contribuyen a la obtención de recubrimientos estructuralmente más fuertes y estables, inhibiendo la pérdida de firmeza en frutas frescas cortadas.

Los iones de calcio también interactúan con los polímeros pécticos para formar una red de entrecruzamiento que aumenta la resistencia mecánica, retrasando de esta manera la senescencia y controlando los desórdenes fisiológicos en frutas y vegetales (Rojas-Graü 2009).

◆ **Plastificantes y reguladores de la permeabilidad al vapor de agua**

McHugh y Krochta (1994a) definen a los plastificantes como una sustancia estable, no volátil y con alto punto de ebullición, la cual cuando es agregada a otro material le cambia las propiedades físicas o mecánicas. También indican que las propiedades del plastificante se deben a la interacción entre la sustancia y el polímero, lo que produce una reducción de las fuerzas acumulativas intermoleculares a lo largo de las cadenas poliméricas, conduciendo a una estructura más suave. Los compuestos que más se utilizan como plastificantes en la formulación de recubrimientos comestibles para frutas frescas cortadas son: glicerol y glicol de polietileno (Olivas y Barbosa 2005). García et al. (2000) mencionan que algunos lípidos se han incorporado a las películas como plastificantes, tales como: aceites vegetales, lecitina, ácidos grasos y ceras. La adición de las sustancias plastificantes son necesarias para disminuir la fragilidad y aumentar la elasticidad del recubrimiento, debido a que por lo general, éstos son quebradizas, frágiles y poco elásticos, lo que da origen a la aparición de grietas y agujeros en su superficie que impiden sus propiedades reguladoras de transporte de gases y vapores (Rayas 1997).

Además de ser utilizados como plastificantes, el glicerol y los aceites vegetales se han usado en los recubrimientos comestibles para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua, ya que han mostrado un incremento en la resistencia al vapor de agua a medida que aumenta la concentración de dichos componentes en la formulación (Tapia et al. 2008, Rojas-Graü et al. 2007b).

Sin embargo, los plastificantes tienden a extender, diluir y suavizar la estructura del recubrimiento, y con ello aumenta la permeabilidad del recubrimiento a la humedad y los gases, por lo que la formulación del recubrimiento comestible debe ser cuidadosa y su desempeño evaluado. Por otro lado, la excesiva adición de lípidos puede dar como resultado un colapso del recubrimiento, por la pérdida de cohesión que lleva al debilitamiento de la matriz proporcionada por el polisacárido o el lípido (Hernández 1994).

Los principales atributos que deben tener los recubrimientos comestibles (Rojas-Graü et al. 2007a), se describen a continuación:

◆ **Propiedades de barrera**

Los recubrimientos comestibles poseen barreras selectivas al paso de O_2 y CO_2 y se espera que tenga una buena barrera al vapor de agua, para que impidan su paso a través del recubrimiento. Las características de la permeabilidad al O_2 y CO_2 de los recubrimientos, regulan el paso de estos gases del trozo al envase y viceversa, modificando el contenido de la atmósfera dentro de cada trozo, y dentro del envase, que tiene sus propias características de permeabilidad. Con la respiración de los trozos de fruta, este intercambio gaseoso resulta en la disminución del contenido de O_2 y aumento del CO_2 . El cambio de la composición de la atmósfera interna puede ser beneficioso para algunos productos frescos cortados, que se mantienen mejor en atmósferas de bajas concentraciones de O_2 y altas concentraciones de CO_2 (Olivas y Barbosa 2005).

Los recubrimientos comestibles también deben presentar una adecuada barrera al vapor de agua, ya que la pérdida de peso (agua) deteriora rápidamente la apariencia del producto y como consecuencia disminuye la calidad y vida útil del producto (Rojas-Graü et al. 2007a). Algunos productos tienden a perder mucho jugo durante el almacenamiento, por su estructura y porque al cortarlos, los tejidos no pueden retenerlo, como es el caso de productos muy succulentos como la piña, el tomate y la sandía, para los cuales, el uso de

recubrimientos comestibles que ayuden a retener el drenaje de líquidos puede ser una alternativa que permita mantener la calidad de los trozos de fruta por más tiempo.

En cuanto a la permeabilidad de los recubrimientos comestibles al vapor de agua, mide la facilidad con la que un material puede ser traspasado por el vapor de agua. McHugh y Krochta (1994b) la definen como la cantidad de vapor de agua que pasa por unidad de área, a través de un material de un espesor definido por unidad de tiempo, inducido por una diferencia de presión entre las dos superficies, bajo condiciones específicas de temperatura y humedad relativa. Los mismos autores indican que la permeabilidad no debe confundirse con el transporte a través de poros, sino que consiste en un proceso de disolución en el que el vapor de agua se disuelve en un lado de la película y luego se difunde a través del material y se libera del otro lado.

Al respecto, Marzo (2010) señala dos procesos por los cuales se puede dar la transferencia de masa a través de materiales poliméricos: uno es el efecto poro en el cual los gases y vapores fluyen a través de microporos, imperfecciones y pequeñas grietas del material y el otro proceso, es el efecto de difusión-solubilidad en el cual los gases se disuelven en la superficie de la película, se difunden a través de ella por efecto del gradiente de concentración, evaporándose de la superficie y desplazándose a lugares de menor concentración. Además señala que la permeabilidad a los gases y vapores de estos materiales poliméricos puede ser afectada por la naturaleza del polímero y del permeante, la temperatura y el espesor del material.

El uso del término de resistencia al vapor de agua es apropiado para películas de composición heterogénea o donde el espesor de la película es desconocido, ya que esta expresión no toma en cuenta el grosor de esta (Greener y Fennema 2004). Los mismos autores indican que la resistencia al vapor de agua (RVA) describe la capacidad de un material para servir como barrera para retener parcialmente el paso del agua.

La RVA (ecuación 3.3) puede cuantificarse por medio de una modificación de la ley de Fick propuesta por Ben-Yehoshua, Burg y Young (1985) (Rojas-Graü et al. 2007b):

$$\frac{ds}{dt} = \frac{A\Delta C}{R} \quad (3.1)$$

Donde,

$$\Delta C = \left(\frac{P_i - P_a}{R_c * T} \right) \quad (3.2)$$

Despejando se obtiene:

$$RVA = \left(\frac{P_i - P_a}{R_c * T} \right) * \frac{A}{ds/dt} \quad (3.3)$$

Donde,

ds/dt : tasa de intercambio de gas en g/s (pendiente); A: área de la fruta expuesta al ambiente, RVA: resistencia del recubrimiento a la difusión de agua (s/cm); ΔC : diferencia de concentración de gas dentro y fuera de la fruta en el tiempo t (mL/cm³), donde (P_i-P_a): diferencia de presión de vapor de agua dentro y fuera del tejido de la fruta, R_c: constante de gas y T: temperatura en grados Kelvin.

Además de las características de permeabilidad de las películas, Tanada y Grosso (2003) se refieren a la resistencia de estas al contacto directo con el agua, en términos de qué tan solubles son, lo cual estos autores consideran que es una propiedad importante de las películas comestibles para alimentos con una actividad del agua alta, o para aquellos en que las películas deben estar en contacto directo con el agua.

◆ **Propiedades mecánicas:**

El tipo de material empleado para la elaboración del recubrimiento y la interacción con el trozo de la fruta definen las propiedades mecánicas del recubrimiento (Rojas-Graü et al. 2007a). Olivas y Barbosa (2005) señalan que cuando se aplica el recubrimiento sobre la fruta se generan dos fuerzas: la cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y la adhesión entre el recubrimiento y el fruto. El grado de cohesión de la capa gobierna la barrera y propiedades mecánicas del recubrimiento, ya que cuanto mayor es la cohesión, mayor son las propiedades de barrera y la flexibilidad de la película, mientras que a una mayor adhesión garantiza una mayor durabilidad de la película sobre la superficie de la fruta. Por otro lado, los recubrimientos con una buena adhesión y uniformidad pueden ser el resultado de las características químicas similares entre el recubrimiento y la estructura de carbohidrato (pectina) dentro de la fruta, además de que la superficie porosa de la fruta puede ayudar a incrementar la fuerza de adhesión (Tapia et al. 2008).

El recubrimiento también puede modificar la textura de los trozos de la fruta, generalmente aumentando la resistencia a la compresión (firmeza) y reduciendo la pérdida de líquido, debido al fortalecimiento del tejido a través de la adición de iones de calcio que forman un entrecruzamiento con las pectinas de la pared celular (Olivas y Barbosa 2005).

3.2.2. *Uso de los recubrimientos comestibles en frutas frescas*

Varios autores han evaluado el uso de los recubrimientos a base de alginato obteniendo resultados favorables sobre los atributos de calidad de las frutas. Maftoonazad et al. (2008) investigaron el efecto de recubrimientos comestible de alginato de sodio y metilcelulosa sobre la tasa de respiración, firmeza, acidez, pH, sólidos solubles y la pérdida de peso de peras y encontraron una buena retención de la firmeza, disminución en la tasa de respiración y la pérdida de humedad, además de extender la vida útil hasta por 24 días. Por

otro lado, Rojas-Graü et al. (2007b) trabajaron con recubrimientos comestibles a base de alginato y gelano en trozos de manzanas “Fuji”, y estudiaron el efecto de glicerol y aceite de girasol sobre la resistencia al vapor de agua, obteniendo un aumento en la resistencia al vapor de agua de los trozos de fruta, al aumentar las concentraciones de glicerol de 1,0% a 1,75% y las del aceite de girasol de 0,025 a 0,125%.

Para trozos de papaya “Maradol” y manzanas “Fuji”, Tapia et al. (2007) compararon los recubrimientos comestibles de alginato y gelano, con glicerol, aceite de girasol, ácido ascórbico y ácido cítrico, y encontraron que la permeabilidad al vapor del agua fue significativamente mayor en los recubrimientos de alginato que los de gelano y que el aceite contribuyó a reducir la permeabilidad al vapor de agua en recubrimientos de gelano. También encontraron que la resistencia al vapor de agua en los recubrimientos de alginato y gelano, se incrementa al aumentar la concentración de glicerol de 1,0 a 2,0% y de ácido ascórbico de 0,0 a 2,0%.

Otros estudios (Wong et al. 1994) con trozos de manzana con recubrimientos compuestos de celulosa microcristalina, pectina y alginato, cubiertos con una capa doble de monoglicérido acetilado (acetylated monoglyceride), señalaron un aumento en la resistencia al vapor de agua de los trozos recubiertos respecto a los trozos de fruta sin tratar.

En cuanto a los estudios con piña fresca se han utilizado varios tipos de recubrimientos. Azarakhsh et al. (2012) optimizaron las formulaciones de un recubrimiento de alginato y otro de gelano manteniendo constante la concentración de aceite de girasol (0,025%) y de CaCl_2 (2,0%) en trozos de piña del cultivar “Josapine” y recomendaron el uso de 1,29% de alginato de sodio con 1,16% de glicerol y para el recubrimiento de gelano: 0,56% de gelano con 0,86% de glicerol.

En otro estudio realizado por Bierhals et al. (2011), se evaluó el efecto de recubrimientos de almidón de yuca sobre la calidad y la vida útil de la piña fresca cortada del cultivar

“Pérola”, aunque sus resultados no incluyen los valores reales de sus variables, señalan que obtuvieron una reducción de hasta el 51% en la tasa de respiración, 18% en la pérdida de peso y de 25 a 40% en la cantidad de jugo drenado, manteniendo las propiedades mecánicas de los trozos de fruta; sin embargo, la vida útil de la piña fresca cortada no aumentó al usar tales recubrimientos (7 días).

Para el cultivar “Dorada”, Montero-Calderón et al. (2008), estudiaron el efecto de las condiciones de empaque sobre la vida útil de la piña fresca cortada, obteniendo como resultados una disminución significativa en cuanto a la acumulación de líquido en el empaque cuando a los trozos de piña se les aplica un recubrimiento a base de alginato (1,0%) con glicerol (1,5%), aceite de girasol (0,025%), cloruro de calcio (2,0%) y ácido ascórbico (1,0%) (que se redujo de 3,0 a 1,0 mL/100 g_{fruta} al usar el recubrimiento después de 15 días).

También se han hecho estudios de recubrimientos con aditivos para controlar la actividad microbiana en los trozos de piña y melón, como el realizado por Sangsuwan et al. (2008), quienes determinaron el efecto de 3 películas (una comercial, otra a base de quitosano con metilcelulosa y otra a base de quitosano con metilcelulosa incorporando vainillina como un agente antimicrobiano) sobre el control del crecimiento de microorganismos y los atributos de calidad de melón y piña fresca cortada, obteniendo como resultado un efecto inhibitor de los microorganismos cuando se incorpora la vainillina a la película. Además, encontraron que para ambas frutas, la pérdida de peso fue significativamente menor al usar la película comercial que al usar la película a base de quitosano con metilcelulosa y con vainillina, lo cual lo atribuyeron a que la película comercial tenía una mayor barrera al paso de agua.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Materiales

Las piñas (*Ananas comosus*) del cultivar “dorada extra dulce” (dorada, MD-2) fueron adquiridas en un supermercado local y se almacenaron a 9°C por 3 días. Para la elaboración de los recubrimientos se utilizó alginato de sodio (Sigma Aldrich, USA) de grado alimenticio el cual se usó como biopolímero para la formación del recubrimiento. El glicerol (Reagent Plus®, Sigma Aldrich, Steinheim, USA) se utilizó como plastificante, el aceite de girasol (Girol, Argentina) fue agregado como fuente de lípidos y el cloruro de calcio (FlukaAnalytical®, Sigma Aldrich, Steinheim, USA) para crear el entrecruzamiento. Para el envasado de los trozos de piña se utilizaron bandejas de poliestireno (PS) de 500 mL.

Metodología

Formulación del recubrimiento

Las soluciones formadoras se prepararon de acuerdo al procedimiento descrito por Rojas-Graü et al. (2007b). Para la preparación de las soluciones de alginato (1,0-2,0%), este se disolvió en agua destilada agitando la solución mediante un agitador magnético a una temperatura de aproximadamente 70°C. El glicerol fue agregado en varias concentraciones (0,5-5,0%). La solución fue emulsificada con aceite de girasol (0,025-0,4%) usando un homogenizador (CAT X120) por 5 min. La solución se dejó reposar a temperatura ambiente, luego se eliminaron las burbujas de aire atrapadas utilizando una bomba de vacío.

La solución de cloruro de calcio (1,0-10,0%) se disolvió en agua destilada a temperatura ambiente.

Preparación de la fruta

Las piñas se lavaron con una solución de 200 ppm de cloro durante 2 minutos, se dejaron escurrir y se procedió al pelado. Cada fruta se cortó en rodajas de aproximadamente 1cm de espesor, se eliminaron las rodajas de los extremos y se emplearon 6 rodajas del centro, las cuales se cortaron en octavos de rodajas eliminando el corazón. Los trozos se lavaron con una solución de 50 ppm de cloro durante 2 minutos y se dejaron escurrir por unos minutos, en espera de la aplicación del recubrimiento.

4.1. Pruebas preliminares para la preparación y evaluación de los recubrimientos comestibles

Estas pruebas se realizaron para determinar los tiempos y secuencias de inmersión en las soluciones formadoras y el efecto de la aplicación de inmersiones múltiples sobre los atributos de calidad de los trozos de piña. También, se definieron las probetas y condiciones de operación del texturómetro que se utilizarían para realizar las pruebas de firmeza y se hicieron pruebas preliminares para definir el método de medición de la resistencia al vapor de agua (RVA).

Para las pruebas preliminares, la preparación de las soluciones formadoras y de los trozos de piña, se realizó según la metodología descrita en el apartado anterior, utilizando 2,0 y 10,0% de CaCl_2 y 1,0 y 2,0% de alginato, y en todos los casos 1,5% glicerol y 0,025% de aceite de girasol.

4.1.1. Efecto de los tiempos de inmersión sobre la formación del recubrimiento

Se estudió el efecto del tiempo de inmersión de los trozos de fruta en las soluciones sobre la formación del recubrimiento, considerando que la literatura reporta tiempos entre 3 segundos (Olivas et al. 2007) y 2 min (Rojas-Graü et al. 2007a; Tapia et al. 2008; Montero-Calderón et al. 2008) para recubrimientos de alginato.

Se sumergieron los trozos de piña en la solución de alginato por 3 s, se dejó escurrir 3 s luego se sumergió en la solución de CaCl_2 por 3 s y se dejó escurrir por otros 3 s, se repitió el mismo proceso utilizando un tiempo de inmersión de 5 s y 120 s y un tiempo de escurrido 5 y 60 s, respectivamente. Las muestras se colocaron en bandejas plásticas en espera de ser evaluadas.

La formación y la adherencia aparente del recubrimiento se evaluaron cualitativamente, con el fin de asegurar que la cobertura del recubrimiento de alginato abarcara el 100% del área de cada trozo y valorar si el recubrimiento se adhería al trozo, para cada uno de los tiempos de inmersión evaluados. Para ello se hizo una inspección visual del recubrimiento de cada trozo de piña a lo largo de toda su superficie, seguido de una inspección utilizando un estereoscopio (Nikon, modelo SMZ 2T) con un aumento de 1 hasta 6.3X, para comprobar que la cobertura fuera completa (100% de área cubierta) y que el recubrimiento presentara un grosor uniforme (en algunos casos se observaban protuberancias debidas a la viscosidad de las soluciones y la posición de escurrido de los trozos de fruta). La adherencia del recubrimiento al trozo de fruta se evaluó visualmente, observando la presencia de burbujas de aire o líquido atrapadas entre ambas superficies, la presencia de estos evidenciaba una mala adherencia.

4.1.2. Efecto de la aplicación de inmersiones múltiples de los trozos de piña en las soluciones formadoras del recubrimiento

Se evaluó la aplicación de inmersiones múltiples sobre los atributos de calidad de los trozos de piña. Esto con el fin de determinar si la aplicación de inmersiones múltiples contribuía a evitar la salida de jugo de los trozos de piña. Para ello, los trozos de piña se sumergieron en las secuencias incluidas en el Cuadro 4.1. El tiempo de inmersión en cada solución y el de escurrido después de cada inmersión, fueron de 5 segundos.

Cuadro 4.1. Concentraciones de CaCl₂ y alginato usados para la formación de recubrimientos con inmersiones múltiples.

Recubrimiento	Formulación*	Soluciones formadoras ¹			
		1	2	3	4
		% CaCl ₂	% Alginato	% CaCl ₂	% Alginato
Simple	1	2,0	1,0		
Simple+Ca	1	2,0	1,0	2,0	
Doble	1	2,0	1,0	2,0	1,0
Simple	2	2,0	2,0		
Simple+Ca	2	2,0	2,0	2,0	
Doble	2	2,0	2,0	2,0	2,0
Simple	3	10,0	1,0		
Simple+Ca	3	10,0	1,0	10,0	
Doble	3	10,0	1,0	10,0	1,0
Simple	4	10,0	2,0		
Simple+Ca	4	10,0	2,0	10,0	
Doble	4	10,0	2,0	10,0	2,0

¹: Secuencia de inmersión: simple (inmersión en soluciones formadoras 1 y 2); simple + Ca (en soluciones formadoras 1, 2 y 3) y doble (en 1, 2, 3 y 4)

*: Combinación de la concentración de CaCl₂ y alginato: 1: 2,0%CaCl₂-1,0%Alg; 2: 2,0%CaCl₂-2,0%Alg; 3: 10,0%CaCl₂-1,0%Alg y 4: 10,0%CaCl₂-2,0%Alg.

Así, para los recubrimientos etiquetados como de capa “simple” o de una sola capa, los trozos se sumergieron en la siguiente secuencia: “CaCl₂-escurrido-Alg (alginato)-escurrido” por períodos de 5 s; los recubrimientos llamados “simple+Ca” corresponden a la secuencia anterior, más una inmersión adicional en la solución de CaCl₂, con la cual aunque no se formaba una capa adicional, se pretendía fortalecer la primera capa. Finalmente, para los recubrimientos dobles, los trozos se sumergieron en la secuencia “CaCl₂-escurrido-Alg-escurrido-CaCl₂-escurrido-Alg” con lo cual se formaba doble capa de recubrimiento.

Se prepararon 12 trozos de fruta para cada tratamiento, se colocaron en 2 bandejas (6 trozos/bandeja) y se almacenaron a 5°C por 12 días. Se realizaron evaluaciones de pérdida de jugo acumulada, pérdida de peso, color (L*a*b*), firmeza, contenido de sólidos solubles, acidez titulable y la formación del recubrimiento, únicamente el día 12, usando las 2 bandejas de cada tratamiento.

- ◆ **Pérdida de jugo:** La pérdida de jugo se midió dejando reposar las bandejas (2 bandejas/tratamiento) con un ángulo de 15° (aprox.) por 3 min; se recolectó el jugo acumulado en el fondo de la bandeja con una jeringa de 1,00 mL. Los resultados se reportaron como mL/100g de fruta.
- ◆ **Pérdida de peso:** Se determinó el peso inicial y final de cada bandeja (2 bandejas/tratamiento) usando una balanza analítica (marca OHAUS, modelo Scout Pro SP601, 600g, +0,1g), se calculó el porcentaje de pérdida de peso. Los resultados fueron reportados como g/100g de fruta.
- ◆ **Color:** El color de los trozos de piña, se midió a 6 trozos de fruta (tres trozos de cada bandeja), mediante el uso de un colorímetro (Marca Minolta, modelo CR300), usando la escala CIE L*a*b*.
- ◆ **Firmeza:** Se determinó, usando un texturómetro Marca Güss, modelo GS-15, con la velocidad de avance fijada en 10 mm/s y la deformación máxima en 6 mm. Se utilizó

una punta de superficie plana de 5 cm de diámetro, que cubría la totalidad del trozo de piña. Para cada tratamiento se hicieron 6 determinaciones de firmeza. Se reportó el valor máximo de la fuerza de compresión (N) registrada para cada trozo, la cual fue tomada de la curva fuerza-deformación (desplazamiento) de cada medición.

- ◆ **Contenido de sólidos solubles, SS:** Los trozos de piña fueron exprimidos usando un exprimidor manual y el jugo se filtró. El contenido de sólidos solubles se determinó colocando una gota del jugo en un refractómetro (Marca Atago, Modelo Pal 1, de 0-53% °Brix con temperatura autocompensada) la medición se realizó por duplicado. Los resultados se reportaron como %.
- ◆ **Acidez titulable, AT:** La acidez se determinó utilizando 5 g de jugo, se diluyeron en 25 mL de agua destilada y se titularon con hidróxido de sodio (NaOH) 0,09526N, la medición se hizo por duplicado y se obtuvo el porcentaje de acidez titulado mediante la ecuación 4.1. La acidez titulable se reportó como g de ácido cítrico/100g fruta.

$$AT = \frac{V_2 \cdot C_{NaOH} \cdot E \cdot 100}{m_{ja}} \quad (4.1)$$

Donde:

AT: contenido de acidez titulable (g ácido cítrico/100g fruta); V_2 : volumen de la disolución de NaOH consumido en la valoración de la muestra (mL); C_{NaOH} : concentración de la solución de NaOH, (0,09737 M); E: constante del ácido predominante en la muestra analítica (0,064) y M_{ja} : masa del jugo utilizada (en g, aprox. 5 g).

- ◆ **Formación del recubrimiento:** La formación del recubrimiento se evaluó mediante inspección visual, observando la presencia de protuberancias de recubrimiento, llamadas residuos de aquí en adelante, que se forman al escurrir los trozos de fruta después de sumergirlos en la solución de alginato (inmersiones 2 y 3), por la

acumulación de gotas gelificadas del recubrimiento en la parte inferior de los trozos (se dieron calificaciones de 0 y 1, para trozos sin y con residuos, respectivamente) y cuantificando el porcentaje de cobertura del recubrimiento sobre la superficie de los trozos de piña .

4.1.3. Efecto de la selección de puntas y las condiciones de operación del texturómetro sobre la firmeza de los trozos de piña

Se hicieron varias pruebas preliminares de firmeza, para definir un método objetivo que pudiera discriminar entre la firmeza de los trozos de piña sometidos a distintos tratamientos, con y sin recubrimiento, que a su vez fuera confiable y reproducible. Se utilizó un texturómetro marca Güss (modelo GS-15), con velocidades de avance de 5 y 10 mm/s y deformación máxima de 6 mm (condiciones de operación) y se hicieron evaluaciones con tres tipos de puntas: cónica (6,3 mm de diámetro y 5 mm de altura), plana (5 cm de diámetro) y cilíndrica (8 y 11 mm de diámetro). Se registró la fuerza máxima (N).

➤ Efecto del uso de inmersiones múltiples sobre la firmeza de los trozos de piña

Los recubrimientos se aplicaron según fue descrito en el apartado 4.1.2. Se hicieron dos evaluaciones de la firmeza de los trozos: la primera, el día de la aplicación del recubrimiento (3 trozos por tratamiento) usando las puntas cónica y cilíndrica (8 mm) y la segunda, después de 12 días de almacenamiento, usando la punta plana de 5 cm de diámetro (12 trozos por tratamiento). El cambio de punta se hizo, tomando en cuenta los resultados obtenidos en las primeras mediciones, que evidenciaron una gran variabilidad de la firmeza de los trozos, por lo que se definió la el uso de una punta con un área mayor, que cubriera el 100% del área de los trozos de piña y diera un resultado representativo de todo el trozo y el aumento en el número de repeticiones (12/tratamiento). En las dos partes de

esta prueba se usó una velocidad de avance de 10 mm/s y una deformación máxima de 6 mm.

➤ **Efecto del uso de inmersiones simples (una capa de recubrimiento) sobre la firmeza de los trozos**

Se determinó el efecto del uso de inmersiones simples (recubrimientos simples, Cuadro 4.1) sobre la firmeza de los trozos (6 trozos por tratamiento) el mismo día de su preparación, esta vez, variando la velocidad de avance de la punta del texturómetro (5 y 10 mm/s) y utilizando las puntas cilíndricas de 8 y 11 mm con una deformación máxima de 6 mm.

4.1.4. Efecto del orden de inmersión sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña

Se estudió el orden de inmersión (CaCl_2 -Alginato y Alginato- CaCl_2) con concentraciones de 1,0 y 2,0% de alginato y 2,0 y 10,0% de CaCl_2 , para determinar el orden de aplicación de las soluciones formadoras del recubrimiento sobre los trozos de piña.

Los trozos se sumergieron inicialmente en la solución de alginato durante 5s, se dejaron escurrir 5s y se sumergieron en la solución de CaCl_2 , se escurrieron por otros 5 s y se colocaron en una bandeja en espera de ser envasados en bandejas de poliestireno (6 trozos de fruta por bandeja, cuidando que los trozos no pegaran unos con otros. Se repitió el proceso, invirtiendo el orden de inmersión de las soluciones formadoras del recubrimiento (CaCl_2 -Alginato).

Se prepararon 2 bandejas para cada tratamiento, las cuales se almacenaron por 6 días a 5°C. Se realizaron evaluaciones de pérdida de jugo (procedimiento descrito en el apartado 4.1.2)

y la formación del recubrimiento (cobertura y adherencia), los días 1 y 5 utilizando una bandeja de cada tratamiento.

La formación del recubrimiento se evaluó mediante inspección visual, cuantificando el área de cobertura del recubrimiento sobre el trozo de piña (% área cubierta) y la adherencia del recubrimiento al trozo de fruta; observando si había presencia de burbujas de aire o líquido atrapadas entre ambas superficies, lo cual indicaba una baja adherencia.

4.1.5. Método de determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA

La determinación de la RVA se realizó mediante una modificación del método descrito por Rojas Graü et al (2007b) y Tapia et al (2008), que consiste en el acondicionamiento de los trozos de piña en un ambiente con 98,9% de humedad relativa (HR) (98,9% con 0,6 M de NaCl) por 24 h, y posteriormente, estos se colocan en un recipiente con 33% HR (solución sobresaturada de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$) y se registra la pérdida de peso por 4 h. Se determinó la HR dentro de los recipientes con hobs (HOBO®DataLoggers, rango de temperatura de -20 a $70^{\circ}C \pm 0,4^{\circ}C$ y de HR de 25-95% $\pm 3,5\%$). Inicialmente se utilizaron recipientes con cierres herméticos (desecadores) de 2700 y 7500 cm^3 , sin embargo, se encontró que la HR variaba mucho al abrir los recipientes para colocar o sacar las muestras. El método modificado consistió en utilizar un cuarto de 50 m^3 equipado con un sistema de aire acondicionado (Carrier ®) y un deshumidificador portátil (DeLonghi, DH 40 G), con los cuales se logró mantener constantes las condiciones de HR (48%) y temperatura ($23^{\circ}C$), tanto al introducir las muestras para las determinaciones de la resistencia al vapor de agua, como durante el tiempo de medición de la pérdida de peso de los trozos de fruta.

La metodología detallada para determinar la resistencia al vapor de agua en el ensayo definitivo, se describe en el apartado 4.2.3.

La tasa de pérdida de peso se determinó de la pendiente de la curva de pérdida de peso vs tiempo (ds/dt), la cual se utilizó para los cálculos de la RVA, utilizando la ecuación 3.3, que se muestra a continuación.

$$RVA = \left(\frac{P_i - P_a}{R_c * T} \right) * \frac{A}{ds/dt} \quad (3.3)$$

Para los cálculos de la RVA se usó un valor de actividad de agua, a_w , de 0,992, reportado para piña fresca por Ríos et al. (2007) y una presión de vapor de saturación (P_o) a 25°C, de 23,75 mm Hg (Casabo, 1975). La presión parcial del vapor de agua (P_a) en la solución sobresaturada de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (33% HR), corresponde a 7,83 mm Hg ($0,33 * P_o$) y la presión parcial interna de la fruta (P_i) corresponde a 23,56 mm Hg ($a_w * P_o$). La temperatura de las mediciones fue de 298,15 K y la constante universal de los gases ideales ($3,461 \text{ mmHg L K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$, considerando la masa molar del vapor de agua ($18,015 \text{ kg/kg mol}$)). Para el cálculo, se utilizó el área de los trozos de piña expuestos al ambiente, que fue estimado para cada trozo y osciló entre $24\text{-}27 \text{ cm}^2$.

4.2. Efecto de la formulación del recubrimiento comestible: ensayos principales

Se hicieron 3 ensayos, variando la composición de las soluciones formadoras del recubrimiento, para determinar su efecto sobre la pérdida de jugo, los atributos de calidad de los trozos de piña durante el almacenamiento y la resistencia al vapor de agua.

Para la aplicación del recubrimiento, los trozos se sumergieron en la solución de alginato durante 10 s, se dejaron escurrir 10 s y se sumergieron por 10 s en la solución de $CaCl_2$, se dejó escurrir y se colocaron en una bandeja en espera de ser envasados. Para almacenar las muestras de los ensayos indicados en los apartados 4.2.1 y 4.2.2; se colocaron 6 trozos de

piña (aproximadamente 100 g/bandeja) en bandejas de poliestireno, cuidando de que los trozos no se pegaran unos con otros. Las muestras se almacenaron a 5°C por 3 semanas y se realizaron evaluaciones cada 2-3 días.

4.2.1. Efecto de las concentraciones de alginato de sodio y CaCl₂ en la formulación del recubrimiento sobre la pérdida de jugo y la calidad de los trozos de piña fresca

Se evaluó el efecto de las concentraciones de alginato (1,0 y 2,0%) y CaCl₂ (1,0, 2,0 y 10,0%), utilizando 1,5% de glicerol y 0,025% de aceite de girasol, como agentes plastificante e impermeabilizante, respectivamente

Las variables estudiadas fueron: pérdida de jugo y pérdida de peso (4 bandejas/tratamiento, en ambas variables), cuyo procedimiento se indica en el apartado 4.1.2, concentración gaseosa en el espacio de cabeza del empaque, color y formación del recubrimiento.

- ◆ **Concentración gaseosa en el espacio de cabeza del empaque:** Se midieron las concentraciones en la atmósfera interna (espacio de cabeza) de O₂ y CO₂ usando un analizador de gases (marca Illinois, modelo 6600), seleccionando al azar 2 bandejas de cada tratamiento para cada evaluación. Los resultados fueron reportados en porcentaje de O₂ y CO₂.
- ◆ **Color:** La determinación del color de los trozos de piña, se llevó a cabo mediante la utilización de un colorímetro (Marca Minolta, modelo CR300) usando la escala CIE L*a*b*. Se tomaron 3 lecturas a distintos trozos de cada bandeja para obtener un promedio del color, evaluando 2 bandejas por cada tratamiento por evaluación. Se reportaron los cambios de L*, a* y b* a través del tiempo.

- ◆ **Formación del recubrimiento:** La formación del recubrimiento se modificó con respecto a las pruebas preliminares. Se evaluó mediante inspección visual, tomando en cuanto los siguientes aspectos:

- **Uniformidad del grosor aparente del recubrimiento:** Se realizó una inspección visual alrededor de cada trozo, observando acumulación del mismo recubrimiento en algunas partes del trozo, los datos se registraron como se indica en el Cuadro 4.2, y los resultados se reportaron como porcentaje de trozos con recubrimientos uniformes.

Cuadro 4.2. Escala de uniformidad aparente del recubrimiento.

uniformidad	Descripción
1	Recubrimiento uniforme sobre toda la superficie del trozo de piña
0	Recubrimiento desuniforme (con protuberancias del recubrimiento, principalmente en los extremos)

- **Adherencia del recubrimiento al trozo de piña:** Para lo cual se procedió a observar la presencia de burbujas de aire o líquido entre la fruta y el recubrimiento, arrugas u otros síntomas que reflejen una separación y se procedió a aplicar una leve fuerza tangencial para determinar la facilidad con que se lograba separar el recubrimiento del fruto. Los resultados de adherencia fueron registrados como se muestra en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Escala de adherencia.

Escala	Adherencia relativa
5	Muy alta: el recubrimiento no se desprende al aplicar una fuerza tangencial fuerte sobre la superficie del trozo.
4	Alta: El recubrimiento se desprende parcialmente al aplicar una fuerza tangencial media sobre la superficie del trozo.
3	Media: El recubrimiento se desprende parcialmente al aplicar una pequeña fuerza tangencial sobre la superficie del trozo.
2	Baja: El recubrimiento se desprende fácilmente con solo tocar el trozo.
1	Muy baja: se observan áreas del recubrimiento separadas de la superficie de la fruta, con presencia de burbujas de aire o líquido.

4.2.2. Efecto del contenido de glicerol y aceite de girasol en la formulación del recubrimiento sobre la pérdida de jugo y la calidad de los trozos de piña fresca cortada

En este ensayo se evaluó el efecto de las concentraciones de glicerol (0,5, 1,5, 2,5 y 5,0%) y aceite de girasol (0,05, 0,2 y 0,4%), usando soluciones de 1,5% de alginato y 1,0% de CaCl₂.

Las variables evaluadas fueron: pérdida de jugo, pérdida de peso, composición del espacio de cabeza en el empaque, color, SS y AT de las muestras y adherencia del recubrimiento a los trozo de piña, descritas en los apartados anteriores. La determinación de la pérdida de peso y de jugo y la concentración de gases en el espacio de cabeza se hicieron según fue descrito en 4.1.2 y 4.2.1, la de las demás variables se describe seguidamente.

- ◆ **Tasa de respiración:** La medición de la tasa respiratoria se hizo utilizando 6 trozos de fruta de aproximadamente 100 g (se evaluaron 2 bandejas/tratamiento para cada día de evaluación). Los trozos, debidamente pesados, se colocaron en recipientes de vidrio (con un volumen de 1060 mL) por 2 horas a temperatura ambiente (22-24°C). Luego se midió la concentración de O₂ y CO₂ y se calculó la tasa respiratoria utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa respiratoria} = \frac{CO_2\ 0 - CO_2\ f / 100 * V}{P * t} \quad \text{mLCO}_2/\text{kg h} \quad (4.2)$$

Donde,

P: peso de la muestra (aprox. 0,1 kg); t: tiempo de análisis (2 h); V: volumen del recipiente que contiene la muestra (1060 mL) y [CO₂]: concentración de CO₂ inicial (0) y final (f) en %.

- ◆ **Firmeza:** La firmeza se midió en 12 trozos de piña para cada tratamiento usando un texturómetro (Marca Güss, modelo GS-15) con una punta de 11 mm de diámetro, estableciendo una velocidad de avance de 5 mm/s y una penetración máxima de 6 mm. Se registró la fuerza máxima (N).
- ◆ **pH:** El pH se determinó por medición directa en el jugo de la muestra utilizando un pHmetro (Cole ParmerChemcadet 5986-50), por duplicado.
- ◆ **Apariencia general:** Mediante inspección visual y con el uso de la siguiente escala subjetiva (Cuadro 4.4) se evaluó la apariencia general de 2 bandejas de cada tratamiento para cada evaluación.

Cuadro 4.4. Escala subjetiva de apariencia

Escala	Apariencia
5	Excelente
4	Muy buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala

- ◆ **Formación del recubrimiento:** Se evaluó la cobertura y grosor del recubrimiento, y la adherencia del recubrimiento al trozo de piña (procedimiento descrito en apartado 4.2.1).
- **Cobertura y grosor:** Se procedió a teñir la solución de alginato con un colorante celeste jade de grado alimenticio (Productos INVIMO, CR), se sumergieron los trozos en las soluciones de alginato y posteriormente en CaCl_2 , se almacenaron a 5°C y al día siguiente se realizaron las evaluaciones. Mediante inspección visual se evaluó la cobertura del recubrimiento alrededor de toda la superficie del trozo. Se procedió a cortar un segmento de cada trozo con un cúter y por medio de un micrómetro (Starrett N° 732) se aproximó, para cada lado del trozo, el espesor del recubrimiento (Fig.4.1). El espesor se midió para 3 trozos de cada tratamiento y los resultados se reportaron como espesor promedio en mm.

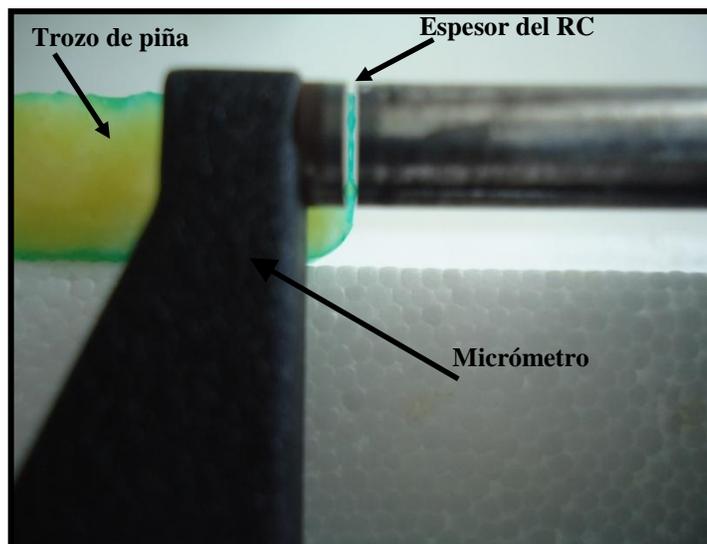


Figura 4.1. Método para medir el espesor del recubrimiento.

4.2.3. *Determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA*

Se elaboraron las soluciones formadoras del recubrimiento para cada tratamiento, según se muestra en el Cuadro 4.5, de acuerdo al procedimiento descrito al inicio del apartado 4 (formulación del recubrimiento). Se prepararon 15 trozos de pinya de tamaño uniforme para cada tratamiento, con un área aproximada de 12 cm^2 . Se pesaron las muestras y se introdujeron en una cámara refrigerada (50 cm^3), acondicionada de acuerdo al método descrito en el apartado 4.1.5. Adicionalmente, se llevó un control de la temperatura y humedad relativa con registradores HOBOTM DataLoggers (con un rango de temperatura de -20 a $70^\circ\text{C} \pm 0,4^\circ\text{C}$ y de HR de $25-95\% \pm 3,5\%$) durante todo el ensayo. Después de transcurridas 4 h, se midió el peso de cada muestra dentro de las cámaras. El tiempo de permanencia en las cámaras se fijó en 4 horas, dado el comportamiento lineal que mostraban las muestras en la reducción del peso.

Cuadro 4.5. Concentraciones de CaCl_2 , glicerol y aceite de girasol de los diferentes recubrimientos de 1,5 % de alginato, para determinar la RVA.

Tratamiento	%CaCl_2	% Glicerol	% Aceite de girasol
T1	1,0	1,5	0,05
T2	1,0	2,5	0,05
T3	1,0	1,5	0,2
T4	1,0	2,5	0,2
T5	2,0	1,5	0,05
T6	2,0	2,5	0,05
T7	2,0	1,5	0,2
T8	2,0	2,5	0,2
Testigo	Sin recubrimiento		

Para el cálculo de la resistencia al vapor de agua de los trozos de piña, RVA, se utilizó la ecuación 3.3 (apartado 4.1.5). Se utilizó una presión de vapor de saturación (P_o) a 23°C de 21,06 mm Hg (Casabo, 1975) y una presión parcial del vapor de agua (P_a) dentro del cuarto acondicionado con 48% HR, correspondiente a 10,11 mm Hg ($0,48*P_o$). La temperatura durante el ensayo fue de 296,1 K y el área de los trozos de piña expuestos al ambiente osciló entre 10-12 cm².

4.3. Diseños estadísticos

Para todos los ensayos se utilizaron diseños irrestrictos al azar, tomando en cuenta las variables estudiadas en cada caso (variables independientes) y los tiempos de almacenamiento. Se utilizó el programa Infostat (versión 2008) para análisis de varianza con separación de medias usando Duncan ($p \leq 0,05$).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Pruebas preliminares para la preparación y evaluación de los recubrimientos comestibles

En este apartado se incluyen los resultados de las pruebas preliminares, relacionados con la metodología de preparación de los recubrimientos comestibles y de la evaluación de la fruta durante el almacenamiento. Las pruebas permitieron definir los tiempos y secuencia de inmersión, el efecto de inmersiones múltiples y los parámetros para las determinaciones de la firmeza, las escalas para las mediciones subjetivas y la metodología para las determinaciones de la resistencia al vapor de agua de los recubrimientos comestibles. Los resultados de estas pruebas se utilizaron para la realización de los ensayos principales de este estudio.

5.1.1. *Efecto de los tiempos de inmersión sobre la formación del recubrimiento*

El tiempo de inmersión de los trozos de piña en las soluciones formadoras de CaCl_2 y alginato no tuvo efecto significativo sobre el % de área de cobertura, la uniformidad, adherencia y apariencia del recubrimiento, ya que la formación del recubrimiento ocurre de forma instantánea. Estos resultados se explican porque el alginato tiene la capacidad de formar rápidamente enlaces con cationes multivalentes, para formar un gel fuerte y muy estable. Con la interacción de los iones de calcio con los grupos policarboxílicos del alginato, se forman una red de entre-cruzamientos tridimensional que conforman una estructura tipo “caja de huevo” (Rojas-Graü et al. 2007a; Tapia et al. 2008 y Wong et al. 1996). Estos resultados, concuerdan con los resultados reportados por Olivas et al. (2007) con manzanas, quienes utilizaron tiempos de inmersión de 3 segundos y obtuvieron recubrimientos uniformes y adheridos fuertemente sobre la superficie de la fruta. Otros autores (Rojas-Graü et al. 2007b; Tapia et al. 2008; Montero-Calderón et al. 2008) usaron

tiempos inmersión de dos minutos para recubrimientos de alginato y gelano, en manzana, papaya y piña, también con buenos resultados.

Los resultados de las pruebas preliminares de este estudio, mostraron que tiempos de inmersión de 120 s no mejoraban la apariencia del recubrimiento, ni su desempeño, por lo que para las siguientes pruebas de este estudio, se definió el uso de tiempos cortos de 10 s. Se descartó el uso de 3 y 5 s, por razones operativas, para poder controlar mejor el tiempo de inmersión y la reproducibilidad de los tratamientos.

5.1.2. Efecto de la aplicación de inmersiones múltiples de los trozos de piña en las soluciones formadoras del recubrimiento

El uso de inmersiones múltiples tuvo un efecto negativo sobre la pérdida de jugo drenado de los trozos de piña, pues los resultados mostraron que las pérdidas de jugo tendieron a ser mayores al incrementar la cantidad de inmersiones (Cuadro 5.1). Aumentaron de 0,00 a 0,61 mL/100 g_{fruta} y de 3,43 a 7,41 mL/100 g_{fruta} al pasar de dos inmersiones a cuatro, al usar 2,0 y 10,0% de CaCl₂, respectivamente. Contrario a lo esperado, la doble pared no ayudó a disminuir la salida del jugo de los trozos de piña, sino que tuvo el efecto contrario. Esto podría atribuirse al efecto de la inmersión del trozo en la segunda solución de cloruro de calcio (tercera inmersión), que podría haber afectado la permeabilidad del recubrimiento de la primera capa, o ejercido una mayor presión osmótica con lo cual se pudo haber facilitado la salida del jugo de los trozos de piña. La concentración de alginato en las soluciones formadoras del recubrimiento no tuvo efectos significativos ($p > 0,05$) en la pérdida de jugo de los trozos de piña en los trozos con inmersiones múltiples (Cuadro 5.1). El efecto de la concentración de las soluciones de alginato y cloruro de calcio sobre la pérdida de jugo, se discuten en el apartado 5.2.1.

Durante el almacenamiento, se observó que el jugo de fruta se acumulaba entre las dos capas de recubrimiento, lo cual evidenció la separación de ambas capas. La ausencia de adherencia entre capas podría deberse a las diferencias entre las interacciones de la superficie del trozo de fruta con la primera capa del recubrimiento y entre la primera y la segunda capa, dado que el recubrimiento se formó instantáneamente, al introducir los trozos en la solución formadora de alginato. Para la primera capa se observó que hubo muy buena adherencia entre el recubrimiento y la superficie de la fruta, lo cual se explica por el buen contacto entre la superficie rugosa de la piña y la solución de CaCl_2 y por las interacciones de los iones de calcio con algunos de los componentes de la fruta, que posiblemente se mantuvieron al formarse la capa del recubrimiento. En el segundo caso, se formaron dos capas de recubrimiento separadas, con ninguna o muy poca adherencia entre ellas. El espacio entre las dos capas fue más evidente durante el almacenamiento de los trozos, ya que estas se separaron por la acumulación de líquido entre ellas, lo cual se atribuye a la menor resistencia a la transferencia de masa que ofrecía el espacio entre capas, con respecto a la resistencia a través de las capas del recubrimiento. Sin embargo, los resultados muestran que durante el almacenamiento a 5°C y 80% HR, la pérdida acumulada de jugo para el día 12, fue mayor para los trozos de piña con doble capa que con capa sencilla de recubrimiento, de manera que aunque el líquido se acumulaba entre las dos capas del recubrimiento, eventualmente continúa su camino hacia la parte externa del recubrimiento.

El incremento en la pérdida de jugo de los trozos podría deberse a que el contacto directo con el jugo acumulado entre las capas, pudo alterar las características de permeabilidad del recubrimiento y con ello, facilitar la salida de jugos, lo cual concuerda con los resultados de Morillon et al. (2000), quienes evaluaron el efecto del estado físico del agua sobre las propiedades de barrera de recubrimientos hidrofílicos e hidrofóbicos y encontraron un aumento importante en la permeabilidad en los primeros, sin cambios en los hidrofóbicos. Así, la permeabilidad de los recubrimientos expuestos a soluciones con alta actividad de agua fue mayor cuando había contacto directo con el líquido que cuando el contacto era con

el vapor de agua, para las películas de celofán la permeabilidad (25°C) aumentó de 80 a $160 \times 10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ y para el recubrimiento comestible a base de grasa vegetal hidrogenada que usaron, compuesto de partículas hidrofílicas (azúcares) dispersas en una fase lípida, la permeabilidad aumentó aproximadamente de 5 a $45 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. En el presente estudio, el ambiente que rodeaba los trozos de piña dentro de los empaques, también tenía una alta humedad relativa y el contacto con el líquido se dio tanto por el jugo acumulado entre las capas del recubrimiento, como entre la fruta y la primera capa. Adicionalmente, el recubrimiento a base de alginato tiene componentes hidrofílicos e hidrofóbicos, tal como el usado por Morillon et al. (2000), por lo que es posible que la permeabilidad también se viera incrementada por el contacto directo con el jugo de la fruta.

Estas observaciones, resaltan la importancia de estudiar los fenómenos de transferencia de masa que ocurren a través de los recubrimientos comestibles, especialmente para frutos muy jugosos como la piña, con el fin de buscar las alternativas que permitan un mayor control de la pérdida de jugos de los trozos de fruta durante su comercialización.

Wong et al. (1994), reportaron el uso de capas múltiples, combinando una capa de recubrimiento de polisacáridos, con otra de lípidos en trozos de manzana. Ellos encontraron un aumento importante en la resistencia al vapor de agua, atribuido a la capa de lípidos, aunque no brindaron datos de la pérdida de peso o de jugo del producto durante el almacenamiento, ni de la interacción entre capas. No hay referencias de otros autores que hayan utilizado capas múltiples en trozos de fruta fresca.

Los resultados de la pérdida de peso en los trozos de piña tratados con inmersiones múltiples, mostraron una ligera tendencia a disminuir conforme el número de inmersiones aumentaba (Cuadro 5.1), aunque las diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$) cuando se usaron distintas concentraciones de alginato y 10,0% de cloruro de calcio.

Cuadro 5.1. Efecto del uso de inmersiones múltiples en las soluciones formadoras de recubrimiento sobre la pérdida de jugo y peso de los trozos de piña, almacenados por 12 días a 5 °C y 80% HR.

Cantidad de inmersiones ¹	Pérdida de jugo (mL/100g fruta)		Pérdida de peso(g/100g fruta)	
	% CaCl ₂		% CaCl ₂	
	2,0	10,0	2,0	10,0
2 (Simple)	0,00 ± 0,00	3,43 ± 0,77 ^a	0,39 ± 0,05 ^b	0,33 ± 0,06
3 (Simple+Ca)	0,28 ± 0,56	5,00 ± 0,52 ^b	0,33 ± 0,05 ^{ab}	0,33 ± 0,08
4 (Doble)	0,61 ± 0,71	7,41 ± 1,13 ^c	0,28 ± 0,06 ^a	0,27 ± 0,06

Concentración de alginato (%)	% CaCl ₂		% CaCl ₂	
	2,0	10	2,0	10,0
	1,0	0,19 ± 0,45	5,01 ± 2,11	0,36 ± 0,06
2,0	0,40 ± 0,63	5,54 ± 1,75	0,31 ± 0,07	0,30 ± 0,07

¹: Secuencia de inmersión: a) capa simple: CaCl₂-Alg; b) capa simple + Ca: CaCl₂-Alg-CaCl₂; c) capa doble: CaCl₂-Alg-CaCl₂-Alg

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas (p≤0,05)

La pérdida de peso de los trozos de piña, mide la diferencia de peso del producto empacado durante el almacenamiento, que es la pérdida de vapor de agua a través del empaque, que corresponde a parte del vapor de agua que pierden los trozos de fruta.

Al comparar las pérdidas de jugo con las pérdidas de peso, se aprecia que las primeras fueron mucho mayores. Las diferencias se deben a que la pérdida de peso mide la pérdida de vapor de agua a través del empaque, mientras que el jugo queda acumulado en el fondo del mismo. La gran diferencia entre estos resultados, podría deberse a que ocurren dos fenómenos de transferencia de masa a través del recubrimiento, uno como vapor de agua y otro directamente como jugo, lo cual se discute en el apartado 5.2.1.

El efecto de las inmersiones múltiples y de la composición de las soluciones formadoras del recubrimiento, sobre el color de los trozos de piña, se muestran en el Cuadro 5.2. No se encontraron diferencias ($p>0,05$) en la luminosidad de los trozos de fruta (L^*) que variaron entre 59,3 y 63,8 para los tratamientos con las dos concentraciones de CaCl_2 y de alginato y las inmersiones múltiples (dos a cuatro). Sin embargo, se apreció una gran variabilidad entre los resultados, atribuida a la variabilidad entre los trozos de piña, tanto por las diferencias inherentes de la morfología de los trozos de piña como por la variación normal en el color a lo largo de la fruta, dado que esta cambia de color iniciando desde la base hasta la corona (Montero-Calderón et al. 2008).

La apariencia de los trozos de piña con cuatro inmersiones (doble capa de recubrimiento), parecían más opacos a simple vista, sin embargo, los resultados del parámetro L^* no mostraron diferencias importantes entre ellos, por lo que la medición de este parámetro de color no permitió discriminar entre los trozos con capas simple y doble de recubrimiento. Adicionalmente, no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los parámetros de color a^* y b^* ; sin embargo, los valores de a^* y b^* fueron ligeramente menores (-1,0/-1,8 y 21,2/23,4, respectivamente) cuando se hicieron cuatro inmersiones. El uso de diferentes concentraciones de cloruro de calcio y de alginato, también parecen afectar ligeramente el color, pero las diferencias fueron por la variabilidad natural del color de los trozos de piña.

Cuadro 5.2. Efecto del uso de inmersiones múltiples sobre el color ($L^*a^*b^*$) de los trozos de piña, almacenados por 12 días a 5 °C y 80% HR

Cantidad de inmersiones ¹	Color: L*		Color: a*		Color: b*	
	% CaCl ₂		% CaCl ₂		% CaCl ₂	
	2,0	10,0	2,0	10,0	2,0	10,0
2 (Simple)	59,9 ± 4,5	63,4 ± 7,5	-1,4 ± 0,2	-2,5 ± 0,5	24,6 ± 2,8	24,2 ± 2,4
3 (Simple+Ca)	63,8 ± 4,9	63,0 ± 2,1	-1,7 ± 0,5	-2,3 ± 0,4	24,2 ± 3,2	26,0 ± 2,0
4 (Doble)	59,3 ± 5,8	59,0 ± 2,1	-1,0 ± 0,7	-1,8 ± 0,8	21,2 ± 3,1	23,4 ± 3,3

Concentración de alginato (%)	% CaCl ₂		% CaCl ₂		% CaCl ₂	
	2,0		10,0		2,0	
	2,0	10,0	2,0	10,0	2,0	10,0
1,0	62,8 ± 4,8	63,5 ± 3,9	-1,2 ± 0,5	-2,3 ± 0,5	24,9 ± 2,1	26,0 ± 1,7
2,0	59,3 ± 5,3	60,1 ± 5,3	-1,5 ± 0,6	-2,1 ± 0,7	21,8 ± 3,6	23,1 ± 2,9

¹: Secuencia de inmersión: a) capa simple: CaCl₂-Alg; b) capa simple + Ca: CaCl₂-Alg-CaCl₂;

c) capa doble: CaCl₂-Alg-CaCl₂-Alg

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Los resultados de la firmeza para trozos sometidos a inmersiones múltiples, se discuten en el apartado 5.1.3 (sección de inmersiones múltiples), dado que fue necesario realizar varias pruebas para seleccionar las condiciones de operación del texturómetro para las siguientes pruebas.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable de los trozos de piña durante los 12 días de almacenamiento a 5 °C y 80% HR, independientemente de si se hicieron 2, 3 ó 4 inmersiones en las soluciones formadoras (Cuadro 5.3); sin embargo, se encontró que el contenido de sólidos solubles de los trozos de fruta sometidos a cuatro inmersiones (doble capa de recubrimiento), fue ligeramente menor que la de los trozos de otros tratamientos. La reducción se atribuyó a que la masa total de los trozos con doble capa de recubrimiento, aumentó entre 1 y 3 g,

respecto a los 10 g correspondientes a la masa del trozo sin recubrir, y dado que contenido de sólidos solubles de las soluciones formadoras de los recubrimientos fue del orden de 2% para las soluciones de alginato y 1,5% para las soluciones de CaCl_2 , la medición de los SS de los trozos con doble capa de recubrimiento dio menores valores, disminución que no se debió a cambios en la composición de la fruta, sino a la masa agregada al trozo con el recubrimiento.

Cuadro 5.3. Efecto del uso de inmersiones múltiples sobre el contenido de sólidos solubles y la acidez de los trozos de piña, almacenados por 12 días a 5 °C y 80% HR.

Cantidad de inmersiones ¹	SS		AT	
	% CaCl_2		% CaCl_2	
	2,0	10,0	2,0	10,0
2 (Simple)	11,1 ± 0,5	10,8 ± 0,4	0,53 ± 0,04	0,59 ± 0,03
3 (Simple+Ca)	11,4 ± 0,3	10,9 ± 1,2	0,58 ± 0,05	0,57 ± 0,02
4 (Doble)	9,6 ± 1,3	10,2 ± 0,9	0,54 ± 0,04	0,46 ± 0,08

Concentración de alginato (%)	% CaCl_2		% CaCl_2	
	% CaCl_2		% CaCl_2	
	2,0	10,0	2,0	10,0
1,0	11,2 ± 0,6	10,7 ± 0,9	0,58 ± 0,04	0,54 ± 0,10
2,0	10,2 ± 1,4	10,6 ± 0,9	0,52 ± 0,04	0,53 ± 0,05

SS: contenido de sólidos solubles (%); AT: acidez titulable en g ácido cítrico/100 g fruta

¹: Secuencia de inmersión: a) capa simple: CaCl_2 -Alg; b) capa simple + Ca: CaCl_2 -Alg- CaCl_2 ; c) capa doble: CaCl_2 -Alg- CaCl_2 -Alg

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En cuanto a la formación del recubrimiento, se observó que la aplicación de inmersiones múltiples deterioraba la apariencia y brillo de los trozos de piña, especialmente cuando se usaron soluciones con 2,0% de alginato, ya que las capas se veían más gruesas, opacas y con acumulaciones (residuos) del mismo recubrimiento en algunas partes del trozo de fruta.

Asimismo, se observó que todos los recubrimientos cubrieron el 100% de la superficie de los trozos de piña.

En síntesis, el uso de inmersiones múltiples no contribuyó a reducir la pérdida del jugo ni la de peso de los trozos de piña, no tuvo un efecto significativo sobre el color, el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable de los trozos de piña cortada y tampoco tuvo un efecto beneficioso sobre la apariencia, por lo que se decidió continuar el estudio con una sola capa de recubrimiento.

5.1.3. Efecto de la selección de puntas y las condiciones de operación del texturómetro sobre la firmeza de los trozos de piña

➤ Efecto del uso de inmersiones múltiples sobre la firmeza de los trozos de piña

En la Figura 5.1 se incluyen cuatro curvas fuerza-desplazamiento típicas de las pruebas de firmeza de los trozos de fruta sin recubrimiento, para un desplazamiento máximo fijado en 6,0 mm. Se observa que tanto la forma de las curvas, como los valores de la fuerza aplicada a los trozos de fruta variaron considerablemente entre trozos. Las diferencias se atribuyeron a la poca uniformidad de tejidos de los trozos de piña, que inciden directamente sobre las determinaciones de la firmeza, provocando una gran variabilidad en las mediciones, tal como fue reportado por Montero-Calderón et al. (2010).

Las curvas fuerza-distancia, mostraban un incremento de la fuerza conforme la punta del texturómetro avanzaba dentro del trozo de piña, hasta un punto máximo donde ocurría un fallamiento (punto de bio-fluencia), a partir del cual, para algunos trozos, un incremento adicional en el recorrido (distancia) no reflejaba un incremento en la fuerza de compresión aplicada (Figuras 5.1 a y c); después de ese punto se observaban una serie de pequeños

picos en la fuerza, con valores inferiores o similares a la fuerza del punto de fluencia, que denotaban fallamientos adicionales en el tejido de la piña. En otros casos, como el mostrado en la Figura 5.1.b, se llegaba a un punto de fallamiento, pero al continuar el avance de la punta del texturómetro, la fuerza seguía aumentando y mostrando múltiples fallas, atribuidas a la complejidad de los tejidos de la piña que dificultaba la identificación del punto de fluencia. La reducción pronunciada de la fuerza observada en las figuras 5.1.b y d, se atribuyó a espacios vacíos propios dentro de la estructura de la piña o tejidos blandos que podrían haber facilitado el avance de la probeta dentro de los trozos de piña sin incremento en la fuerza. Las curvas de fuerza-distancia de los trozos de piña con recubrimiento, fueron similares a las descritas anteriormente, mostrando también una gran variabilidad entre los trozos, por lo que no fue posible identificar ningún efecto del uso de recubrimientos sobre la firmeza de los trozos de piña.

Durante las evaluaciones, también se observó que la superficie lisa del recubrimiento de alginato tendía a provocar un ligero desplazamiento lateral de los trozos durante la mediciones de la firmeza, especialmente en los trozos con capa doble de recubrimiento (cuatro inmersiones), lo cual indica que parte de la fuerza de compresión aplicada al trozo de fruta, se transformaba en energía cinética, perpendicular a la dirección en que se aplicaba la fuerza, posiblemente favorecido porque las capas de recubrimiento no se adherían entre sí. Se descartaron las muestras en que ocurría el desplazamiento, pero la distribución de esfuerzos dentro de los trozos como resultado de la interacción entre las capas de recubrimiento pudo haber contribuido con la variabilidad de los resultados.

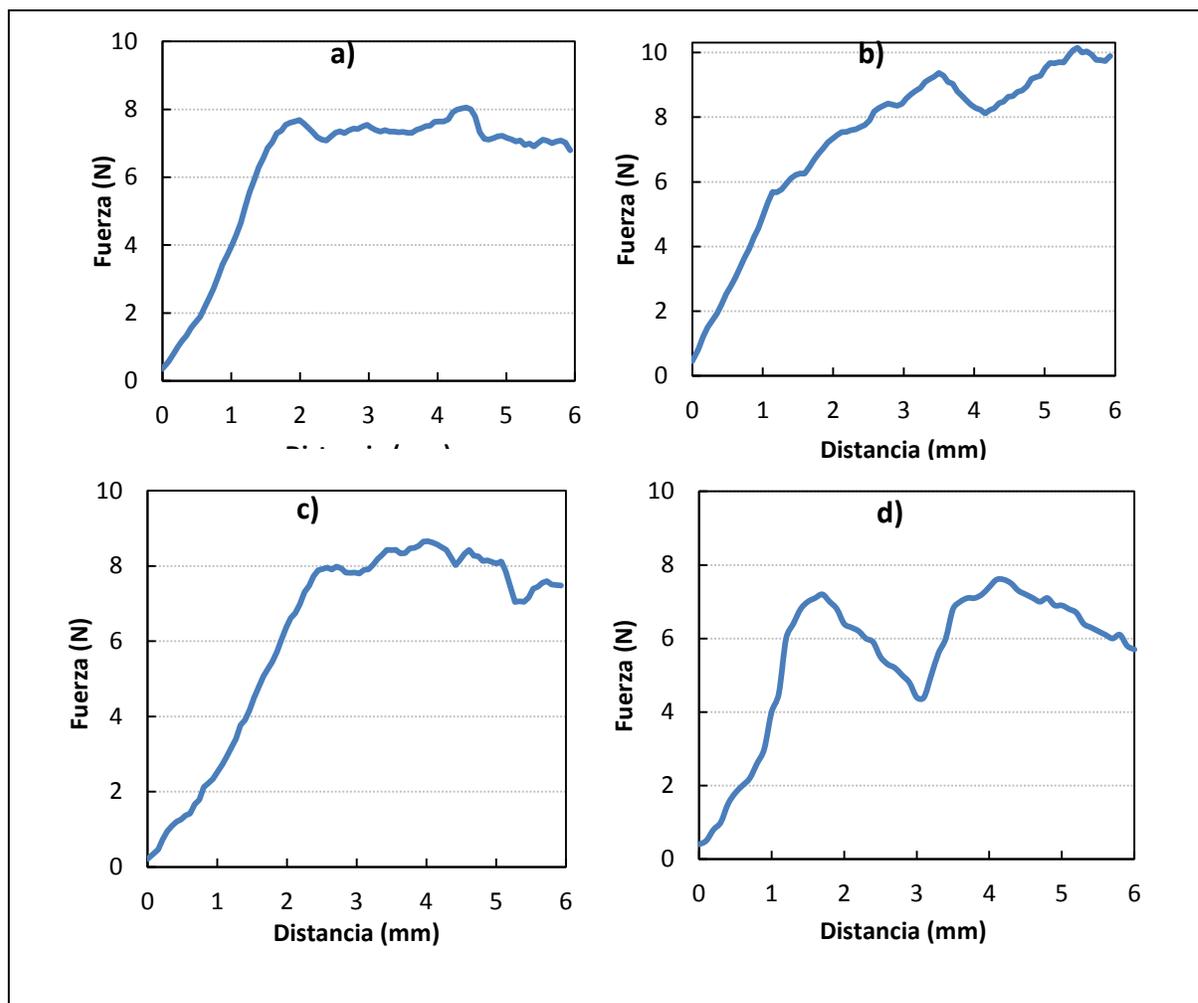


Figura 5.1. Curvas fuerza-desplazamiento obtenidas para las pruebas de firmeza que ilustra la variabilidad del comportamiento mecánico de los trozos de pña

En el Cuadro 5.4 se muestran los resultados de la firmeza de los trozos de pña (inmersiones múltiples) expresados como la fuerza máxima obtenida como respuesta a una fuerza de compresión unidireccional con un desplazamiento máximo de la punta de 6,0 mm. Para concentraciones de alginato de 1,0 y 2,0% y 2,0% de CaCl_2 , no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre la firmeza de los trozos de pña con 2, 3 y 4 inmersiones para ninguna de las puntas utilizadas (cónica, cilíndrica y plana), con o sin

almacenamiento. La hipótesis de que el uso de alguna de las tres puntas utilizadas, podría permitir una mejor discriminación entre la firmeza de los trozos con distintos tratamientos, fue descartada a raíz de los resultados de este estudio, para recubrimientos con 1,0-2,0% de alginato y 2,0% de CaCl₂. Cuando se usó una concentración de 10,0% de CaCl₂, los resultados mostraron algunas diferencias significativas, sin embargo el comportamiento no fue muy claro al aumentar el número de inmersiones, mostrando inconsistencias sobre el efecto en la firmeza de los trozos de fruta.

Cuadro 5.4. Efecto de las inmersiones múltiples sobre la firmeza en los trozos de piña.

Cantidad de inmersiones ¹	Firmeza ² (N)					
	Día 0				Día 12 (5°C)	
	Punta cónica de 6,3 mm		Punta cilíndrica de 8 mm		Punta plana de 5 cm	
	% CaCl ₂		% CaCl ₂		% CaCl ₂	
	2,0	10,0	2,0	10,0	2,0	10,0
2 (Simple)	7,3 ± 3,5	7,3 ± 1,0 ^a	13,2 ± 2,5	11,7 ± 1,3 ^b	96 ± 17	92 ± 18 ^{ab}
3 (Simple+Ca)	7,0 ± 1,1	5,6 ± 0,6 ^b	12,3 ± 0,9	13,2 ± 1,0 ^a	98 ± 22	99 ± 21 ^a
4 (Doble)	6,1 ± 0,7	5,8 ± 0,5 ^b	12,2 ± 1,2	12,3 ± 1,1 ^{ab}	110 ± 12	88 ± 15 ^b
Concentración de alginato (%)	% CaCl ₂		% CaCl ₂		% CaCl ₂	
	2,0	10,0	2,0	10,0	2	10
1,0	7,2 ± 2,8	5,9 ± 1,0	12,3 ± 1,3	12,5 ± 0,8	104 ± 21	94 ± 20
2,0	6,5 ± 1,0	6,5 ± 1,0	12,9 ± 2,0	12,3 ± 1,6	97 ± 15	92 ± 18

¹: Secuencia de inmersión: a) capa simple: CaCl₂-Alg; b) capa simple + Ca: CaCl₂-Alg-CaCl₂;

c) capa doble: CaCl₂-Alg-CaCl₂-Alg

²: Firmeza medida a una velocidad de avance de 10 mm/s

➤ **Efecto del uso de inmersiones simples (una capa de recubrimiento) sobre la firmeza de los trozos**

Los resultados del efecto de las condiciones de operación del texturómetro (5 y 10 mm/s) y la punta del texturómetro (8 y 11 mm) usando inmersiones simples, se incluyeron en el Cuadro 9.1 del anexo. No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre las determinaciones de firmeza de los trozos con y sin recubrimiento, por lo que se encuentra que la eficacia del método de medición de la firmeza no permitía discriminar entre tratamientos, con ninguna de las puntas evaluadas ni las dos velocidades de avance del texturómetro. Para las siguientes pruebas, se recomendó usar la punta cilíndrica sólida de 11 mm de diámetro, con una velocidad de avance de 5 mm/s, con el fin de registrar valores promedio de la firmeza para los trozos de piña, utilizando parámetros de operación similares a los descritos por otros autores para trozos de manzana, melón y papaya con recubrimientos de alginato (Olivas et al. 2007; Oms et al. 2008 y Tapia et al. 2008, respectivamente).

5.1.4. Efecto del orden de inmersión sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña

Para la variable de la pérdida de jugo de los trozos de piña almacenados por 5 días a 5°C, preparados con las dos secuencias de inmersión, se encontró que cuando la fruta se sumergía en la secuencia CaCl_2 -Alginato, la pérdida de jugo acumulado de los trozos de fruta fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$) que cuando se usó la secuencia opuesta (Cuadro 5.5). La pérdida de jugo aumentó casi 10 veces al cambiar la secuencia de inmersión de Alg- CaCl_2 a CaCl_2 -Alg (0,12 a 1,14 mL/100 g_{fruta}) cuando se usó una concentración del 2,0% de cloruro de calcio, y casi 4 veces cuando se usó el 10,0% de CaCl_2 (0,79 a 3,05 mL/100 g_{fruta}), de modo que tanto la concentración de la solución de cloruro de calcio como el orden de inmersión en las soluciones formadoras afectan la

pérdida de jugo de los trozos de fruta. Estos resultados podrían deberse a: 1) diferencias en la adherencia entre el recubrimiento y la superficie del fruto; 2) el efecto de la diferencia en la presión osmótica provocada por la concentración del CaCl_2 ; 3) diferencias en la estructura del recubrimiento provocadas por la abundancia relativa de iones de calcio en el momento en que éste se forma; ó 4) intercambio de masa por otro medio (fisuras en el recubrimiento, difusión u otro tipo de intercambio de masa). El aumento en la concentración del alginato de 1,0 a 2,0%, muestra una ligera tendencia a incrementar la pérdida de jugo de los trozos de fruta, sin embargo los resultados mostraron gran variabilidad, atribuida a que los datos incluyen las dos secuencias de inmersión, lo cual tiene un gran efecto sobre la pérdida de jugo, tal como se discutió anteriormente.

Cuadro 5.5. Efecto del orden de inmersión sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña, almacenados por 5 días a 5 °C y 80% HR.

Orden de inmersión	Pérdida de jugo (mL/100g fruta)	
	% CaCl_2	
	2,0	10,0
Alg- CaCl_2	0,12 \pm 0,13 ^b	0,79 \pm 0,02 ^b
CaCl_2 -Alg	1,14 \pm 0,41 ^a	3,05 \pm 0,02 ^a

Concentración de alginato (%)	% CaCl_2	
	2,0	10,0
1,0	0,50 \pm 0,26	1,90 \pm 1,18
2,0	0,77 \pm 0,80	1,94 \pm 1,18

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

La formación del recubrimiento presentó un 100% de cobertura sobre los trozos de piña, independientemente de la secuencia de inmersión en las soluciones formadoras del recubrimiento; sin embargo, se observó que cuando se usaba la secuencia CaCl_2 -Alginato, la mayor parte de los trozos parecían contener burbujas de aire o jugo de la fruta atrapados entre el recubrimiento y la superficie de la fruta, indicando poca adherencia entre ellos. Lo anterior indica que hay una mayor interacción o entrelazamiento de la fruta cuando el primer contacto era con la emulsión de alginato que con la solución de cloruro de calcio y que esta interacción favorece la adherencia del recubrimiento a la superficie de los trozos. Estos resultados coinciden con las observaciones de otros estudios, en los que el orden de inmersión reportado para el uso de recubrimientos comestibles en frutas cortadas es Alginato- CaCl_2 , para el que se logra una buena cobertura y adherencia del recubrimiento sobre los trozos de papaya, manzana, melón y piña (Tapia et al. 2008; Rojas-Graü et al. 2007b; Oms et al. 2008; Montero-Calderón et al. 2008). Para la secuencia CaCl_2 -Alginato no se han reportado resultados.

Los resultados expuestos llevaron a seleccionar el orden de inmersión Alginato- CaCl_2 para las siguientes pruebas de este estudio.

5.1.5. Método de determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA

La determinación de la resistencia al vapor de agua requirió varias pruebas preliminares y la modificación del método descrito por Rojas-Graü et al. (2007b), según se detalla seguidamente. Inicialmente, se utilizaron recipientes de 2700 y 7500 cm^3 con soluciones sobresaturadas de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para generar un ambiente con 33% de humedad relativa. Se hicieron pruebas para determinar el tiempo necesario para alcanzar la humedad relativa de equilibrio dentro de los recipientes, ya que al abrirlos la atmósfera interna cambiaba rápidamente aumentando la HR hasta 80%, y se requerían 4 h para alcanzar de nuevo la

humedad relativa de equilibrio (HR_E) dentro del recipiente sin muestras. Cuando se colocaban las muestras, el tiempo para alcanzar el equilibrio era aún mayor (6-8 h), y la HR_E era menor (65%), en contraste con el 33% esperado para las soluciones sobresaturadas del cloruro de magnesio.

Estos resultados se atribuyeron a que el tamaño de las tapas de los recipientes es grande y al abrirlos permitían una rápida mezcla con el aire en el exterior. En el caso de los recipientes con muestras de piña, la alta HR interna de la fruta (casi 100% en los espacios intercelulares), en contraste con la atmósfera externa que rodea la fruta al inicio de la prueba, favorecía la pérdida de humedad de los trozos, y la humedad liberada por estos interactuaba con el ambiente, retardando la reducción de la HR de los recipientes a los niveles requeridos para las evaluaciones.

Por lo anterior, bajo las condiciones de laboratorio que se tenían, no fue posible mantener ambientes con humedades relativas bajas y constantes, como las descritas por Rojas-Graü et al. (2007b), sino que se tenían ambientes con una alta humedad relativa que al abrirlos para colocar las muestras alcanzaban el equilibrio en 6 horas o más, pero que nunca llegaban a valores tan bajos como el 33% HR. Por tanto, no se lograba mantener una HR constante, y la pérdida de peso no obedecía a un gradiente de la presión de vapor constante entre los trozos y el exterior, sino a un gradiente que variaba a lo largo de la prueba. Por tanto, la ecuación 3.3 no podía utilizarse, porque parte del supuesto de que las presiones de vapor, y por consiguiente el gradiente de presión entre el producto y el ambiente que lo rodean, se mantienen constantes.

Se modificó el método para garantizar una HR constante durante las pruebas de determinación de la resistencia de los trozos de piña al paso del vapor de agua, según se describe en la metodología (apartado 4.2.3). Los resultados de la resistencia al vapor de agua obtenidos en estas pruebas preliminares no se incluyeron en este informe, pero

servieron para definir los parámetros del ensayo para las pruebas definitivas, que se incluyen en el Cuadro 5.6.

Cuadro 5.6. Condiciones de operación para la determinación de la resistencia al vapor de agua, RVA, en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del CIA, UCR⁽¹⁾.

Volumen de cámara con control de temperatura y HR	50 m ³
T ⁽²⁾	23°C
HR ⁽²⁾	48%
Tamaño aprox. de los trozos	1,5x1,5x1,5 cm
Área de los trozos expuesta al ambiente	10-12 cm ²
Acondicionamiento de las muestras en un ambiente de alta HR, previo a la introducción en la cámara con T y HR controladas	No

⁽¹⁾: modificadas del método descrito por Rojas-Graü et al. (2007b) para las determinaciones de la RVA

⁽²⁾: Se registraron datos de T y HR a lo largo de todo el ensayo, para garantizar la uniformidad de las condiciones, utilizando los registradores HOBO descritos en el apartado 4.1.5.

5.2. Efecto de la formulación del recubrimiento comestible

En este apartado se incluyen los resultados obtenidos de los ensayos principales, en los que se estudió el efecto de la composición de los distintos componentes de las soluciones formadoras de los recubrimientos comestibles sobre la pérdida de jugo, la pérdida de peso y los atributos de calidad de los trozos de piña durante el almacenamiento a 5°C, así como los resultados obtenidos de la resistencia al vapor de agua.

5.2.1. Efecto de las concentraciones de alginato y CaCl₂ en la formulación del recubrimiento sobre la pérdida de jugo y la calidad de los trozos de piña fresca

En este ensayo se evaluó el efecto de los principales componentes del recubrimiento, el alginato y el cloruro de calcio, que al entrar en contacto forman el recubrimiento, y el efecto de los cambios en la composición de las soluciones formadoras. Se fijaron las concentraciones del aceite de girasol y el glicerol.

El objetivo de esta prueba fue determinar el efecto de la concentración del alginato (1,0 y 2,0%, con 1,5% de glicerol y 0,025% de aceite de girasol) y del CaCl₂ (1,0; 2,0 y 10,0%) sobre la pérdida de jugo y peso de los trozos de fruta, la composición gaseosa en el espacio de cabeza del empaque, el color de los trozos y la formación del recubrimiento, durante el almacenamiento a 5°C.

◆ Pérdida de jugo

En la Figura 5.2 y el Cuadro 9.2 (Anexo) se muestra el efecto de las concentraciones de alginato y CaCl₂ sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña almacenados durante 18 días

a 5°C. Se encontró que la pérdida de jugo fue mínima para todos los trozos con recubrimiento durante los primeros seis días de almacenamiento, con excepción de los trozos con 1,0% de alginato y 10,0% de cloruro de calcio en su formulación, y esta pérdida aumentó rápidamente en los siguientes días para los trozos de piña de todos los tratamientos, con y sin recubrimiento. En general, la pérdida fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$) para los trozos sin recubrimiento y con 1,0% de alginato y 10,0% de CaCl_2 . Los recubrimientos con 2,0% de alginato tendían a perder menos jugo, pero las diferencias no fueron significativas a lo largo del almacenamiento, sino solo para algunos de los días de evaluación. El mayor espesor de los recubrimientos con 2,0% de alginato, pudo haber favorecido la retención de líquido.

Estos resultados muestran que el recubrimiento contribuye a retener el jugo de los trozos de piña; sin embargo, es necesario mejorar la formulación de los recubrimientos para que el efecto sea más duradero o reducir aún más la cantidad de líquido drenado durante al menos 15 días de almacenamiento, que corresponde a la vida útil esperada para este tipo de productos. Montero et al. (2008), reportaron resultados similares para trozos de piña del mismo cultivar; utilizaron recubrimientos con 1,0% de alginato y encontraron pérdidas de jugo de 1,0 mL/100 g_{fruta} después de 15 días de almacenamiento a 5°C usando bandejas de PP recubiertas con una película de PP de 64 μm de espesor, en comparación con los trozos sin recubrimiento que perdieron 3,6 mL/100 g_{fruta} ; sin embargo, tampoco lograron retener completamente la salida de jugos de la fruta.

La menor eficacia para la retención de jugos de los recubrimientos de alginato al 1,0%, además del grosor, podría haber sido afectada por las características mecánicas del recubrimiento, pues durante las evaluaciones se observó que estas eran más débiles que las del 2,0% de alginato, ya que al aplicar una fuerza tangencial para medir la adherencia del recubrimiento a los trozos de piña, se desprendían y rompían con facilidad. El movimiento y los roces entre los trozos de fruta de una bandeja podrían facilitar la ocurrencia de más

daños físicos en la pared de los recubrimientos con alginato al 1,0% que con los del 2,0%, y esto podría provocar fisuras o perforaciones que podrían contribuir a una mayor pérdida de jugos.

Azarakhsh et al. (2012) encontraron pérdidas de peso en trozos de piña de los cultivar Josapine entre 10,5 y 15,1% después de 10 días a 10 °C y 65% HR, para trozos recubiertos con una película de alginato (0,0-2,0%), los trozos sin recubrimiento mostraron un 16,8% de pérdidas de peso. Los autores no especificaron si la pérdida de peso se debía a la pérdida de jugos o la pérdida de masa a través de los empaques, pero los niveles que obtuvieron fueron tres veces mayores (o más) que los obtenidos en el presente estudio para la pérdida de jugo de los trozos de fruta. Las grandes diferencias se explican por varios factores: cultivar de piña, condiciones de almacenamiento a una mayor temperatura y una menor humedad relativa. Para el cultivar Josapine, estos autores lograron una reducción máxima de la pérdida de peso con los recubrimientos de alginato cercana al 30 %, respecto a los trozos sin recubrir, y concluyeron que un incremento en la concentración de alginato disminuye la pérdida de peso en los trozos de piña; sin embargo, estos autores advierten que altas concentraciones de alginato y glicerol (plastificante usado en la formulación del recubrimiento) podrían producir un incremento en la pérdida de peso, debido a la naturaleza hidrófila de estos componentes.

Los estudios de Bierhals et al. (2011), con recubrimientos de almidón de yuca indican que las pérdidas de jugo se redujeron en un 40% después de 12 días de almacenamiento a 5°C y 80% de humedad relativa, para frutos del cultivar Perola, pero no se reportan la pérdida de los trozos en porcentajes o masa perdida respecto a la masa inicial, por lo cual, no es posible determinar que tanto jugo perdían los trozos de fruta empacados.

Con respecto al efecto de la concentración del CaCl_2 sobre la pérdida de jugo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el uso de 1,0 ó 2,0% de CaCl_2 , sin embargo, al usar el 10,0 % la pérdida de jugo tendió a ser mayor a lo largo del tiempo. En

el apartado 5.1.4, se discutió sobre el efecto del orden de inmersión de los trozos de piña en las soluciones formadoras del recubrimiento, y se indicó que cuando las inmersiones se hacían en la secuencia CaCl_2 -alginato se favorecía la pérdida de jugo de los trozos de piña. En este caso, en que se usó la secuencia inversa de inmersión de los trozos de piña, las pérdidas fueron menores, pero el uso de una concentración alta de cloruro de calcio (10,0%) favorece la pérdida de jugo de los trozos de piña, especialmente cuando se usa una concentración del 1,0% de alginato.

El efecto del cloruro de calcio podría explicarse por su efecto sobre la formación del recubrimiento, pues con la abundancia de iones de calcio, es de esperar que pueda modificarse la estructura del recubrimiento, tal como lo reportaron Bosquez-Molina et al. (2010), quienes encontraron para recubrimientos de goma de mezquite, que al igual que el alginato es un polisacárido, que al aumentar la concentración de CaCl_2 aumentaba también la permeabilidad del recubrimiento al vapor de agua, y atribuyeron el fenómeno a que al usar una mayor proporción de CaCl_2 , la formación de la red del polisacárido podría debilitarse y los espacios intersticiales dentro de la red podrían facilitar la difusión del vapor de agua.

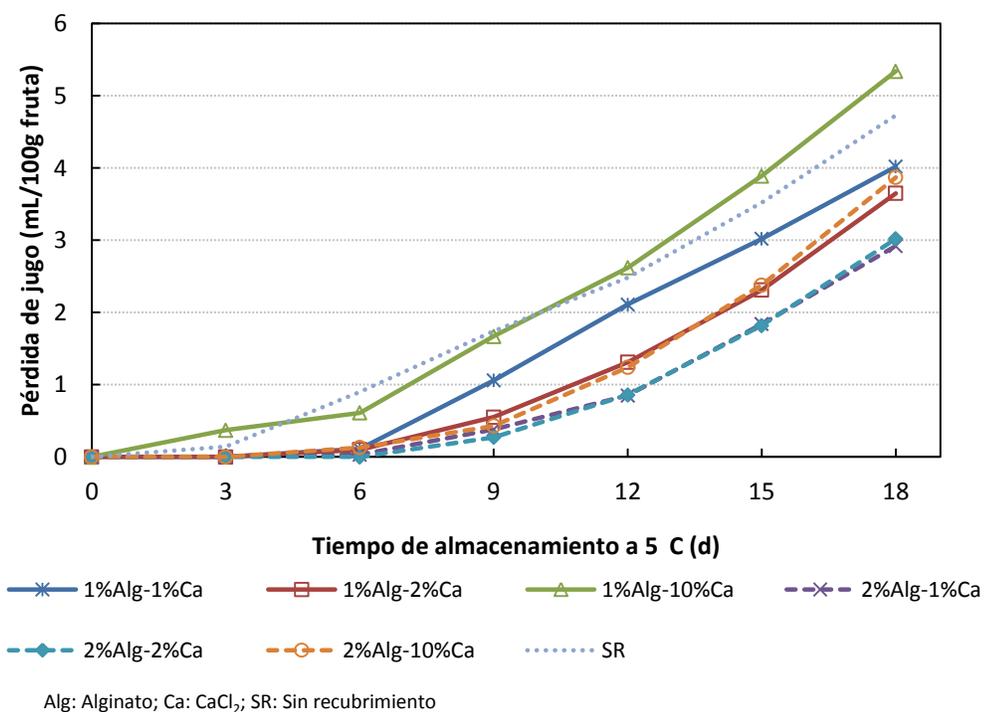


Figura 5.2. Efecto de las concentraciones de alginato[†] y CaCl₂ sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña, almacenados 18 días a 5°C y a 88%HR.

En cuanto a la pérdida jugo y la pérdida de peso de los trozos de piña, se puede observar que el primero representa un mayor problema, una vez que el segundo puede controlarse mediante el uso adecuado de empaques y condiciones de almacenamiento. Los trabajos de Aranguren (2006); Montero et al. (2008); Marrero y Kader (2006), coinciden en que acumulación de líquidos dentro de los empaques, es uno de los principales problemas observados en los trozos de piña.

Kader (2004) explica que la pérdida de agua de las frutas frescas cortadas en forma de vapor de agua se debe principalmente a la diferencia de presión de vapor entre las células y su microambiente dentro del empaque, mientras que la pérdida de líquidos se debe a las fugas de jugo de las vacuolas de las células dañadas durante el procesamiento, sin embargo, esta explicación se limita a los tejidos dañados por las operaciones de corte durante el procesamiento, ubicados sobre la superficie de los cortes, pero no explica ni la salida ni la migración del jugo desde la parte interna de los trozos de fruta, que posiblemente se deba a varios factores, como la degradación de las paredes celulares durante el almacenamiento o a procesos de difusión originados por diferencias de presión o de concentraciones entre células o tejidos, o simplemente a que al eliminar la cáscara durante el procesamiento, se elimina el soporte estructural dado por esta, los tejidos se debilitan y pierden su facultad de retener los líquidos. Lo anterior señala la necesidad de comprender mejor los procesos que ocurren dentro de los trozos de fruta, especialmente para aquellas muy jugosas, como la piña, la sandía, el tomate y otros, para las cuales, la salida del jugo de los trozos de fruta es mayor que para otras frutas.

Los resultados experimentales de este estudio muestran que la salida de jugos aumentó durante el almacenamiento después de los primeros 6 días de almacenamiento, por lo que las causas van más allá de los cortes iniciales durante el procesamiento y que este solo pudo retenerse parcialmente con las formulaciones de los recubrimientos comestibles evaluadas (1,0 y 2,0% de alginato y de 1,0 y 2,0% de CaCl_2), y sugiere la necesidad de evaluar formulaciones alternas para mejorar la efectividad del recubrimiento para retener la salida del jugo de los trozos de piña.

Con referencia al fenómeno de transferencia de masa, Buonocore et al. (2003) presentaron un modelo matemático para predecir las propiedades de transporte de agua de recubrimientos comestibles de caseína. Describieron el proceso de transporte en términos de un proceso de solubilización y difusión del agua. El agua en contacto con el

recubrimiento esta sometida a las interacciones entre las moléculas de agua y los sitios hidrofílicos del recubrimiento, que hacen que las moléculas de agua se dispersen al azar en la matriz del polímero como agua disuelta, agua libre o parcialmente ligada (adsorbida), posteriormente, estas moléculas se mueven por difusión dentro del recubrimiento por un gradiente de concentración y por un fenómeno de relajación del polímero, que es gobernado por la brecha con el equilibrio del sistema. Las características del recubrimiento afectarán la retención del agua dentro del mismo, haciendo que a veces esta quede retenida por más tiempo, pero el gradiente entre el interior y el exterior favorecerá su paso a través del recubrimiento, este retraso en el tiempo podría explicar parcialmente que la pérdida de jugo fuera nula o muy pequeña durante los primeros días de almacenamiento (6 días) y aumentara rápidamente después del día 9 de almacenamiento, aunque también debe destacarse que la fruta sin recubrimiento mostró muy poca pérdida de jugo durante los primeros tres días de almacenamiento.

El trabajo de estos autores explica el paso del vapor de agua a través del recubrimiento, sin embargo, no explica la situación que se observa para los trozos de piña, donde hay una gran presión de líquido dentro de los trozos de piña, que es retenido en parte por los tejidos de la piña y por el recubrimiento comestible. Karbowski et al. (2009) señalan que la permeabilidad de un recubrimiento aumenta cuando el agua se encuentra en la fase líquida con respecto a cuando está como vapor de agua, lo cual atribuyen a que la estructura del recubrimiento se modifica con la migración del agua líquida a través del mismo y señalan que tanto la fase en que se encuentra el agua como la humedad relativa afectan la transferencia de masa a través del recubrimiento.

◆ Pérdida de peso

La pérdida de peso de las bandejas con trozos de piña se muestra en la Fig. 5.3 y el Cuadro 9.3 (Anexo). Se encontró que ésta aumentó a lo largo de los 18 días de almacenamiento con una tasa promedio de $0,05 \text{ g}/100 \text{ g}_{\text{fruta}}$, para todos los tratamientos evaluados, alcanzando niveles máximos entre $0,5$ y $1,0 \text{ g}/100 \text{ g}_{\text{fruta}}$ al completar el período máximo de almacenamiento. En general, no se encontraron diferencias significativas entre la pérdida de peso de los trozos con y sin recubrimiento, aunque para el tratamiento con recubrimientos con $1,0\%$ de alginato y $10,0\%$ de CaCl_2 la pérdida de peso resultó ligeramente mayor ($p \leq 0,05$). Los bajos niveles de pérdida de peso se atribuyeron a las características de permeabilidad de los empaques utilizados y su cierre a presión (bandejas de poliestireno, PS), estos empaques tienen una moderada resistencia a la transmisión del paso del vapor de agua ($100\text{-}125 \text{ g}/\text{m}^2\text{día}$).

Al envasar la fruta dentro de las bandejas y cerrarlas, se inician dos procesos de transferencia de masa en forma de vapor de agua, el primero desde los trozos de fruta hacia el espacio de cabeza dentro del empaque y el segundo del interior al exterior del empaque, ambos impulsados por el gradiente de la presión de vapor (HR) y limitados por las características de permeabilidad de la fruta y/o el recubrimiento comestible y de los materiales del empaque. Para la condición inicial, la HR dentro de los trozos de fruta es cercana al 100% y en las bandejas y el exterior es de 80% , de modo que el vapor de agua tenderá a salir de los trozos de fruta, aumentando la HR dentro de los envases y creando un gradiente de HR entre el interior y el exterior del empaque.

Durante las pruebas, se determinó que la HR dentro de los empaques tendía a alcanzar un equilibrio cercano a la saturación ($95\text{-}100\% \text{ HR}$) y como se mencionó, la pérdida de masa hacia fuera de los empaques fue muy baja y constante a lo largo de los 18 días de almacenamiento ($0,05 \text{ g}/100 \text{ g}_{\text{fruta}}$). En este estudio, se midieron separadamente la pérdida de peso total (empaque y fruta) y la acumulación de jugo dentro de los empaques (pérdida

de jugo), y las pérdidas de peso debidas a la respiración del producto o a la pérdida de compuestos aromáticos se consideraron despreciables tal y como ha sido reportado en la literatura (Olivas y Barbosa 2005).

Azarakhsh et al. (2012), no reportaron por separado la pérdida de peso a través de los empaques y la pérdida de jugo de los trozos de piña, por lo cual no se puede hacer una comparación directa con los resultados obtenidos en este estudio para esta variable. Sin embargo, trabajaron bajo condiciones de almacenamiento distintas (10°C, 65% HR, con otro tipo de envases, bandejas de PET con una envoltura adicional de PVC con micro-perforaciones) y con un cultivar de piña diferente (Josepine), por lo que es de esperar que los procesos de transferencia de vapor de agua de los trozos de piña hacia el espacio de cabeza y hacia el exterior de los empaques, hayan sido diferentes.

La eficacia del uso de recubrimientos comestibles a base de almidón de yuca, con y sin lactato de calcio, sobre la pérdida de peso y de jugo de trozos de piña del cultivar Perola fue evaluado por Bierhals et al. (2011), quienes reportaron que con el uso de tales recubrimientos la pérdida de peso de los trozos con recubrimiento fue 25% menor que la de los trozos sin recubrimiento, después de 12 días de almacenamiento a 5°C y 80% HR. Sin embargo, estos autores no incluyeron datos absolutos del porcentaje de pérdidas, sino valores relativos a los resultados de los trozos sin recubrimiento, lo cual dificulta la comparación con los resultados de este estudio, pero muestra la misma tendencia, en que el recubrimiento comestible contribuye a una menor pérdida de peso de los trozos de piña.

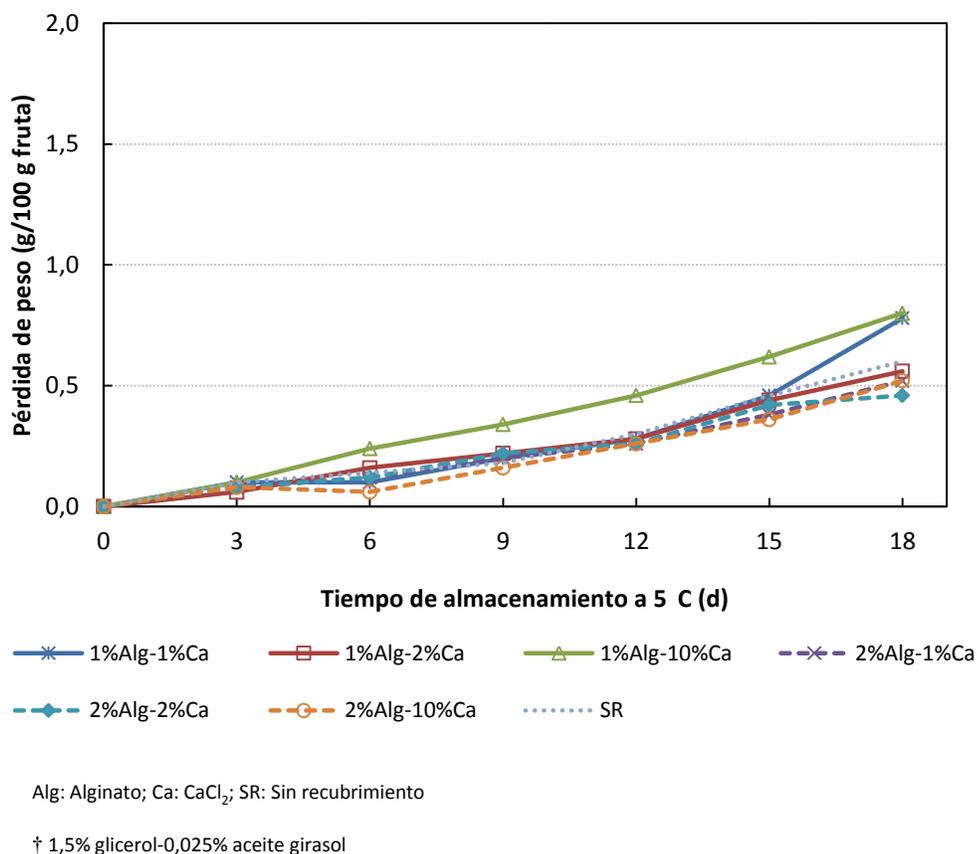


Figura 5.3. Efecto de las concentraciones de alginato[†] y CaCl₂ sobre la pérdida de peso de los trozos de piña, almacenados 18 días a 5°C y a 80%HR.

◆ Concentración gaseosa en el espacio de cabeza del empaque

En el Cuadro 5.7 se indican los valores promedio de la composición gaseosa dentro de los empaques de los trozos de piña almacenados durante 20 días a 5°C. La composición en el espacio de cabeza se mantuvo constante a través del tiempo y entre tratamientos, para los

trozos con y sin recubrimiento comestible. El contenido de oxígeno se mantuvo entre 20,4 y 20,9% y el de dióxido de carbono entre 0,0 y 0,8%, lo cual muestra que el intercambio gaseoso entre el interior y el exterior del empaque permitió el paso de estos dos gases durante el almacenamiento y esto permitió que la concentración de los gases solo se modificara ligeramente por la actividad respiratoria de los trozos de piñas y el efecto de los daños físicos durante el procesamiento.

Rojas-Graü et al. (2008), también utilizaron bandejas con las cuales la composición interna de los gases varió muy poco durante 23 días a 4°C, y no encontraron diferencias significativas entre los trozos con y sin recubrimiento de trozos de manzana de la variedad Fuji, lo cual sugiere que el recubrimiento no afectó la actividad metabólica de la fruta durante el almacenamiento.

Cuadro 5.7. Efecto de la concentración de alginato[†] y cloruro de calcio sobre la composición gaseosa del espacio de cabeza en los empaques con trozos de piña almacenados durante 16 días a 5°C y 80% de HR.

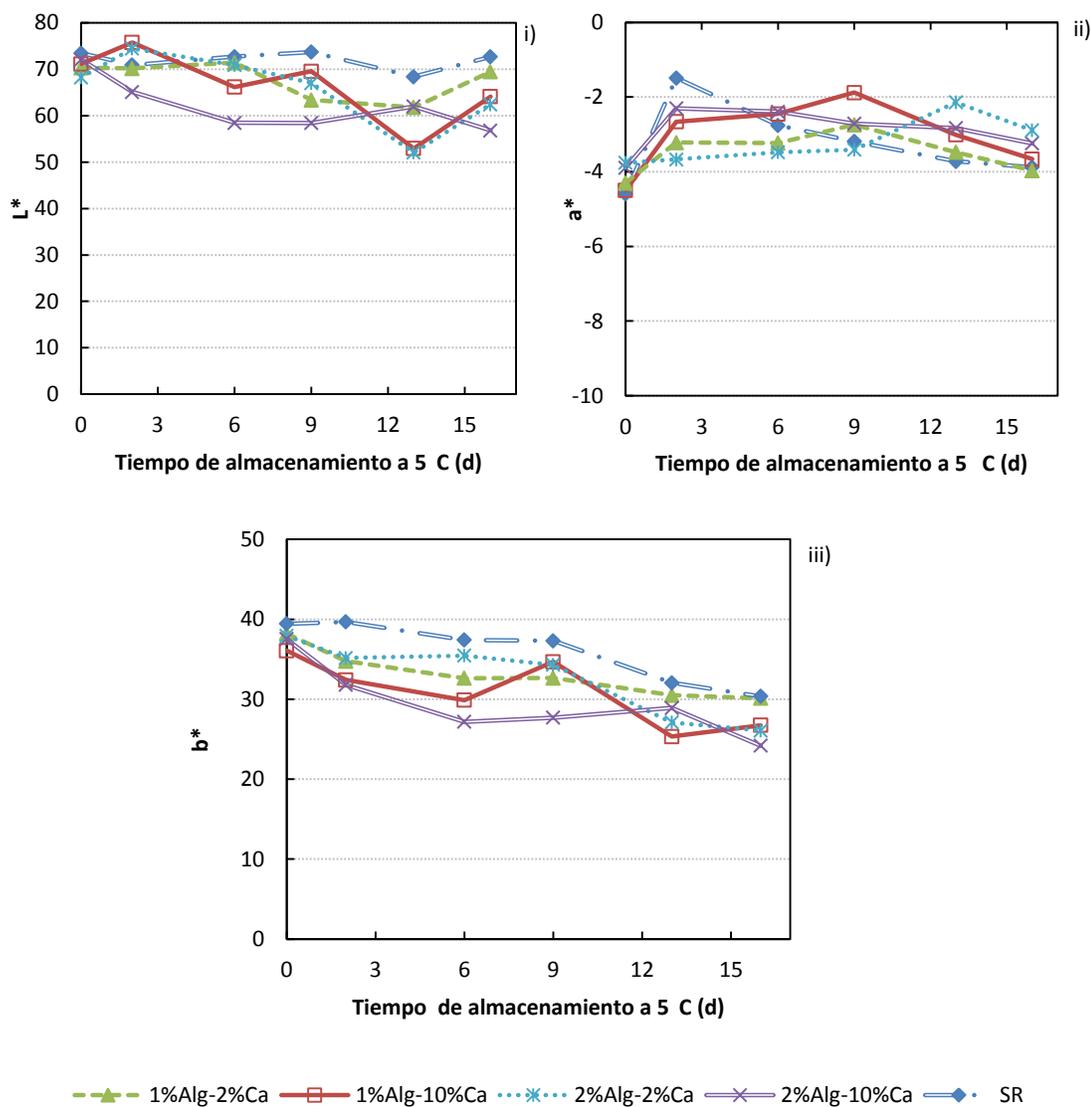
Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	% O ₂	% CO ₂
1,0	2,0	20,8 ± 0,2	0,3 ± 0,3
1,0	10,0	20,9 ± 0,2	0,3 ± 0,3
2,0	2,0	20,8 ± 0,3	0,3 ± 0,2
2,0	10,0	20,9 ± 0,1	0,3 ± 0,2
Sin recubrimiento		20,8 ± 0,2	0,4 ± 0,3

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

◆ Color

Los valores de color L^* (luminosidad), a^* (verde-rojo) y b^* (amarillo-azul) de los trozos de piña no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) para los trozos con y sin recubrimiento (Fig. 5.4 (i); (ii) y (iii), Cuadros 9.4-9.6 en el Anexo) durante el almacenamiento (16 días a 5°C), lo cual coincide con los resultados obtenidos por Montero et al. (2008) para trozos de piña del mismo cultivar. Las variaciones encontradas entre tratamientos se atribuyeron a la variabilidad propia de la piña, por la poca uniformidad de sus tejidos.

Los resultados para la luminosidad (L^*) tendieron a bajar durante el almacenamiento, desde 73,4 a 68,2 al inicio del ensayo, hasta 72,7 a 56,8 después de 16 días de almacenamiento, tal como los de b^* , para los cuales se observó una tendencia decreciente con disminuciones de hasta el 20%, después de 16 días de almacenamiento a 5°C , las cuales se atribuyeron a cambios asociados a la maduración y al deterioro del producto. El parámetro a^* , se mantuvo constante a través del tiempo (valor promedio de $-3,2\pm 0,2$) para todos los tratamientos. Estos resultados coinciden con otros reportados en la literatura para trozos de piña, de las variedades “Cayena Lisa” y “Dorada” (Marrero y Kader. 2006; Gil et al. 2006 y Montero et al. 2008) quienes atribuyeron estos cambios a reacciones de pardeamiento y translucidez de los trozos de piña.



Alg: Alginato; Ca: CaCl_2 ; SR: Sin recubrimiento

† 1,5% glicerol-0,025% aceite girasol

Figura 5.4. Efecto de la concentración de alginato[†] y CaCl_2 sobre el color L^* (i); a^* (ii) y b^* (ii) en los trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y a 80% de HR.

◆ **Formación del recubrimiento**

- *Uniformidad del grosor aparente del recubrimiento*

La uniformidad del grosor del recubrimiento de los trozos de piña fue estudiada durante 16 días a 5°C. La Figura 5.5 muestra los resultados obtenidos para las diferentes concentraciones de alginato (1,0 y 2,0%) y CaCl₂ (2,0 y 10,0%). La uniformidad del recubrimiento se vio afectada principalmente por la concentración de la solución de alginato, por el aumento en su viscosidad al incrementar la cantidad de alginato usada. A mayor viscosidad, se observó un mayor espesor de las paredes del recubrimiento que al usar 1,0% de alginato, pero a la vez, se observaban acumulaciones del recubrimiento (mayor espesor) en algunas partes de los trozos de piña, atribuidas a que al sacar los trozos de la soluciones formadoras de recubrimiento y escurrir el exceso de la solución, la viscosidad de la solución no permitía eliminar todo el excedente de la misma, y esta se acumulaba formando una capa más gruesa en la parte inferior del trozo, que al momento de introducir en la solución formadora de calcio, se gelificaba formando una capa de mayor espesor en esa área. Tapia et al. (2008) también reportaron que las diferencias en el grosor de recubrimientos de alginato (2,0%) y gelano (0,5%) aplicados en trozos de papaya (fruta con superficie muy lisa), no fueron significativas, sin embargo señala que estas ligeras diferencias se deben a la viscosidad de la solución, y dicha viscosidad depende de la concentración del polímero empleado. En los trozos de piña, debido principalmente a la irregularidad de la superficie, estas desuniformidades del recubrimiento fueron más notorias, por lo que se decidió trabajar con una concentración de 1,5% de alginato con el fin de trabajar con recubrimientos de un grosor más uniforme para los siguientes ensayos.

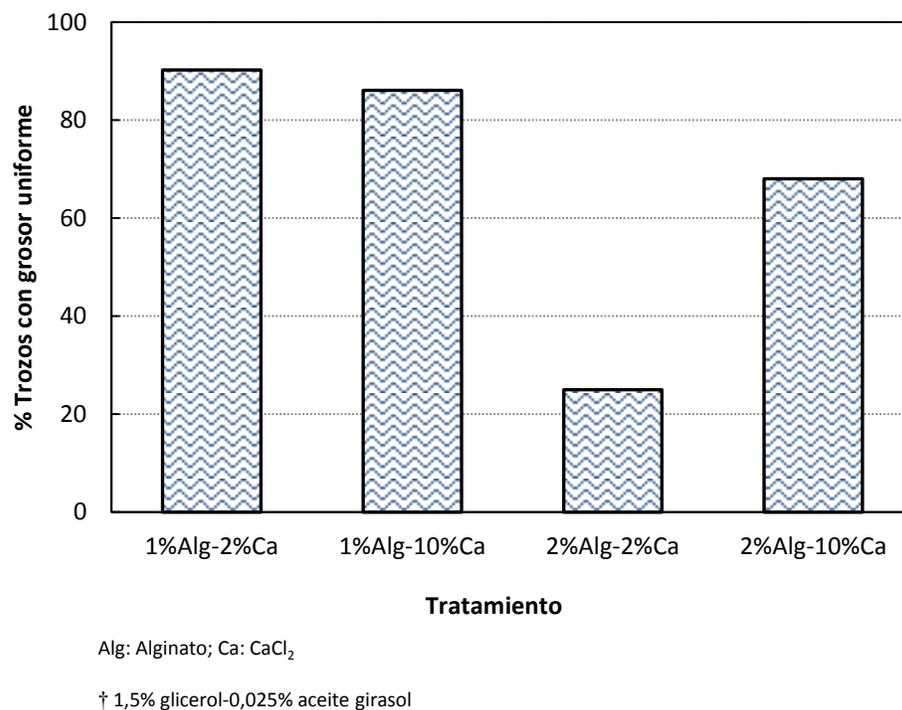


Figura 5.5. Efecto de las concentraciones de alginato[†] y CaCl₂ sobre la uniformidad del grosor del recubrimiento en los trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y 80% de HR.

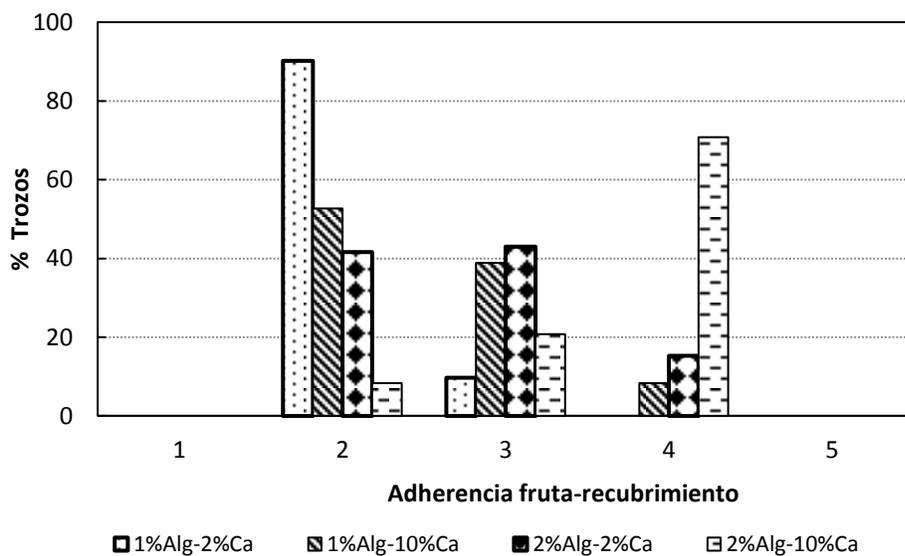
- ***Adherencia del recubrimiento al trozo de piña***

Los resultados de la adherencia del recubrimiento al trozo de piña (almacenados 16 días a 5°C), se muestran en la Figura 5.6. La mayoría de los recubrimientos parecían completamente adheridos al trozo de piña, sin embargo al aplicar una fuerza tangencial se separaban del trozo (recubrimiento se desplazaba). Los recubrimientos que requerían una mayor fuerza para separarlos de los trozos de piña, considerados como de mayor adherencia, fueron los preparados con 2,0% de alginato y 10,0% de CaCl₂, en contraste con los trozos con 1,0%

de alginato y 2,0% de cloruro de calcio que mostraron la menor adherencia. Estas diferencias podrían explicarse también por la diferencia en las características físicas de los recubrimientos, puesto que al aumentar la concentración de alginato, los recubrimientos eran visiblemente más gruesos y el CaCl_2 podría también haber alterado tanto la adherencia de los trozos, como las propiedades del recubrimiento, dificultando su remoción al aplicar la fuerza tangencial.

Si bien, la medición de esta variable se hizo por un medio subjetivo, permitió observar diferencias entre la adherencia de los recubrimientos con diferente concentración, al permitir medir la facilidad con que los recubrimientos podían separarse de los trozos de fruta. Tapia et al. (2008); Rojas-Graü et al. (2007b) y Oms et al. (2008) han encontrado que recubrimientos de 2,0% de alginato presentan buena adherencia a la superficie de los trozos de papaya “Maradol”; manzana “Fuji” y melón “Piel de sapo”. La adherencia del recubrimiento a los trozos de piña no resulta tan buena como la de otros productos (manzana y papaya), para los cuales puede ser una tarea muy difícil remover el recubrimiento, e incluso parece que el recubrimiento es adsorbido por la fruta. En el caso de la piña, el recubrimiento parece estar adherido de manera muy superficial.

Para recubrimientos con 1,0% de alginato independientemente de la concentración de CaCl_2 , la adherencia fue menor, y solo requerían de una pequeña fuerza para desprenderse, lo cual pudo deberse tanto a la interacción entre la superficie del recubrimiento y la de la fruta, como a las características mecánicas del recubrimiento.



Alg: Alginato; Ca: CaCl₂

† 1,5% glicerol-0,025% aceite girasol

Figura 5.6. Efecto de las concentraciones de alginato[†] y CaCl₂ sobre la adherencia del recubrimiento a los trozos de piña (escala 1 a 5), almacenados 16 días a 5°C y 80% de HR.

5.2.2. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol en la formulación del recubrimiento sobre la pérdida de jugo y la calidad de los trozos de piña fresca cortada

El estudio del efecto de las concentraciones de glicerol, usado como plastificante, y el aceite de girasol, como barrera al vapor de agua, sobre la calidad de los trozos de piña durante el almacenamiento se hizo mediante tres evaluaciones, en las que se varió el contenido de estos dos componentes, dejando fijas las concentraciones de alginato (1,5%) y CaCl₂ (1,0%) en las soluciones formadoras de recubrimiento.

En la primera evaluación, se usaron concentraciones de 0,5, 1,5 y 2,5% de glicerol con 0,05, 0,2 y 0,4% de aceite de girasol y se evaluaron los cambios en la cantidad de jugo drenado y la pérdida de peso; características que se consideraron de mayor importancia para valorar la efectividad del recubrimiento. En la segunda evaluación, se utilizaron concentraciones de 1,5 y 2,5% de glicerol con 0,1 y 0,2% de aceite de girasol y se determinó su efecto sobre la composición de gases en el espacio de cabeza de los empaques, tasa respiratoria, los cambios en el color (parámetros L^* , a^* y b^*), firmeza, contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH de los trozos de fruta durante el almacenamiento a 5°C y en la tercera evaluación se usaron concentraciones de 1,5, 2,5 y 5,0% de glicerol con 0,05, 0,2 y 0,4% de aceite de girasol para evaluar la apariencia general del producto y la formación del recubrimiento sobre los trozos de fruta de piña (cobertura, grosor y adherencia).

◆ Pérdida de jugo

Los resultados del efecto de glicerol y aceite de girasol sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña almacenados a 5°C durante 18 días, se muestran en la Figura 5.7 (Cuadro 9.9, Anexo). Se encontró que todos los trozos de fruta perdieron jugo durante el almacenamiento, pero los trozos sin recubrimiento tuvieron pérdidas más grandes ($p \leq 0,05$). Las diferencias se observaron claramente a partir del tercer día a 5 °C y se mantuvieron durante los 18 días de almacenamiento. Para el día 6, las pérdidas de los trozos sin recubrimiento fueron del orden de 0,90 mL/100 g_{fruta}, mientras que entre los trozos recubiertos mostraron pérdidas de jugo que oscilaron entre 0,01 y 0,11 mL/100 g_{fruta}.

El aumento en las concentraciones de glicerol (0,5; 1,5 y 2,5%) y aceite de girasol (0,05; 0,2 y 0,4%) no tuvieron un efecto significativo sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña ($p > 0,05$). En contraste, Azarakhsh et al. (2012) evaluaron el efecto de las

concentraciones de glicerol sobre la pérdida de peso en trozos de piña “Josapine”, y determinaron que al usar recubrimientos de alginato (1,0%) con 1,22% de glicerol, lograban las menores pérdidas de peso de los trozos de piña. Sin embargo, en su caso, las pérdidas de peso fueron mucho mayores que las encontradas en este estudio, pues reportan pérdidas del orden de 10 a 17% durante 10 días de almacenamiento a 10°C y 65% HR, mientras que en este estudio, las pérdidas de jugo fueron inferiores al 2%, después de 12 días de almacenamiento a 5°C y 80%HR y menores al 4% después de 18 días, lo cual indica que posiblemente Azarakhsh et al., cuantificaron tanto las pérdidas de vapor de agua como las de los jugos drenados de los trozos de fruta. Estos resultados también pueden explicarse por las diferencias entre cultivares, el grado de maduración de la fruta, los utensilios y preparación de los trozos de fruta y el manejo y condiciones de almacenamiento después de preparados.

Otros autores, como Rojas-Graü et al. (2007b) determinaron que en general el aumento del contenido de glicerol aumentaba la resistencia al vapor de agua de recubrimientos de alginato (2,0%) en trozos de manzana “Fuji”, pero la tendencia se revertía cuando la concentración del glicerol sobrepasaba el 1,75%, y para el aceite, los mismos autores y Tapia et al. (2008) encontraron que al aumentar el contenido del aceite, la resistencia al vapor de agua mostraba un ligero aumento, pero para el caso de los trozos de piña, los resultados no fueron tan claros. Es importante resaltar, que al usar como criterio de selección la resistencia al vapor de agua para definir la formulación óptima del recubrimiento, no se toma en cuenta el comportamiento de los trozos y el recubrimiento durante el almacenamiento, ya que tal como se observa en la Figura 5.7, durante los primeros 3 días de almacenamiento, las pérdidas de jugos fueron mínimas para la piña pero aumentan aceleradamente en los siguientes días, este fenómeno puede explicarse por la velocidad con que el jugo se drena naturalmente del trozo de fruta y por la retención de los jugos en el recubrimiento, por la afinidad de los componentes hidrosolubles de este. La

determinación de la resistencia al vapor de agua se hace con los trozos recién recubiertos, almacenándolos bajo condiciones de baja humedad relativa por unas horas.

El efecto esperado del uso de glicerol y aceite de girasol para inhibir la salida de jugos de fruta pudo haberse visto disminuido o contrarrestado por la alta turgencia de los trozos de piña y la interacción de los trozos de fruta con el recubrimiento, dado que los jugos de la piña (cuyo contenido es muy alto) posiblemente ejerzan mayor presión para salir de los trozos de fruta, a través del recubrimiento, en contraste con la que podrían ejercer otros productos como la manzana y la papaya, que son muy diferentes en su morfología, composición y la facilidad intrínseca para perder su jugo. Así, al romper los tejidos de piña durante su preparación, estos tienden a perder sus jugos rápidamente, como respuesta al rompimiento de compartimentos que contiene esos líquidos y la remoción de la protección natural de la fruta, que es la cáscara, que ayuda a conservar la integridad de los tejidos y reducir la transferencia de masa hasta el exterior.

De hecho, uno de los beneficios que se buscan en este estudio, con el uso de recubrimientos comestibles, es limitar esa salida de los jugos de la fruta mediante una barrera física. Los resultados muestran que la barrera, con las distintas formulaciones es solamente parcialmente eficaz, por lo que no evita la salida de los jugos de la fruta y señala la necesidad de buscar alternativas para reducir estas pérdidas.

La eficacia de los recubrimientos para controlar la transferencia de masa ha sido estudiada mayormente como un fenómeno de transferencia de agua en forma de vapor. Sin embargo, para el caso de la piña, por tratarse de una fruta tan succulenta, la transferencia de masa puede verse afectada por el contacto directo del jugo de la fruta con el recubrimiento, que puede afectar tanto sus características de permeabilidad como su composición, tal como fue descrito por Morillon et al. (2000), quienes encontraron un aumento considerable en la permeabilidad del celofán (película hidrofílica) y de un recubrimiento comestible a base de partículas hidrofílicas dispersas en una grasa vegetal hidrogenada, cuando estos estaban en

contacto directo con el líquido. Según se mencionó en el apartado 5.1.2, la permeabilidad del recubrimiento en contacto con el líquido aumentó de 2 a 9 veces, con respecto a la encontrada cuando el contacto fue con vapor de agua. Estos autores atribuyeron los cambios en la permeabilidad del recubrimiento, a las interacciones del agua con los componentes hidrofílicos del recubrimiento que pueden resultar en una mayor absorción del agua, hinchazón de los tejidos y hasta cambios en la composición o estructura del recubrimiento o la solubilización de sus compuestos hidrofílicos, resultando en una reducción de la eficiencia del recubrimiento como barrera.

Otros factores que pudieron haber afectado la efectividad de los recubrimientos como barrera al paso del vapor de agua y el jugo de la fruta, pudo ser la preparación de las soluciones formadoras del recubrimiento, ya que como lo menciona Hernández (1994), el proceso de emulsión juega un papel importante en la homogeneidad del recubrimiento y la resistencia a la migración de vapor de agua y gases a través de la película. Por su parte, Polo et al. (1992), señalaron que la habilidad del componente hidrofóbico para retardar la transferencia de humedad, depende de la homogeneidad de éste en la matriz del recubrimiento, ya que una distribución poco homogénea del aceite de girasol durante el proceso de emulsión, pudo haber afectado las características de permeabilidad del recubrimiento y permitir el paso de vapor de agua a través de las partes hidrófilas del recubrimiento de alginato. Estos resultados sugieren la necesidad de evaluar si se requiere el uso de velocidades más altas del homogenizador, para la preparación de las soluciones formadoras del recubrimiento, para asegurar una emulsión homogénea y una buena distribución del aceite y el glicerol. Una mayor velocidad podría afectar el tamaño de las partículas de la emulsión, que a su vez podría afectar la transferencia de masa a través del recubrimiento.

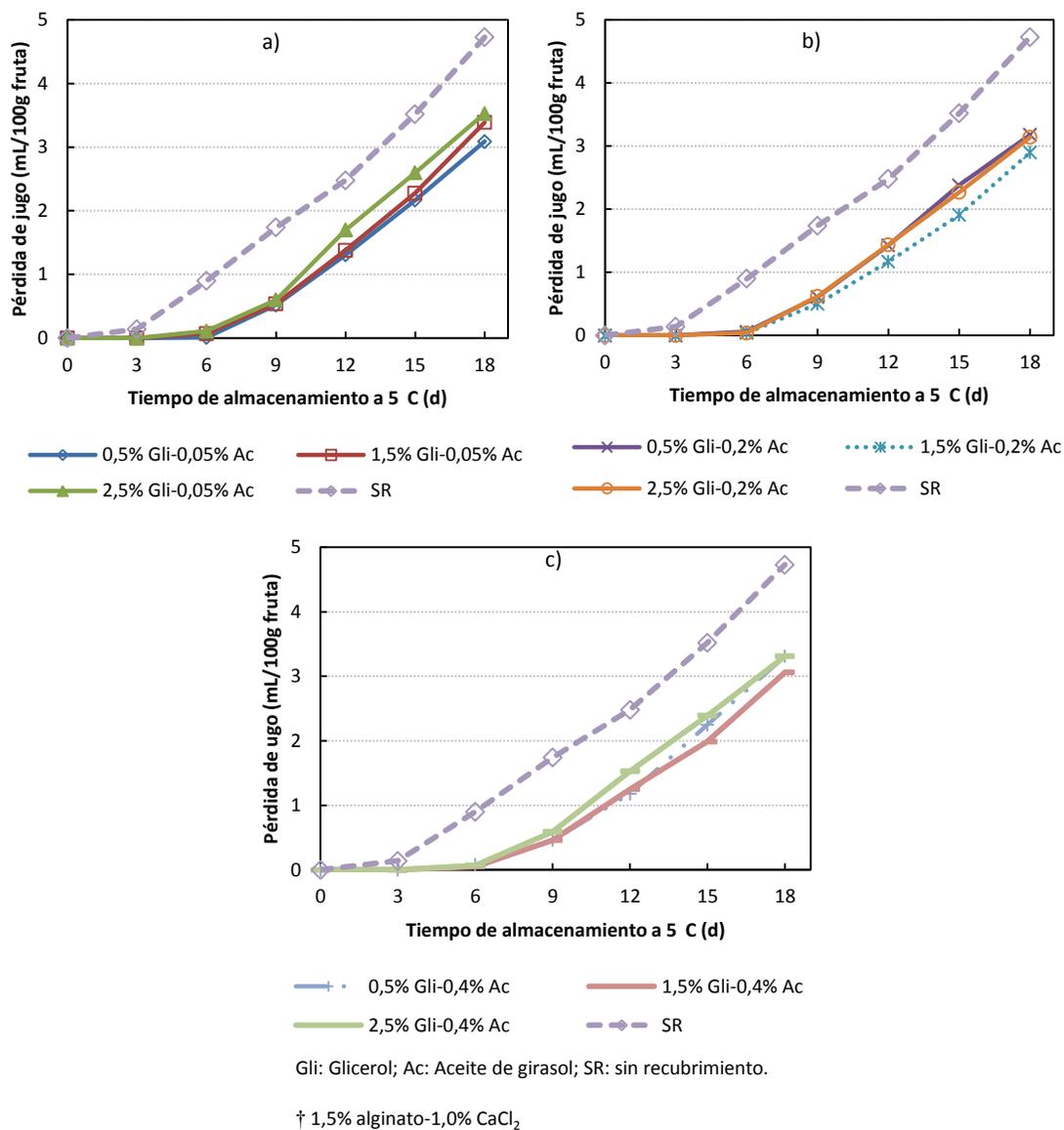


Figura 5.7. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña, almacenados 18 días a 5°C y a 80%HR.

Los resultados de la pérdida de jugo permiten señalar que la transferencia de masa de los trozos de piña a través del recubrimiento parece ser más compleja que para frutos con menor capacidad de perder sus jugos, y que la razón de pérdida se debe a varios factores como la resistencia al paso del vapor de agua y al agua líquida, las interacciones de la fruta con el recubrimiento y las reacciones e interacciones del agua en su paso a través del recubrimiento, por lo que es necesario estudiar con mayor detalle los procesos de transferencia de masa, para buscar soluciones que permitan una mayor retención de los jugos de la fruta.

◆ Pérdida de peso

El efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre la pérdida de peso de los trozos de piña almacenados por 18 días a 5°C se muestra en la Figura 5.8, Cuadro 9.10 (Anexo). La pérdida de peso aumentó durante el almacenamiento pero no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los trozos con y sin recubrimiento, ni entre los trozos con distinto contenido de glicerol y aceite de girasol. Las pérdidas estuvieron entre 0,4 y 0,6 g/100 g_{fruta} después de 18 días de almacenamiento. Tal como se discutió en el apartado de pérdida de peso de la sección 5.2.1, las bajas pérdidas de peso se atribuyeron a las características de permeabilidad al vapor de agua de las bandejas utilizadas, que limita la salida del vapor de agua a través del empaque y su cierre, y a la formación de un microambiente de alta humedad relativa dentro de los empaques.

Azarakhsh et al. (2012), también estudiaron el efecto de las concentraciones de glicerol sobre la pérdida de peso de los trozos de piña del cultivar “Josapine” y encontraron que la pérdida de peso (presuntamente, acumulación de pérdida de jugo más pérdida de peso en forma de vapor de agua) podían disminuirse con una formulación con 1,0% de alginato y

1,22% de glicerol (0,025% aceite de girasol). Con esta formulación lograron reducir las pérdidas de 16,8 a 10,5%, valores que son muy superiores a los encontrados en este estudio.

En cuanto al efecto del aceite de girasol sobre las propiedades de barrera a la transferencia de vapor de agua de recubrimientos de alginato y gelano usados en trozos de manzana “Fuji” y en papaya “Maradol”, Rojas-Graü et al. (2007b y 2008) y Tapia et al. (2008) encontraron que estos recubrimientos sin aceite tienen una menor resistencia al vapor de agua, en comparación con los que incorporan aceite en la formulación, aunque el efecto de la concentración del aceite no es tan clara, pues Rojas et al. (2008) encontraron diferencias significativas al aumentar la concentración del aceite de 0,0 y 0,125% para recubrimientos en trozos de manzana, mientras que Tapia et al. (2008) encontraron diferencias entre los recubrimientos con y sin aceite, pero el aumento en la concentración del aceite entre 0,025 y 0,125%, no mostró efecto significativo sobre la resistencia al vapor de agua. Si bien, estos autores no mostraron directamente datos de pérdida de peso de los trozos de papaya y manzana, se puede establecer una comparación con la resistencia de los recubrimientos al paso del vapor de agua, dado que esta característica es una medida de la resistencia que opone el recubrimiento al paso del vapor de agua.

Para el caso de los recubrimientos de alginato evaluados en este estudio no se encontró un efecto significativo en la variable pérdida de peso de los trozos de piña empacada, con y sin recubrimiento, para ninguna de las formulaciones evaluadas, que tal como se explicó en la sección de la variable de pérdida de peso (apartado 5.2.1) se debe a que esta variable mide la pérdida de peso del producto empacado hacia el exterior y no toma en cuenta la acumulación de vapor de agua y jugo de la fruta que se acumula dentro de las bandejas, por lo que las bandejas de poliestireno permitieron controlar la pérdida de peso de la fruta empacada, minimizando la transferencia de vapor de agua hacia el exterior.

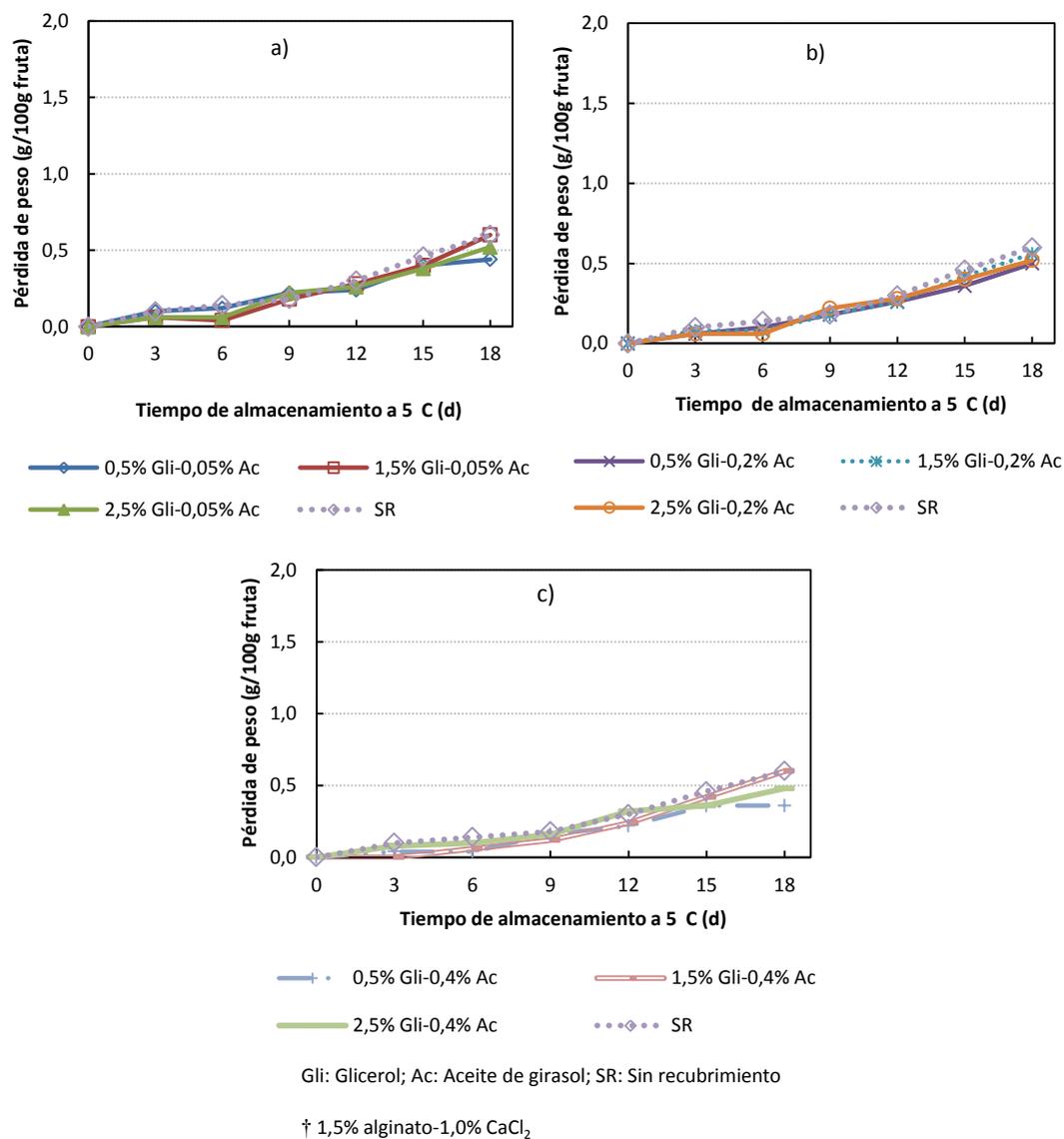


Figura 5.8. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la pérdida de peso de los trozos de piña, almacenados 18 días a 5°C y a 80%HR.

◆ **Concentración gaseosa en el espacio de cabeza del empaque y tasa de respiración**

Las concentraciones de glicerol y aceite de girasol no tuvieron algún efecto sobre la composición gaseosa dentro del empaque, los resultados de O₂ y CO₂ se mantuvieron constantes sin mostrar mucha variabilidad durante el almacenamiento y sin encontrar diferencias significativas entre tratamientos (Cuadros 9.11-9.12, Anexo). Los valores para el O₂ variaron entre 20,0-20,9 % y para el CO₂ entre 0,1-1,0% (Cuadro 5.8), estos resultados se atribuyeron a la permeabilidad de las bandejas y su cierre, las cuales parecen haber permitido el intercambio de estos gases con el ambiente (exterior del empaque), sin permitir una acumulación excesiva de CO₂ ni una disminución del O₂.

En cuanto a la tasa respiratoria a temperatura ambiente (22-24°C), se mantuvo entre 17,2 y 20,3 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para los trozos de piña con las distintas formulaciones de recubrimiento y durante 20 días de almacenamiento 5 °C y 80% de HR, sin diferencias significativas consistentes a lo largo del almacenamiento (Cuadro 9.13, Anexo). Esos valores coinciden con los encontrados por Aranguren (2006) para trozos de piña de la misma variedad. Por su parte, Tapia et al (2008) reportaron que el uso de un recubrimiento de alginato en trozos de papaya “Maradol” no mostró un cambio substancial en la tasa respiratoria de la fruta.

Azarakhsh et al. (2012), encontraron que la tasa respiratoria durante el almacenamiento a 10°C en los trozos de piña (Josapine) sin recubrir fue mayor que los trozos con recubrimientos de 1,29% de alginato y lo atribuyeron a una disminución en el metabolismo debido al incremento en las concentraciones internas de CO₂ y a la disminución de O₂, sin embargo, no reportaron la composición interna de estos gases dentro de los trozos de fruta.

Cuadro 5.8. Efecto de la concentración de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la composición gaseosa del espacio de cabeza en los empaques y sobre la tasa respiratoria de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	% O ₂	% CO ₂	Tasa respiratoria (mL CO ₂ / kg h)
1,5	0,1	20,4 ± 0,3	0,5 ± 0,3	17,2 ± 4,0
2,5	0,2	20,8 ± 0,3	0,2 ± 0,2	18,4 ± 6,0
1,5	0,1	20,0 ± 0,5	1,0 ± 0,5	17,2 ± 6,0
2,5	0,2	20,9 ± 0,1	0,1 ± 0,1	18,3 ± 5,0
Sin recubrimiento		20,9 ± 0,1	0,1 ± 0,1	20,3 ± 4,0

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

◆ Color

El efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol sobre los parámetros de color (L*, a* y b*), de los trozos de piña almacenados por 20 días a 5°C, se muestran en la figura 5.9 (Cuadros 9.14-9.16, Anexo). Según los cuadros, no se encontraron diferencias (p>0,05) en las variables de luminosidad (L*), a* y b* de los trozos de piña, al variar las concentraciones de glicerol de 1,5 a 2,5% y de aceite de girasol de 0,1 y 0,2%; ni entre trozos con recubrimiento o sin él durante el almacenamiento.

En consecuencia, la aplicación de recubrimientos de 1,5% de alginato no inducen cambios significativos en el color de los trozos de piña, tal como los resultados encontrados por Montero et al. (2008) para trozos de piña Dorada usando recubrimiento de 1,0% de alginato con 1,5% de glicerol y 0,025% de aceite de girasol, indicados en la sección de la variable color (apartado 5.2.1).

Los valores de la luminosidad, L*, de los trozos de piña oscilaron entre 70,0 y 77,1 el primer día de evaluación, y entre 65,4 y 74,3 después de 20 días de almacenamiento a 5°C, pero no variaron significativamente a través del tiempo, ni entre tratamientos, con o sin

recubrimiento, lo cual indica que los trozos de fruta parecen haber mantenido su apariencia de producto fresco, muchas veces asociada al parámetro L^* , pues en general los productos frescos cortados tienden a perder brillo y verse opacos a medida que se van deteriorando y el parámetro L^* tiende a ser menor.

Al comparar estos resultados con los encontrados por Bierhals et al (2011), se observa que la aplicación de recubrimientos de almidón de yuca tampoco tuvieron un efecto significativo sobre la luminosidad (L^*) de los trozos de piña (“Pérola”), durante el almacenamiento por 12 días a 5°C , tanto para los trozos con distintas formulaciones de recubrimiento o sin él. Sin embargo, estos autores indican que la variable L^* si disminuyó en los últimos días, lo cual asociaron al oscurecimiento de los trozos de piña del cultivar “perola”, lo cual no fue observado en los trozos de la piña dorada, por ser un cultivar con menor susceptibilidad al pardeamiento.

Para el caso del parámetro de color a^* , se observó una tendencia ligeramente creciente (de -4,5 a -2,0) para todos los tratamientos, independientemente del contenido de glicerol y aceite del recubrimiento y en comparación con el tratamiento testigo. Esta variable muestra el cambio en la coloración de los tonos verde ($-a^*$) a rojo ($+a^*$), por lo que los cambios podría deberse a cambios en el contenido de clorofila durante la maduración de los frutículos.

Por su parte, los valores para el parámetro b^* tendieron a disminuir durante el almacenamiento, cambiando de 32,3 a 37,0 al preparar el producto, hasta 22,4 a 26,1 después de 20 días a 5°C , cambios que indican un cambio en la coloración amarilla, que podría explicarse por el desarrollo de la translucidez, que provoca un cambio en las características de reflectancia de los trozos de la fruta, que incide directamente en la medición del color. Resultados similares fueron encontrados por Montero et al. (2008), quienes observaron una disminución del parámetro b^* de los trozos de piña dorada, de

alrededor de un 20% después de 20 días de almacenadas las muestras a 5°C y asociaron estos cambios en la translucidez de los trozos de fruta.

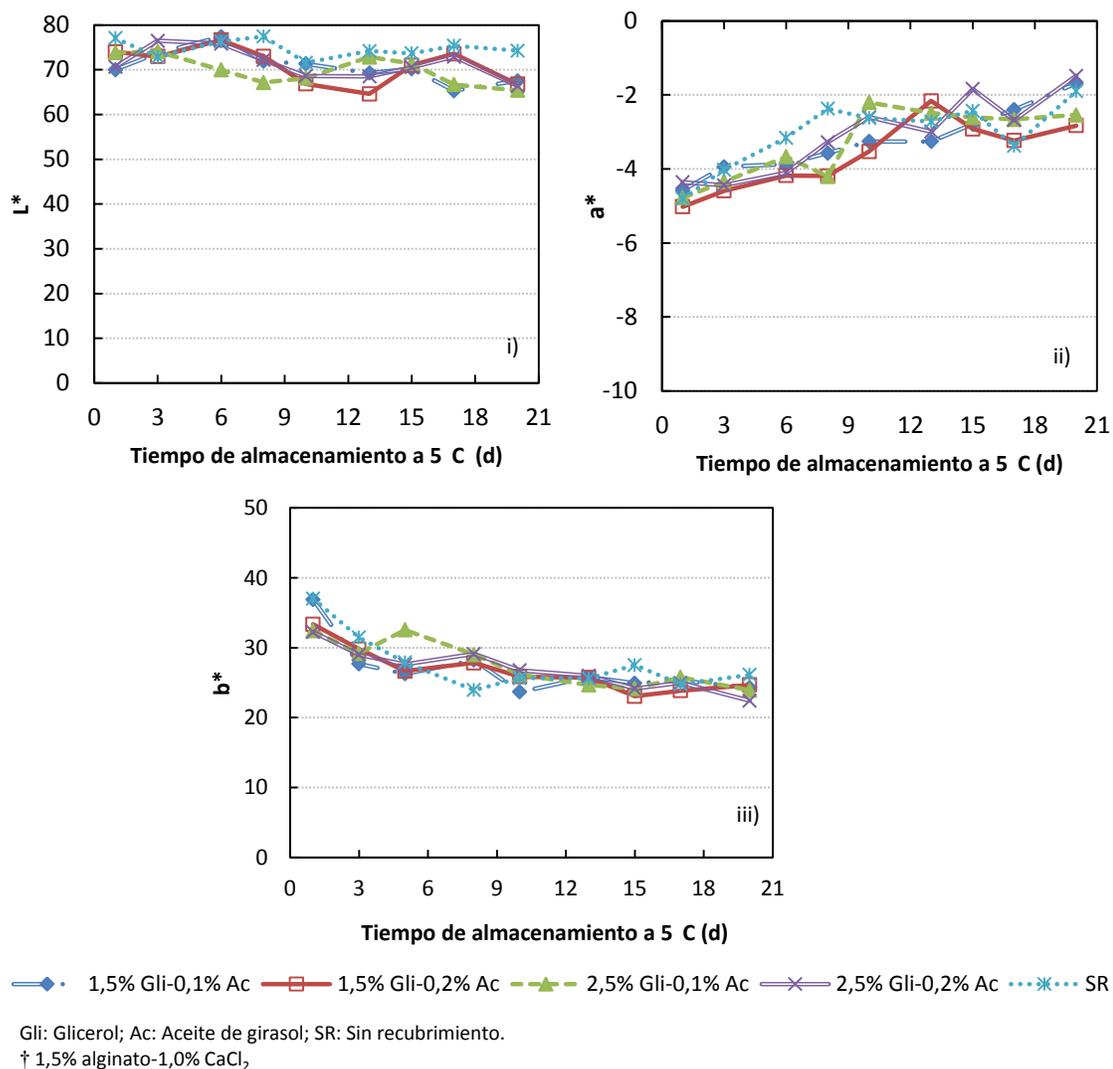


Figura 5.9. Efecto de la concentración de glicerol y aceite de girasol[†] sobre el color L*(i); a*(ii) y b*(iii), en los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Por tanto, ni la aplicación de los recubrimientos ni el contenido de glicerol (de 1,5 a 2,5%) ó aceite de girasol (de 0,1 a 0,2%) en las soluciones formadoras del recubrimiento, afectaron significativamente el color de los trozos de piña, en contraste con el efecto del tiempo almacenamiento, que mostró cambios en los parámetros a^* y b^* , atribuidos a la aparición de tejidos translúcidos y pérdidas de residuos de clorofila asociados con la maduración de los frutículos.

◆ **Firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y pH**

Los resultados de firmeza, contenido de sólidos solubles (SS), acidez titulable (AT) y el pH de los trozos de fruta se muestran en el Cuadro 5.9. Se encontró que el contenido de glicerol y aceite de girasol no tuvo efectos significativos ($p > 0,05$) sobre estas variables, ni hubo diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo (sin recubrimiento). Tampoco se observaron cambios significativos de estas variables a lo largo del almacenamiento por 20 días a 5 °C, así, el promedio de los resultados de firmeza de los trozos de piña mantuvo valores entre 17,4 a 18,3 N (punta cilíndrica de 11 mm), lo cual es congruente con lo observado, ya que los trozos mantenían su integridad durante el almacenamiento, sin daños aparentes en su forma y tamaño.

Montero et al. (2008), también observaron que la forma, estructura y la firmeza de la piña de la misma variedad no cambió significativamente durante el almacenamiento, para trozos con y sin recubrimiento de alginato al 1,0%, con 1,5% de glicerol y 0,025% de aceite de girasol, ni a lo largo del almacenamiento a 5°C. Señalaron que la diversidad y poca uniformidad de los tejidos incide en la variabilidad de los datos de firmeza y que esta es mayor que las diferencias encontradas entre los distintos tratamientos y a lo largo del almacenamiento.

Por otro lado, Bierhals et al (2011), también no encontraron diferencias significativas en las propiedades mecánicas de los trozos de piña “Pérola”, con o sin recubrimientos de almidón de yuca durante el almacenamiento a 5°C; sin embargo, sí encontraron gran variabilidad en la textura en la fruta, asociado a la heterogeneidad de los trozos de piña.

Contrastando con esto, trabajos realizados con trozos de manzana “Fuji” y “Gala” y melón “Piel de sapo” (Rojas-Graü et al. 2008; Olivas et al. 2007; Oms et al. 2008), señalan que la aplicación de recubrimientos de alginato (2,0%), ha contribuido a mantener la firmeza de los trozos de fruta por un mayor tiempo en comparación con los trozos sin recubrir y las diferencias las han atribuido a las propiedades de barrera al vapor de agua que le provee el recubrimiento al producto, destacando que al prevenir la pérdida de humedad, los trozos mantienen su turgencia, y que la adición de CaCl_2 en las soluciones formadoras del recubrimiento, podría contribuir dando un mayor soporte estructural a los trozos de fruta, por su acción como agente reafirmante. Sin embargo, en trozos de piña la firmeza se mantuvo sin cambios significativos a través del tiempo.

Con respecto a las variables SS, AT y pH (Cuadro 5.9), los resultados tampoco mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre tratamientos, aunque durante el almacenamiento se observaron algunas diferencias, estas no fueron consistentes a través del tiempo, ni mostraron una tendencia clara según se puede apreciar en los Cuadros 9.18-9.20, Anexo. El valor promedio por tratamiento del contenido de sólidos solubles de los trozos de piña osciló entre 11,6 y 12,9%, la acidez titulable entre 0,6 y 0,7 g ácido cítrico/100 g_{fruta} y el pH entre 3,2 y 3,4.

Montero et al. (2008), observaron ligeras variaciones en el contenido de sólidos solubles, acidez titulable y el pH de los trozos de piña con y sin un recubrimiento de 1,0% de alginato, para fruta del mismo cultivar, cortados de distintas secciones a lo largo de la piña y encontraron variaciones importantes a lo largo del eje de la fruta, que atribuyeron a las diferencias en el estado de madurez de los frutículos de la piña y su patrón de maduración.

Gil et al. (2006), también reportaron valores similares a los encontrados en este estudio para las variables de SS, AT y pH, en trozos de piña del mismo cultivar, bajo condiciones de atmósfera controlada, y señalan que en caso de encontrar cambios de estas variables durante el almacenamiento, estas cambios están más relacionadas con la variabilidad de las muestras que al efecto del procesamiento y a las condiciones de almacenamiento.

Cuadro 5.9. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre los atributos de calidad de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Firmeza (N) ¹	SS	% AT	pH
1,5	0,1	17,9 ± 2,0	11,9 ± 1,1	0,6 ± 0,1	3,4 ± 0,2
2,5	0,2	17,4 ± 2,2	12,1 ± 1,1	0,6 ± 0,1	3,3 ± 0,2
1,5	0,1	17,7 ± 2,3	12,0 ± 1,0	0,6 ± 0,1	3,3 ± 0,2
2,5	0,2	17,9 ± 2,0	11,6 ± 1,0	0,6 ± 0,1	3,3 ± 0,2
Sin recubrimiento		18,3 ± 2,4	12,9 ± 1,2	0,7 ± 0,1	3,2 ± 0,3

¹: Firmeza medida con punta cilíndrica de 11 mm y velocidad de avance de 5 mm/s

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

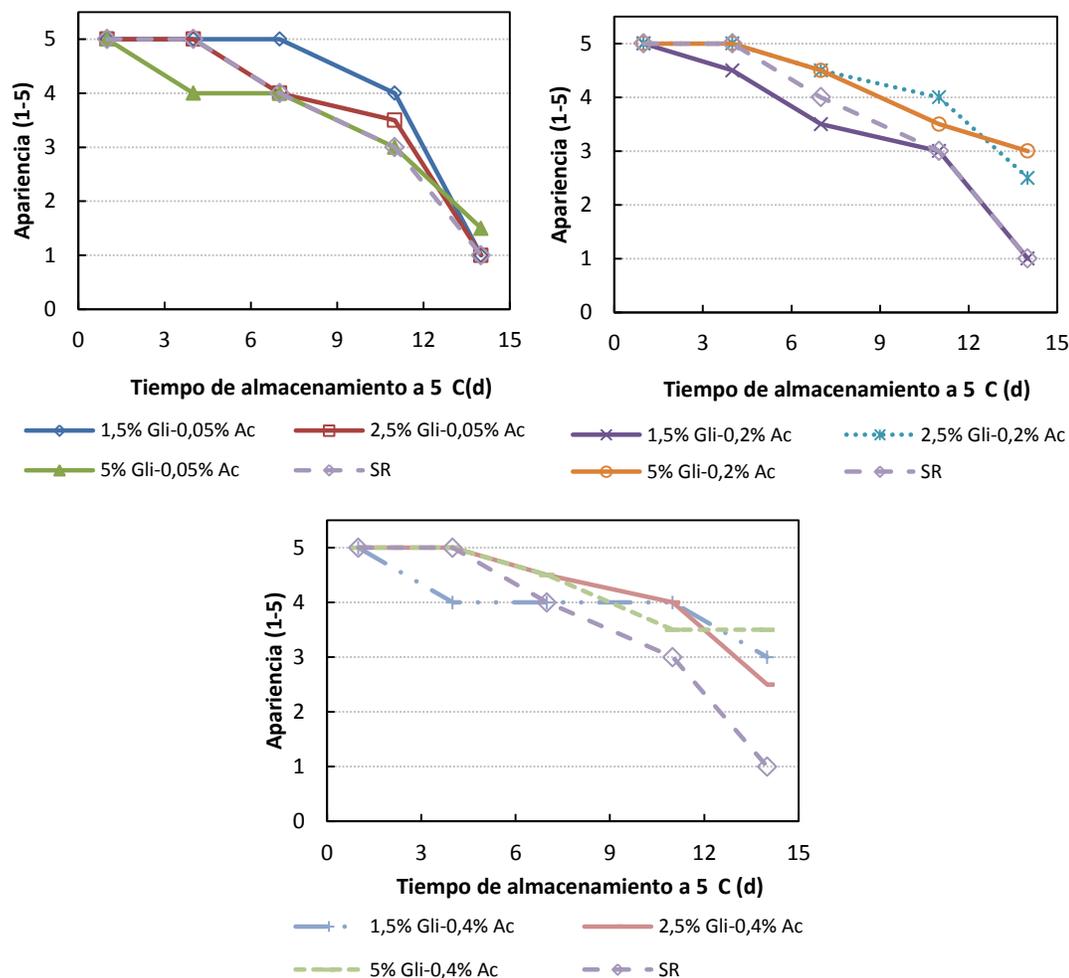
◆ Apariencia general

La apariencia de los trozos de piña fue evaluada durante el almacenamiento por 14 días a 5°C, en la Figura 5.10 y el Cuadro 9.21 (Anexo) se muestran los resultados obtenidos. La apariencia de los trozos de fruta se deterioró a través del tiempo, siendo uno de los síntomas más notables el desarrollo de la translucidez en los tejidos de la fruta, que ocurrió para los

trozos con todas las formulaciones del recubrimiento y para el tratamiento testigo. Los resultados muestran que los trozos mantuvieron una muy buena apariencia (4 ó más en una escala de 0 a 5 puntos) durante los primeros 7 días de almacenamiento, para todos los tratamientos estudiados incluyendo el testigo, por lo que ni la concentración de glicerol (1,5, 2,5 y 5,0%) ni la de aceite de girasol (0,05, 0,2 y 0,4%) tuvieron efecto significativo ($p>0,05$) sobre la apariencia de los trozos. A partir del día 11 el deterioro se acelera, bajando rápidamente a valores de 3, para los tratamientos de 2,5 y 5,0% de glicerol con 0,05% aceite de girasol, 1,5% y 5,0% de glicerol con 0,2% aceite de girasol, 5,0% de glicerol con 0,4% de aceite de girasol y para el tratamiento testigo. Los resultados de apariencia no mostraron diferencias significativas entre tratamientos para los primeros 11 días de almacenamiento; sin embargo, para el último día de evaluación (14) se encontró que los tratamientos con 0,2 y 0,4 % de aceite de girasol obtuvieron una calificación de apariencia entre 2,5 a 3,5, en comparación con los tratamientos con 0,05 % de aceite de girasol y el tratamiento testigo (sin recubrimiento), los cuales obtuvieron calificaciones entre 1 y 1,5. Sin embargo, en ambos casos, los valores obtenidos representan un deterioro significativo de la apariencia de los trozos y si esto se analiza en conjunto con los resultados obtenidos para la presencia de crecimientos de mohos y levaduras (Fig 5.11), se debe destacar que a partir del día 14, todas las muestras mostraron la presencia de crecimiento de microorganismos. Lo anterior, porque la escala de apariencia no contempló la presencia de mohos y levaduras, sino solo la apariencia general de los trozos (color, integridad, textura aparente y otros), pero la presencia de microorganismos visibles descarta la posible comercialización de este producto.

Por otro lado, la escala usada no permitió identificar los cambios que deterioraban la apariencia de los trozos de fruta, pues, aunque la escala empleada permitió hacer una valoración general del estado de los trozos de fruta (pérdida de brillo, aparición de tejidos translucidos, síntomas de deshidratación, oscurecimiento, etc.), brindó poca información sobre los cambios que estaban ocurriendo, por lo que para futuros estudios se recomienda

considerar separadamente la valoración de los atributos, los cuales son parámetros de calidad importantes para los trozos de piña, de deshidratación aparente, oscurecimiento de los tejidos, translucidez (incidencia y severidad), presencia de microorganismos y otros.



Gli: Glicerol; Ac: Aceite de girasol; SR: sin recubrimiento.

† 1,5% alginato-1,0% CaCl₂

Figura 5.10. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la apariencia de los trozos de piña, almacenados 14 días a 5°C y a 80% de HR.

El crecimiento de microorganismos sobre la superficie de los trozos, con o sin recubrimiento se manifestó como manchas de color rosa o verde (Figura 5.11), posiblemente correspondiente a mohos y levaduras. Aunque no se cuantificó la presencia de organismos a lo largo del almacenamiento, ni se identificaron las colonias de hongos presentes en los trozos de fruta, se recomienda valorar tratamientos antimicrobianos alternativos, que inhiban su crecimiento.

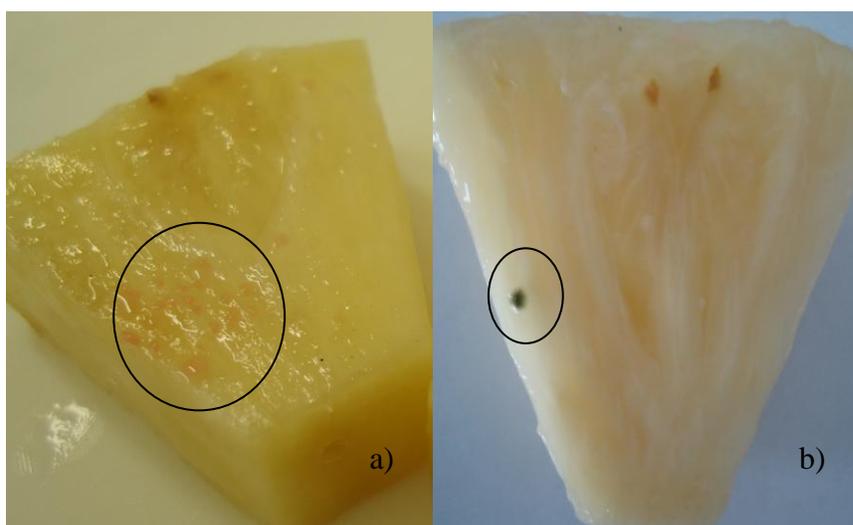


Figura 5.11. Colonias visibles de microorganismos sobre la superficie de los trozos de piña con (a) y sin recubrimiento (b) después de 14 días de almacenamiento a 5°C y a 80% de HR.

◆ Formación del recubrimiento

La formación del recubrimiento se valoró mediante observación del área de cobertura del recubrimiento, su espesor y la adherencia del recubrimiento al trozo de fruta.

- ***Cobertura y grosor***

Se encontró un 100% de cobertura del recubrimiento sobre los trozos de piña, para las formulaciones con 1,5% de alginato, 1,0% CaCl_2 ; concentraciones de 1,5, 2,5 y 5,0% de glicerol y 0,05, 0,2 y 0,4% de aceite de girasol, aunque si se observó que el grosor de la capa de recubrimiento variaba, según se muestra en la Figura 5.12, siendo más ancha en las esquinas del corte transversal. Esto se atribuyó a la viscosidad de la soluciones de alginato, a la interacción del recubrimiento con los componentes de la piña y a la rugosidad de la superficie de la piña, que hace que el recubrimiento tienda a llenar los espacios vacíos y da como resultado que la superficie de los trozos recubiertos se vea lisa y plana, esto sin llegar a que se observaran acumulaciones de alginato (protuberancias) como las que se observaron al usar concentraciones mayores de alginato (2,0%). Adicionalmente, cabe destacar que en la parte superior del trozo de piña recubierto de la misma figura, se puede ver que el recubrimiento también parece penetrar en los tejidos de la piña, lo cual podría también deberse a la rugosidad de la superficie, por los espacios vacíos o poros de la fruta o a otro tipo de interacción del recubrimiento con algunos de los componentes de la piña. Rojas-Graü et al (2007b), encontraron una gran adherencia en los recubrimientos en manzana, donde el recubrimiento se fusionaba con el trozo de fruta, siendo difícil distinguir los límites del mismo.

Los resultados muestran que el espesor promedio del recubrimiento no varió significativamente ($p > 0,05$) entre las distintas formulaciones usadas (Cuadro 5.10), que oscilaron entre $0,41 \pm 0,06$ y $0,58 \pm 0,17$ mm, lo cual se explica por la variabilidad en el espesor del recubrimiento para cada trozo, que fue mayor que la variabilidad encontrada para las diferentes formulaciones evaluadas. Rojas-Graü et al. (2007b) y Tapia et al. (2008), reportaron grosores del recubrimiento de $132,45 \pm 20,48$ y de $136,81 \pm 14,05$ μm para recubrimientos de 2,0% de alginato aplicados en trozos de manzana “Fuji” y papaya “Maradol”, respectivamente, determinados mediante el uso de micrografías. Las diferencias

en el espesor encontradas en este estudio, se pueden atribuir a las diferencias en la rugosidad de la superficie de los trozos de fruta, ya que en el caso de los trozos de piña, la superficie presenta importantes irregularidades lo cual hace que en algunas partes del trozo, el recubrimiento sea de mayor espesor, pero también se pueden atribuir a las interacciones del recubrimiento con el trozo de fruta, ya que se ha observado que recubrimientos de alginato en trozos de fruta como manzana y melón, el recubrimiento parece ser absorbido por la fruta, tal como se mencionó en la sección de la variable formación del recubrimiento, en el apartado 5.2.1.

Cuadro 5.10. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la uniformidad del espesor del recubrimiento de los trozos de piña, almacenados 1 día a 5°C y 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Espesor promedio (mm)
1,5	0,05	0,58 ± 0,17
2,5	0,05	0,53 ± 0,11
5,0	0,05	0,50 ± 0,03
1,5	0,2	0,48 ± 0,05
2,5	0,2	0,47 ± 0,03
5,0	0,2	0,47 ± 0,09
1,5	0,4	0,43 ± 0,01
2,5	0,4	0,42 ± 0,05
5,0	0,4	0,41 ± 0,06

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

En la Figura 5.12 se muestra un corte transversal de un trozo de piña con un recubrimiento de 1,5% de alginato con 1,0% de CaCl₂, al cual se le agregó un colorante de grado

alimenticio, con el fin de observar la uniformidad del recubrimiento y su espesor. Se encontró que el recubrimiento presenta pequeñas diferencias en el espesor en cada uno de los lados del trozo, por otro lado, se observa que el recubrimiento parece estar adherido de manera superficial al trozo de fruta lo cual podría estar relacionado a una menor interacción del recubrimiento con el trozo de piña, y de esta manera influir en el grosor del recubrimiento.

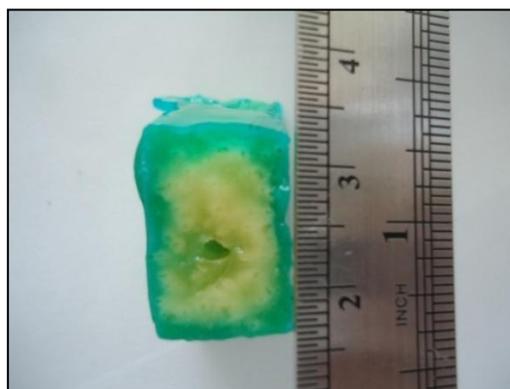


Figura 5.12. Corte de un trozo de piña con un recubrimiento de alginato al 1,5% y 1,0% de CaCl_2 (con colorante celeste jade para resaltar el grosor y uniformidad del recubrimiento).

- ***Adherencia del recubrimiento al trozo de piña***

En el Cuadro 5.11 (Cuadro 9.22, Anexo) se muestran los resultados obtenidos de la adherencia del recubrimiento a los trozos de piña, almacenados 14 días a 5°C. En este estudio, la adherencia del recubrimiento al trozo de piña, no se vio afectada ($p > 0,05$) al aumentar las concentraciones de glicerol desde 1,5 hasta 5,0%, ni de aceite de girasol desde 0,05 hasta 0,4%, para recubrimientos con 1,5% de alginato y 1,0% de CaCl_2 . En la foto de

la Figura 5.12, en la cual se aplicó colorante al recubrimiento, se observa que el recubrimiento rellena las entradas naturales debidas a la rugosidad de la superficie externa de los trozos de piña, pero hubo poca penetración del recubrimiento dentro del trozo, lo cual es un indicativo de que la adherencia del recubrimiento se da principalmente por fuerzas de atracción sobre la superficie del trozo.

En general, no se observaron burbujas de aire o líquido atrapado entre el recubrimiento (Fig. 5.12) y el trozo de fruta que indicaran poca interacción con la superficie de la fruta; sin embargo, al aplicar una pequeña fuerza tangencial el recubrimiento se desprendía muy fácilmente, por lo que se calificaron como recubrimientos de baja adherencia. Estos resultados contrastan con los obtenidos al usar concentraciones de 2,0 y 10,0% de CaCl_2 (apartado 5.2.1), que aparentaban tener una mayor adherencia en la interface del recubrimiento con la superficie del trozo, y era más difícil desprender el recubrimiento del trozo de piña. Sin embargo, al cambiar la composición de los recubrimientos, es de esperar que la interacción con los trozos de piña también se vea alterada.

Tapia et al. (2008); Rojas-Graü et al. (2007b) evaluaron la adherencia del recubrimiento de alginato (2,0%) y CaCl_2 (2,0%), sobre trozos de papaya “Maradol” y manzana “Fuji”, respectivamente, utilizando concentraciones de glicerol desde 0,25 hasta 2,0% y de aceite de girasol de 0,025% a 0,125%. Para las formulaciones usadas, encontraron una buena adherencia de los recubrimiento a los trozos de fruta, lo cual lo atribuyeron al entrecruzamiento entre el alginato-Ca-pectina. Sin embargo, estos autores no reportan específicamente si se observa algún cambio sobre la adherencia, al variar las concentraciones de glicerol y aceite de girasol. Para el caso particular de la piña, es una fruta de bajo contenido de pectinas, que es el caso contrario a las manzanas, que tienen un alto contenido, por lo que es de esperar que el entrecruzamiento alginato-calcio-pectina sea menor en la piña, y esto podría resultar en una menor adherencia del recubrimiento a la superficie del trozo de fruta.

Cuadro 5.11. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la adherencia del recubrimiento a los trozos de piña, almacenados 14 días a 5°C y 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Adherencia ¹ (1-5)
1,5	0,05	1,9 ± 0,3
2,5	0,05	2,0 ± 0,4
5,0	0,05	2,0 ± 0,3
1,5	0,2	2,0 ± 0,3
2,5	0,2	2,1 ± 0,4
5,0	0,2	2,0 ± 0,2
1,5	0,4	2,0 ± 0,2
2,5	0,4	2,0 ± 0,3
5,0	0,4	2,0 ± 0,0

¹ Escala de adherencia: (1): Muy baja; (2). Baja; (3): Media; (4): Alta y (5): Muy alta

5.2.3. Resistencia al vapor de agua, RVA

En la Figura 5.13 (Cuadro 9.23, Anexo) se muestran los resultados obtenidos de la resistencia al vapor de agua de los trozos de piña con recubrimiento de 1,5% de alginato. Se encontró que la resistencia al vapor de agua (RVA), no varió significativamente al variar las concentraciones de CaCl₂ (1,0 y 2,0%), glicerol (1,5 y 2,5%) y aceite de girasol (0,05 y 0,2%), la RVA osciló entre 3,31-3,50 s/cm, resultados que fueron significativamente menores ($p \leq 0,05$) a los obtenidos para la RVA de los trozos sin recubrir (3,79 s/cm).

La reducción en la RVA se atribuyó a la pérdida de humedad de la capa del recubrimiento durante el tiempo en que se realizó la determinación de este parámetro (4 h a 23°C y 48% de HR), dado que la apariencia de los trozos no mostró síntomas de deshidratación en los trozos recubiertos. Adicionalmente, los bajos valores de la resistencia al vapor de agua de los trozos con recubrimiento, podrían ser un indicativo de que el mecanismo de pérdida de humedad se ve afectado por el contacto directo del jugo en estado líquido con el recubrimiento y que la transferencia de masa a través del recubrimiento es afectada por el contacto con el líquido, y no solo se gobierna por el gradiente de presiones de vapor dentro y fuera del trozo de fruta.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Nisperos-Carriedo (1994), quien señala que los recubrimientos de alginato se comportan como agentes sacrificantes, en el sentido de que se evapora primero la humedad del recubrimiento que la del producto que cubre, por lo que aún cuando los trozos de piña recubiertos pierdan agua, el recubrimiento protege al trozo contra la pérdida de humedad y la apariencia externa se mantiene, mientras que los trozos sin recubrimiento, pierden humedad, brillo y se arrugan. También pueden explicarse por el fenómeno descrito en el apartado 5.2.2 (sección pérdida de jugo), dado que la preparación de los recubrimientos de alginato son de una sola capa, preparados como una emulsión en los que los lípidos se dispersan uniformemente en la capa acuosa (hidrocoloides), pero esto hace que la capa de lípidos sobre el producto no sea completa y puede permitir el paso del vapor de agua con mayor facilidad (ver Fig. 3.1, Rodríguez 2011)

Los resultados de este ensayo también se asemejan a los reportados por Wong et al. (1994), al estudiar la resistencia al vapor de agua de recubrimientos de dos capas (polisacárido/lípido) en trozos de manzana, en condiciones de almacenamiento similares a las de este estudio (23°C \pm 1, con una humedad relativa entre 50-55%). Los valores para los trozos de manzana sin recubrimiento oscilaron entre 3,03-3,57 s/cm, pero al aplicar el

recubrimiento de doble capa, la RVA incrementó hasta 44,59 s/cm. Este aumento tan significativo lo atribuyeron a que el trozo de fruta queda totalmente cubierto de una capa de lípidos que impide la transferencia de vapor de agua, debido a su naturaleza hidrofóbica. Al usar una capa simple, en la que se incorporan tanto de manera conjunta el alginato y los lípidos (aceite de girasol), la barrera al paso del vapor de agua es menor, y facilita la pérdida de peso del producto.

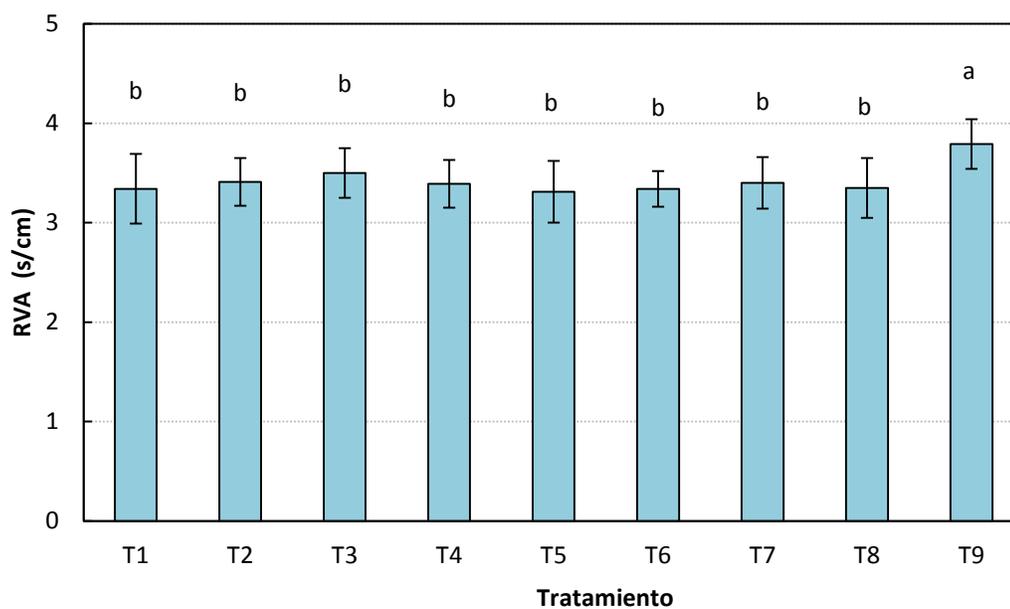
Los resultados con piña no mostraron un efecto significativo en la RVA al variar la concentración del glicerol y del aceite de girasol, lo cual pudo deberse a que por la succulencia de los tejidos de la piña, podría haber una mayor presión para la salida de fluidos de los trozos de piña, mucho menor a la que podría encontrarse para los trozos de manzana o papaya. Estos resultados también podrían explicarse por la afinidad del recubrimiento de alginato por el agua, que pudo haber sido mayor que el efecto del cambio de las concentraciones de estos dos componentes. Estas observaciones contrastan con los resultados publicados por Tapia et al. 2008 y Rojas-Graü et al. 2007b, quienes observaron un incremento en la RVA debido a los cambios en la concentración del glicerol y el aceite de girasol en papaya y manzana, respectivamente.

Costa et al. (2010), evaluaron el efecto de un recubrimiento de almidón de yuca (1,0 y 2,0%) sobre la RVA en fresas mínimamente procesadas y al igual que en este estudio, estos autores encontraron que el recubrimiento no mejoró la RVA que ofrece por naturaleza la matriz vegetal; y este comportamiento lo atribuyeron a las características hidrófilas del recubrimiento, lo cual lo hacen poseer malas barreras al vapor de agua.

Por otro lado, Karbowiak et al. (2009), destacaron que el gradiente de humedad relativa y la interacción del agua con el polímero, juegan un papel importante sobre el incremento de la transferencia de agua a través de películas, donde el estado físico del agua (vapor o líquido) puede afectar la transferencia de masa. En ausencia de interacciones entre el polímero y el agua, como por ejemplo, en un envase de polietileno, no hay diferencia entre el vapor y

permeabilidad al agua líquida; sin embargo, para materiales hidrófilos, la migración del agua líquida incrementa la permeabilidad al agua, que siempre es mayor que en el estado de vapor, debido a que las interacciones del agua con el polímero modifican la estructura de la película. Esta situación se asemeja a lo que ocurre en el caso de la piña, se ejerce una presión del líquido por salir, y de hecho, se acumulan jugos de fruta en el empaque, que han salido de los trozos de piña y puede explicar la pérdida de jugo de los trozos de fruta.

Por tal razón, se considera que los resultados obtenidos de la RVA no explican la totalidad de la función del recubrimiento para reducir la pérdida de fluidos ya que estos resultados contrastan con los obtenidos en los apartados de la variable pérdida del jugo (apartados 5.2.1 y 5.2.2), en los cuales el recubrimiento redujo significativamente la salida de jugo de los trozos de piña en comparación con los trozos sin cubrir, esto podría estar relacionado a que la gran mayoría de la pérdida de jugo se dé en estado líquido y durante el almacenamiento (tal como se explicó en dichos apartados), dando lugar a la acumulación del jugo entre el recubrimiento y el trozo, por lo que el recubrimiento vendría a cumplir la función de una barrera física que retarda la pérdida de líquido de los trozos de piña, tal como la función que cumple la protección natural (epidermis) de la fruta que se remueve durante el procesado.



	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
%Alginato:	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0
% CaCl ₂ :	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0
% Gli:	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0,0
% Ac:	0,05	0,05	0,2	0,2	0,05	0,05	0,2	0,2	0,0

Gli: Glicerol; Ac: Aceite de girasol

Figura 5.13. Efecto de las concentraciones de CaCl₂, glicerol y aceite de girasol sobre la RVA en trozos de piña con recubrimientos de 1,5% de alginato.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

➤ Conclusiones

-Formulaciones del recubrimiento con 1,0 a 2,0% de alginato y 1,0 a 2,0% CaCl_2 retuvieron la salida de jugo de los trozos de piña durante los primeros seis días de almacenamiento a 5°C y 80% de HR, y disminuyeron la cantidad de jugo drenado a lo largo del almacenamiento en comparación con las formulaciones con 1,0% de alginato y 10,0% de CaCl_2 .

-El aumento de 1,0 a 2,0% de alginato, y de 1,0 a 2,0% de CaCl_2 , no tuvo efecto sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña fresca.

-El aumento en las concentraciones de glicerol desde 0,5 a 2,5% y de aceite de girasol de 0,05 a 0,4%, tampoco tuvo efecto sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña durante el almacenamiento 5°C y 80% de HR.

-Formulaciones con 1,0 a 2,0% de alginato y de 1,0 a 10,0% de CaCl_2 permitieron una cobertura del 100% sobre la superficie de los trozos de piña, aunque la uniformidad del grosor del recubrimiento fue mejor cuando se usaron concentraciones de alginato de 1,5% o menores.

-La adherencia del recubrimiento a los trozos de piña, fue buena para todas las formulaciones evaluadas.

-El recubrimiento de alginato con las diferentes formulaciones evaluadas, permitió conservar los atributos de calidad de los trozos de piña.

-Las formulaciones usadas para los recubrimientos de alginato, no tuvieron efecto sobre la tasa respiratoria, composición gaseosa en el espacio de cabeza, el color, el contenido de sólidos solubles, la acidez titulable y el pH de los trozos de piña, durante el almacenamiento a 5°C y 80% de HR.

-La resistencia al vapor de agua, RVA de los trozos de piña no fue afectada por la concentración de los componentes del recubrimiento.

-La abundancia de jugo de piña en contacto con el recubrimiento, pudo haber afectado la permeabilidad del recubrimiento y favorecido la pérdida de jugo.

➤ **Recomendaciones**

-Evaluar el uso de otros lípidos y plastificantes, alternativos al aceite de girasol y al glicerol, que permitan una mejor retención del jugo de piña, sin afectar los atributos de calidad.

-Evaluar si el uso de recubrimientos comestibles a base de otros polisacáridos como el gelano, de rápida formación con el contacto con los iones de calcio, puede controlar mejor la salida de líquido de los trozos de piña, que el alginato.

-Estudiar los procesos de transferencia de masa en la piña recubierta, con el fin de identificar los mecanismos de transporte del líquido a través del recubrimiento.

-Validar el método de determinación de la resistencia al vapor de agua con las modificaciones propuestas en este estudio (cámara a 23°C y 48% de HR).

-Evaluar el efecto del uso de los recubrimientos comestibles, sobre la calidad sensorial de los trozos de piña.

7. NOMENCLATURA

a*:	Parámetro de color escala CIE L*a*b*, de -a*(verde) a +a*(rojo)
A:	Área (cm ²)
Ac:	Aceite de girasol
Alg:	Alginato de sodio
AT:	Contenido de acidez titulable (mg de ácido cítrico/100 g _{fruta})
a _w :	Actividad de agua
b*:	Parámetro de color escala CIE L*a*b*, de -b*(azul) a +b*(amarillo)
Ca:	Solución de CaCl ₂
C _{NaOH} :	Concentración de la solución de NaOH, (M)
ds/dt:	Gradiente de concentración de gases (g/s)
E:	Constante del ácido predominante en la muestra analítica
Gli:	Glicerol
HR:	Humedad relativa (%)
HR _E :	Humedad relativa de equilibrio (%)
L*:	Luminosidad, escala CIE L*a*b*
M _{ju} :	Masa del jugo utilizada (g)
P:	Peso de la muestra (kg)
PET:	Tereftalato de polietileno
P _i :	Presión de vapor de agua dentro de la fruta (mmHg) 23 °C
P _o :	Presión de vapor del agua líquida (mmHg) 23 °C
PP:	Polipropileno (bolsas de PP)
PS:	Poliestireno (bolsas de PS)
PVC:	Policloruro de vinilo (bolsas de PVC)
P _a :	Presión de vapor de agua fuera de la fruta (mmHg) a 23 °C
R _c :	Constante universal de gases (3,46 mmHg L/K ⁻¹ kg ⁻¹)
RC:	Recubrimiento comestible

RVA:	Resistencia al vapor de agua (s/cm)
SR:	Trozo sin recubrimiento comestible
SS:	Contenido de sólidos solubles (%)
T:	Temperatura (°C)
t:	Tiempo de análisis (h)
V:	Volumen del recipiente que contiene la muestra (mL)
V ₂ :	Volumen consumido de la disolución de NaOH (mL)
ΔC:	Diferencia en la concentración de gas, dentro y fuera de la fruta (mL/cm ³)

8. BIBLIOGRAFÍA

Agar I, Hess-Pierce B, Kader A. (1999). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut Kiwifruit slices. *Journal of Food Science* 64: 433-440.

Agustí M. (2003). Citricultura. España: 2ed. Mundi Prensa.

Aranguren I. (2006). Desarrollo de un producto fresco cortado, utilizando piña dorada. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Azarakhsh N, Osman A, Ghazali H, Tan C, Mohd A. (2012). Optimization of alginate and gellan-based edible coatings formulations for fresh-cut pineapples. *International Food Research Journal* 19(1): 279-285.

Bastos D, Gomes K, Miguez M. (2009). Ascorbic acid retaining using a new calcium alginate-Capsul based edible film. *Journal of Microencapsulation* 26(2): 97-103.

Bierhals V, Chiumarelli M, Hubinger M. (2011). Effect of Cassava Starch Coating on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill cv “Pérola”). *Journal of Food Science* 76(1): E62-E72.

Bosquez-Molina E, Tomás S. A, Rodríguez-Huezo M. E. (2010). Influence of CaCl₂ on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gum based edible films. *LWT-Food Science and Technology*.43: 1419-1425.

Bounocore G, Nobile N, Martino M, Gambacorta G, Notte L, Nicolais L. (2003). Modelling the water transport properties of casein-based edible coating. *Journal of Food Engineering* 60: 99-106.

Brenes S. (2007). Caracterización vegetativa y productiva del cultivar MD-2 de piña (*Ananas comosus*) bajo las condiciones climáticas de Turrialba. *Inter Sedes* 5(11): 27-34.

Carrasco E, Villarroel M, Cevallos L. (2002). Efecto de los recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de los pimentones verdes (*Capsicum annuum* L.) durante el almacenamiento. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52: 84-90.

Casabo J. (1975). Manual de laboratorio para química: experimentos y teorías. España: Reverté S.A.

Costa L, Mendes P, Claire I y Dupas M. (2010). Selection of an edible starch coating for minimally processed strawberry. *Food Bioprocess Technology* 3: 834-842.

García E, Gago L, Fernández J. (2006). Informe de vigilancia tecnológica: tecnologías de envasado en atmósfera protectora. CEIM, Madrid.

<http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt3_tecnologias_de_envasado_en_atmosfera_protectora.pdf> (Junio, 2012).

García M, Martino M, Zaritzky N. (2000). Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Food Chemistry and Toxicology* 65(6): 941-947.

García M. (2008). Películas y cubiertas de Quitosana en la conservación de vegetales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 18(1): 72-76.

Gil M, Aguayo E, Adel A, Kader A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 4284-4296.

Greener D, Fennema O. (1994). Edible films and coatings: Characteristics, Formation, Definitions and Testing Methods. En: *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*.

Eds. Krochta J.M., Balwin E.A., Nisperos-Carriedo M.O.: Technomic Publishing, Lancaster, Basel. p. 1-24.

Hernández E. (1994). Edible coatings from Lipids and Resins. En: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Eds. Krochta J.M., Balwin E.A., Nisperos-Carriedo M.O.: Technomic Publishing, Lancaster, Basel. p. 279-302.

Kader A. (2004). Category-Fresh-cut Fruits & Vegetables: Reducing juice leakage in fresh-cut fruit. Postharvest Questions & Answers by Topic In: Postharvest Technology Research and Information Center. University of California.Davis, USA. <http://postharvest.ucdavis.edu/libraries/Questions_and_Answers/?uid=15&ds=267> (Mayo, 2012).

Kader A. (2006). Pineapple: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Postharvest Technology Research and Information Center. University of California, Davis,USA.<<http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Pineapple/>> (Marzo, 2012).

Karbowiak T, Debeaufort F, Voilley A, Trystram G. (2009). From macroscopic through edible packaging applied at interfaces of multiphase food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10: 116-127.

Maftoonazad N, Ramaswamy H, Marcotte M. (2008). Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 951-957.

Marrero A, Kader A. (2006). Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology* 39: 163-168.

Marzo I. (2010). Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína. Tesis de licenciatura, Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España.

McHugh T, Krochta J. (1994a). Sorbitol- vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42(4): 841-845.

McHugh T, Krochta J. (1994b). Permeability of edible films. En: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Eds. Krochta J.M., Balwin E.A., Nisperos-Carriedo M.O.: Technomic Publishing, Lancaster, Basel. p. 139-187.

Mei Y, Zhao Y, Yang J, Furr H. (2002). Using Edible Coating to Enhance Nutritional and Sensory Qualities of Baby Carrots. *Journal of Food Science* 67(5): 1964-1968.

Montero-Calderón M, Rojas-Graü M, Aguiló-Aguayó I, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. (2010). Influence of modified atmosphere packaging on volatile compounds and physicochemical and antioxidant attributes of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Journal and Agricultural Food Chemistry* 58: 5042-5049.

Montero-Calderón M, Rojas-Graü M, Martín-Belloso O. (2010). Mechanical and chemical properties of Gold cultivar pineapple flesh. *European Food and Research Technology* 230(4): 675-686.

Montero-Calderón M, Rojas Graü M, Soliva-Fortuny R. (2009). Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional* 69: 48-51.

Montero-Calderón M, Rojas-Graü M, Soliva-Fortuny R. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology* 50: 182-189.

Morillon V, Debeaufort F, Capelle M, Blond G, Voilley A. (2000). Influence of the physical state of water on the barrier properties of hydrophilic and hydrophobic films. *Journal Agriculture Food Chemistry* 48: 11-16.

Nisperos-Carriedo, M. (1994). Edible coatings and films based on polysaccharides. En: *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Eds. Krochta J.M., Balwin E.A., Nisperos-Carriedo M.O.: Technomic Publishing, Lancaster, Basel. p. 305-330.

Olivas G, Barbosa G. (2005). Edible coatings for Fresh-Cut Fruits. *Food Science and Nutrition* 4: 657-670.

Olivas G, Mattinson D, Barbosa G. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. *Postharvest Biology and Technology* 45: 89-96.

Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT-Food Science and Technology* 41:1862-1870.

Paull R, Cheng G. (2004). Pineapple. In *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks* USDA-ARS. Agriculture Handbook Number 66.<<http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/111pineapple.pdf>> (Marzo, 2012).

Polo M, Mauguin C, Voilley A. (1992). Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *Journal Agriculture Food Chemistry* 40(3): 407-412.

Rayas L, Hernández R, Perry K. (1997). Development and Characterization of Biodegradable/Edible Wheat Protein Films. *Journal of Food Science* 62(1): 160-163.

Ríos E, Giraldo G, Duque A. (2007). Predicción de la Actividad de Agua en Frutas Tropicales. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío* 17: 27-32.

Rocculi P, Coccia E, Romania S, Sacchetti G, Rosaa M. (2009). Effect of 1-MCP treatment and N₂O MAP on physiological and quality changes of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology* 51: 371-377.

Rodríguez L. (2011). Evaluación de recubrimientos comestibles proteicos aplicados al salmón del Atlántico (*Salmo salar*) congelado: estudio de diferentes formulaciones y tratamientos tecnológicos. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España.

Rojas-Graü M, Tapia M, Rodríguez F, Carmona A, Martin-Belloso O. (2007b). Alginate and gellan based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids* 21: 118-127.

Rojas-Graü M, Tapia M, Martin-Belloso O. (2007a). Empleo de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas: Nuevo enfoque de conservación y desarrollo de productos. *Alimentaria* 105-118.

Rojas-Graü M, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Science and Technology* 20: 438-447.

Rojas-Graü M, Tapia M, Martín-Belloso O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT* 41(1): 139-147.

Sangsuwan J, Rattanapanone N, Rachtanapun P. (2008). Effect of chitosan/methyl cellulose films on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple. *Postharvest Biology and Technology* 49:403-410.

Sapers G, Miller R. (1998). Browning Inhibition in Fresh-Cut Pears. *Journal of Food Science* 63 (2): 342-346.

Solano S. (2008). Evaluación del efecto de las características de la fruta y de las condiciones de almacenamiento sobre la vida útil de dos variedades de piña (*Ananas comosus*). Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. (2005). Nuevas tendencias en el procesado y comercialización de fruta fresca cortada. *Horticultura Internacional* 60: 36-41.

Tanada P y Grosso C.R.C. (2003). Development and characterization of edible films based on gluten from semi-hard and soft Brazilian wheat flours (development of films based on gluten from wheat flours). *Ciencia de Tecnología de Alimentos* 23(2): 264-269.

Tapia M, Rojas-Graü M, Rodríguez F, Ramírez J, Carmona A, Martín-Belloso O. (2007). Alginate and gellan based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *Journal of Food and Science* 72: E190-E196.

Tapia M, Rojas-Graü M, Carmona A, Rodríguez F, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. (2008). Use of alginate and gellan based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids* 22: 1493-1503.

Watada A, Qi L. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 15: 201-205.

Wong D, Gregorski K, Hudson J, Pavlath A. (1996). Calcium Alginate Films: Thermal Properties and Permeability to Sorbate and Ascorbate. *Journal of Food Science* 61(2): 337-341.

Wong D, Tillin S, Hudson J, Pavlath A. (1994). Gas Exchange in Cut Apples with Bilayer Coatings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42: 2278-2285.

Zactiti E, Kieckbusch T. (2006). Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree. *Journal of Food Engineering* 77: 462-467.

9. ANEXOS

Cuadro 9.1. Efecto de las puntas del texturómetro y la velocidad de avance sobre la firmeza en los trozos de piña, evaluados en día 0.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	Firmeza (N) ¹		Firmeza (N) ²	
		Velocidad de avance (mm/s)		Velocidad de avance (mm/s)	
		5,0	10,0	5,0	10,0
1,0	2,0	9,7 ± 1,3	10,2 ± 0,8 ^{ab}	14,4 ± 1,0	14,7 ± 1,1
1,0	10,0	9,3 ± 0,9	10,5 ± 0,5 ^a	13,6 ± 2,2	15,8 ± 0,8
2,0	2,0	10,0 ± 0,8	9,4 ± 1,1 ^b	13,9 ± 3,5	15,4 ± 2,2
2,0	10,0	10,4 ± 1,3	9,9 ± 1,2 ^{ab}	14,1 ± 0,6	14,7 ± 1,3
Sin recubrimiento		10,1 ± 1,3	9,8 ± 1,0 ^{ab}	14,2 ± 1,4	15,3 ± 1,3

¹: Firmeza medida con punta cilíndrica de 8 mm

²: Firmeza medida con punta cilíndrica de 11 mm

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Cuadro 9.2. Efecto de las concentraciones de alginato[†] y CaCl₂ sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña, almacenados durante 18 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	Pérdida de jugo (mL/100g fruta)						
		Día						
		0	3	6	9	12	15	18
1,0	1,0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,11 ± 0,13 ^b	1,06 ± 0,44 ^{bc}	2,11 ± 0,91 ^{ab}	3,02 ± 1,15 ^{abc}	4,02 ± 1,41 ^{abc}
1,0	2,0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,10 ± 0,06 ^b	0,55 ± 0,33 ^{cd}	1,31 ± 0,62 ^{bc}	2,31 ± 0,67 ^{bc}	3,65 ± 0,93 ^{bc}
1,0	10,0	0,00 ± 0,00	0,37 ± 0,45 ^a	0,61 ± 0,62 ^a	1,67 ± 0,75 ^{ab}	2,62 ± 0,54 ^a	3,89 ± 0,59 ^a	5,34 ± 0,63 ^a
2,0	1,0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,06 ^b	0,38 ± 0,49 ^d	0,85 ± 0,74 ^c	1,84 ± 1,29 ^c	2,92 ± 1,75 ^c
2,0	2,0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b	0,27 ± 0,55 ^d	0,86 ± 0,98 ^c	1,82 ± 1,17 ^c	3,02 ± 1,50 ^c
2,0	10,0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,13 ± 0,23 ^b	0,43 ± 0,44 ^{cd}	1,24 ± 0,60 ^{bc}	2,38 ± 0,64 ^{bc}	3,87 ± 0,86 ^{ab}
Sin recubrimiento		0,00 ± 0,00	0,14 ± 0,08 ^b	0,90 ± 0,18 ^a	1,74 ± 0,26 ^a	2,48 ± 0,19 ^a	3,52 ± 0,07 ^{ab}	4,73 ± 0,38 ^{ab}

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.3. Efecto de las concentraciones de alginato[†] y CaCl₂ sobre la pérdida de peso de los empaques con trozos de piña, almacenados durante 18 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	Pérdida de peso(g/100g fruta)						
		Día						
		0	3	6	9	12	15	18
1,0	1,0	0,00 ± 0,00	0,10 ± 0,07	0,10 ± 0,00 ^b	0,20 ± 0,00 ^b	0,28 ± 0,13 ^b	0,46 ± 0,11 ^b	0,78 ± 0,42 ^a
1,0	2,0	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,05	0,16 ± 0,05 ^{ab}	0,22 ± 0,04 ^b	0,28 ± 0,04 ^b	0,44 ± 0,05 ^b	0,56 ± 0,11 ^{ab}
1,0	10,0	0,00 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,24 ± 0,17 ^a	0,34 ± 0,17 ^a	0,46 ± 0,18 ^a	0,62 ± 0,19 ^a	0,80 ± 0,17 ^a
2,0	1,0	0,00 ± 0,00	0,08 ± 0,04	0,12 ± 0,04 ^b	0,20 ± 0,00 ^b	0,26 ± 0,09 ^b	0,38 ± 0,08 ^b	0,52 ± 0,08 ^{ab}
2,0	2,0	0,00 ± 0,00	0,08 ± 0,08	0,12 ± 0,04 ^b	0,22 ± 0,04 ^b	0,26 ± 0,09 ^b	0,42 ± 0,11 ^b	0,46 ± 0,15 ^b
2,0	10,0	0,00 ± 0,00	0,08 ± 0,04	0,06 ± 0,05 ^b	0,16 ± 0,05 ^b	0,26 ± 0,05 ^b	0,36 ± 0,05 ^b	0,52 ± 0,15 ^{ab}
Sin recubrimiento		0,00 ± 0,00	0,10 ± 0,07	0,14 ± 0,05 ^{ab}	0,18 ± 0,08 ^b	0,30 ± 0,07 ^b	0,46 ± 0,05 ^b	0,60 ± 0,14 ^{ab}

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.4. Efecto de la concentración de alginato[†] y CaCl₂ sobre el color L* en los trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	L*					
		Día					
		0	2	6	9	13	16
1,0	2,0	70,3 ± 2,4	70,2 ± 0,9 ^b	71,4 ± 0,1 ^a	63,4 ± 9,9	61,8 ± 4,7	69,5 ± 2,4
1,0	10,0	71,1 ± 2,0	75,8 ± 0,2 ^a	66,2 ± 4,9 ^a	69,6 ± 3,3	53,0 ± 7,0	64,1 ± 5,8
2,0	2,0	68,2 ± 2,2	74,4 ± 0,1 ^a	70,9 ± 1,0 ^a	67,0 ± 6,7	52,1 ± 2,4	62,4 ± 0,8
2,0	10,0	72,1 ± 2,6	65,1 ± 2,0 ^c	58,5 ± 2,3 ^b	58,4 ± 2,2	62,0 ± 1,0	56,8 ± 9,2
Sin recubrimiento		73,4 ± 3,9	70,9 ± 1,5 ^b	72,7 ± 1,9 ^a	73,7 ± 1,6	68,4 ± 1,2	72,7 ± 0,0

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.5. Efecto de la concentración de alginato[†] y CaCl₂ sobre el color a* en los trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	a*					
		Día					
		0	2	6	9	13	16
1,0	2,0	-4,3 ± 0,4	-3,2 ± 0,8 ^{ab}	-3,2 ± 0,0	-2,7 ± 0,2	-3,5 ± 0,1	-4,0 ± 0,1
1,0	10,0	-4,5 ± 0,4	-2,7 ± 0,1 ^{ab}	-2,5 ± 0,7	-1,9 ± 0,1	-3,0 ± 0,2	-3,7 ± 0,7
2,0	2,0	-3,8 ± 0,3	-3,7 ± 0,4 ^b	-3,5 ± 0,8	-3,4 ± 1,2	-2,1 ± 0,8	-2,9 ± 1,2
2,0	10,0	-3,9 ± 0,5	-2,3 ± 0,4 ^{ab}	-2,4 ± 0,3	-2,7 ± 0,3	-2,8 ± 0,4	-3,2 ± 0,8
Sin recubrimiento		-4,6 ± 1,1	-1,5 ± 1,2 ^a	-2,8 ± 0,5	-3,2 ± 0,8	-3,7 ± 1,5	-3,9 ± 1,2

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas (p≤0,05)

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.6. Efecto de la concentración de alginato[†] y CaCl₂ sobre el color b* en los trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	b*					
		Día					
		0	2	6	9	13	16
1,0	2,0	38,2 ± 0,2	34,8 ± 4,3 ^{ab}	32,6 ± 0,9 ^{bc}	32,7 ± 5,9 ^{ab}	30,5 ± 1,7 ^{ab}	30,1 ± 0,1 ^a
1,0	10,0	36,1 ± 2,7	32,4 ± 0,8 ^b	29,9 ± 1,2 ^{cd}	34,7 ± 0,9 ^{ab}	25,3 ± 3,0 ^b	26,7 ± 0,5 ^{ab}
2,0	2,0	37,9 ± 0,7	35,2 ± 2,3 ^{ab}	35,5 ± 0,9 ^{ab}	34,3 ± 1,5 ^{ab}	27,1 ± 0,2 ^{ab}	26,1 ± 2,3 ^{ab}
2,0	10,0	37,5 ± 1,8	31,8 ± 0,3 ^b	27,2 ± 1,5 ^d	27,7 ± 1,6 ^b	28,9 ± 3,0 ^{ab}	24,2 ± 2,0 ^b
Sin recubrimiento		39,4 ± 0,8	39,7 ± 2,1 ^a	37,4 ± 3,0 ^a	37,3 ± 1,6 ^a	32,1 ± 0,2 ^a	30,4 ± 2,2 ^a

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.7. Efecto de la concentración de alginato[†] y CaCl₂ sobre la uniformidad del recubrimiento de trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	% Trozos ¹
1,0	2,0	90
1,0	10,0	86
2,0	2,0	25
2,0	10,0	68

¹ Trozos con recubrimiento uniforme

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.8. Efecto de la concentración de alginato[†] y CaCl₂ sobre la adherencia del recubrimiento de trozos de piña, almacenados 16 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Alginato (%)	Concentración de CaCl ₂ (%)	% Trozos ¹				
		1	2	3	4	5
1,0	2,0	0	90	10	0	0
1,0	10,0	0	53	39	8	0
2,0	2,0	0	42	43	15	0
2,0	10,0	0	8	21	71	0

Adherencia¹, **1:** Muy Baja; **2:** Baja; **3:** Media; **4:** Alta; **5:** Muy Alta.

[†] 1,5% Glicerol-0,025% aceite girasol

Cuadro 9.9. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la pérdida de jugo de los trozos de piña, almacenados 18 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Pérdida de jugo (mL/100g fruta)							
		Día							
		0	3	6	9	12	15	18	
0,5	0,05	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,02 ^b	0,52 ± 0,26 ^b	1,31 ± 0,44 ^b	2,17 ± 0,60 ^b	3,09 ± 0,91 ^b	
1,5	0,05	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,11 ^b	0,54 ± 0,41 ^b	1,38 ± 0,58 ^b	2,28 ± 0,67 ^b	3,39 ± 0,92 ^b	
2,5	0,05	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,11 ± 0,12 ^b	0,60 ± 0,31 ^b	1,70 ± 0,57 ^b	2,60 ± 0,93 ^b	3,53 ± 1,04 ^b	
0,5	0,2	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,06 ± 0,03 ^b	0,61 ± 0,23 ^b	1,43 ± 0,34 ^b	2,38 ± 0,60 ^b	3,18 ± 0,90 ^b	
1,5	0,2	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,04 ± 0,07 ^b	0,50 ± 0,38 ^b	1,17 ± 0,47 ^b	1,91 ± 0,71 ^b	2,90 ± 0,91 ^b	
2,5	0,2	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,04 ± 0,04 ^b	0,62 ± 0,32 ^b	1,44 ± 0,56 ^b	2,27 ± 0,70 ^b	3,14 ± 0,97 ^b	
0,5	0,4	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,08 ± 0,03 ^b	0,46 ± 0,28 ^b	1,18 ± 0,40 ^b	2,25 ± 0,80 ^b	3,31 ± 1,00 ^b	
1,5	0,4	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,05 ± 0,03 ^b	0,46 ± 0,30 ^b	1,25 ± 0,41 ^b	1,99 ± 0,62 ^b	3,06 ± 0,68 ^b	
2,5	0,4	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,08 ^b	0,59 ± 0,39 ^b	1,53 ± 0,29 ^b	2,39 ± 0,30 ^b	3,31 ± 0,31 ^b	
Sin recubrimiento		0,00 ± 0,00	0,14 ± 0,08 ^a	0,90 ± 0,18 ^a	1,74 ± 0,26 ^a	2,48 ± 0,19 ^a	3,52 ± 0,07 ^a	4,73 ± 0,38 ^a	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.10. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la pérdida de peso de los trozos de piña, almacenados 18 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Pérdida de peso(g/100g fruta)						
		Día						
		0	3	6	9	12	15	18
0,5	0,05	0,00 ± 0,00	0,10 ± 0,07 ^a	0,12 ± 0,08 ^{ab}	0,22 ± 0,04	0,24 ± 0,21	0,40 ± 0,12	0,44 ± 0,11
1,5	0,05	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,05 ^{ab}	0,04 ± 0,05 ^b	0,18 ± 0,08	0,28 ± 0,11	0,40 ± 0,07	0,60 ± 0,10
2,5	0,05	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,09 ^{ab}	0,06 ± 0,05 ^{ab}	0,22 ± 0,08	0,26 ± 0,09	0,38 ± 0,11	0,52 ± 0,19
0,5	0,2	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,05 ^{ab}	0,10 ± 0,07 ^{ab}	0,18 ± 0,04	0,26 ± 0,11	0,36 ± 0,15	0,50 ± 0,25
1,5	0,2	0,00 ± 0,00	0,08 ± 0,04 ^{ab}	0,08 ± 0,08 ^{ab}	0,18 ± 0,11	0,26 ± 0,15	0,42 ± 0,15	0,56 ± 0,11
2,5	0,2	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,05 ^{ab}	0,06 ± 0,05 ^{ab}	0,22 ± 0,08	0,28 ± 0,08	0,40 ± 0,07	0,52 ± 0,08
0,5	0,4	0,00 ± 0,00	0,04 ± 0,05 ^{ab}	0,04 ± 0,05 ^b	0,16 ± 0,11	0,22 ± 0,13	0,36 ± 0,17	0,36 ± 0,42
1,5	0,4	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 ^b	0,06 ± 0,05 ^{ab}	0,12 ± 0,04	0,24 ± 0,05	0,42 ± 0,13	0,60 ± 1,45
2,5	0,4	0,00 ± 0,00	0,08 ± 0,04 ^{ab}	0,10 ± 0,07 ^{ab}	0,16 ± 0,05	0,32 ± 0,08	0,36 ± 0,05	0,48 ± 0,04
Sin recubrimiento		0,00 ± 0,00	0,10 ± 0,07 ^a	0,14 ± 0,05 ^a	0,18 ± 0,08	0,30 ± 0,07	0,46 ± 0,05	0,60 ± 0,14

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.11. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre el porcentaje de O₂ en el empaque de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	% O ₂									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	20,5 ± 0,6	20,4 ± 0,1	20,7 ± 0,3	20,3 ± 0,3	20,6 ± 0,0 ^b	20,2 ± 0,1	20,3 ± 0,1	20,4 ± 0,8	20,6 ± 0,4	
2,5	0,2	20,7 ± 0,3	20,4 ± 0,1	20,8 ± 0,2	20,5 ± 0,6	20,4 ± 0,8 ^b	20,0 ± 0,3	20,1 ± 0,1	20,4 ± 0,4	20,6 ± 0,4	
1,5	0,1	20,2 ± 0,0	20,0 ± 0,4	20,4 ± 0,1	20,3 ± 0,4	19,3 ± 0,0 ^a	19,8 ± 0,9	20,0 ± 0,4	19,8 ± 0,8	20,2 ± 0,3	
2,5	0,2	20,5 ± 0,2	19,9 ± 0,1	20,4 ± 0,1	20,1 ± 0,3	20,5 ± 0,1 ^b	20,0 ± 0,5	20,3 ± 0,3	20,0 ± 0,4	20,1 ± 0,6	
Sin recubrimiento		20,6 ± 0,1	20,4 ± 0,2	20,3 ± 0,5	20,7 ± 0,4	20,8 ± 0,2 ^b	20,3 ± 0,4	20,3 ± 0,5	20,8 ± 0,2	20,6 ± 0,5	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.12. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre el porcentaje de CO₂ en el empaque de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	% CO ₂									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	0,7 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,2	0,6 ± 0,3	0,4 ± 0,1 ^a	0,9 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,5	0,6 ± 0,3	
2,5	0,2	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,2	0,6 ± 0,4	0,8 ± 0,7 ^{ab}	1,0 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,4	
1,5	0,1	0,8 ± 0,0	1,0 ± 0,4	0,5 ± 0,0	0,7 ± 0,5	1,6 ± 0,1 ^b	1,2 ± 0,9	0,8 ± 0,5	1,2 ± 0,6	1,0 ± 0,3	
2,5	0,2	0,7 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,4	0,5 ± 0,1 ^a	1,0 ± 0,6	0,5 ± 0,2	1,0 ± 0,4	1,0 ± 0,8	
Sin recubrimiento		0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,4	0,6 ± 0,5	0,3 ± 0,3	0,4 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,4	0,5 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,2	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.13. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la tasa respiratoria de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Tasa respiratoria (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	17,3 ± 2,7 ^a	12,1 ± 0,6 ^a	17,0 ± 1,8 ^{ab}	16,0 ± 0,5	17,6 ± 0,3	16,4 ± 0,0	21,6 ± 3,1 ^{ab}	21,7 ± 4,6 ^b	17,9 ± 1,3	
2,5	0,2	27,0 ± 6,1 ^{ab}	15,6 ± 1,0 ^b	12,6 ± 1,1 ^a	17,0 ± 2,2	18,4 ± 1,9	22,8 ± 0,4	19,5 ± 0,0 ^{ab}	11,9 ± 0,3 ^a	23,0 ± 6,9	
1,5	0,1	28,6 ± 1,4 ^b	10,7 ± 0,2 ^a	13,0 ± 0,0 ^a	14,2 ± 4,9	14,0 ± 2,6	14,5 ± 3,8	18,2 ± 0,6 ^{ab}	18,6 ± 2,5 ^{ab}	18,6 ± 0,6	
2,5	0,2	23,6 ± 0,9 ^{ab}	11,1 ± 0,5 ^a	15,9 ± 0,0 ^{ab}	17,0 ± 0,0	15,4 ± 3,0	17,1 ± 7,4	15,3 ± 4,7 ^a	20,7 ± 1,8 ^b	23,1 ± 4,4	
Sin recubrimiento		21,5 ± 5,9 ^{ab}	16,8 ± 1,3 ^b	19,2 ± 1,6 ^b	17,0 ± 0,1	21,1 ± 5,2	20,7 ± 1,1	24,4 ± 0,4 ^b	19,6 ± 0,0 ^{ab}	24,2 ± 1,4	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.14. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la variable L* de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	L*								
		Día								
		0	3	6	9	12	15	18	17	20
1,5	0,1	70,0 ± 7,4	73,7 ± 2,8	77,4 ± 1,3 ^b	71,9 ± 1,4 ^b	71,3 ± 3,7	69,3 ± 0,4 ^{ab}	70,2 ± 3,3	65,3 ± 4,2 ^a	67,5 ± 0,8 ^{ab}
2,5	0,2	74,0 ± 2,2	73,0 ± 3,2	76,6 ± 2,0 ^b	73,0 ± 0,3 ^b	66,8 ± 3,4	64,6 ± 0,3 ^a	71,0 ± 0,7	73,6 ± 1,7 ^{ab}	66,8 ± 4,0 ^{ab}
1,5	0,1	73,8 ± 1,3	74,1 ± 1,0	70,0 ± 3,1 ^a	67,2 ± 1,4 ^a	68,1 ± 6,2	72,8 ± 0,8 ^b	71,4 ± 3,5	66,7 ± 6,2 ^{ab}	65,4 ± 3,5 ^a
2,5	0,2	70,7 ± 2,9	76,5 ± 1,1	75,9 ± 0,4 ^b	72,2 ± 1,2 ^b	68,6 ± 5,3	68,5 ± 3,9 ^{ab}	70,5 ± 4,8	72,9 ± 0,5 ^{ab}	66,4 ± 3,6 ^{ab}
Sin recubrimiento		77,1 ± 0,1	72,8 ± 1,1	76,4 ± 2,4 ^b	77,4 ± 1,0 ^c	71,6 ± 3,6	74,2 ± 2,9 ^b	73,7 ± 3,1	75,4 ± 0,3 ^b	74,3 ± 1,2 ^b

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.15. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la variable a* de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	a*									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	-4,6 ± 0,6	-3,9 ± 0,5	-3,9 ± 0,3 ^{ab}	-3,6 ± 0,5 ^{ab}	-3,3 ± 0,4	-3,3 ± 0,6	-2,8 ± 0,0 ^a	-2,4 ± 0,0	-1,7 ± 0,2 ^{ab}	
2,5	0,2	-5,0 ± 0,2	-4,6 ± 0,6	-4,2 ± 0,3 ^a	-4,2 ± 0,2 ^a	-3,5 ± 0,3	-2,2 ± 0,4	-2,9 ± 0,5 ^a	-3,2 ± 0,5	-2,8 ± 0,2 ^a	
1,5	0,1	-4,8 ± 0,3	-4,3 ± 0,4	-3,7 ± 0,2 ^{ab}	-4,2 ± 0,0 ^a	-2,2 ± 1,7	-2,5 ± 0,2	-2,6 ± 0,2 ^{ab}	-2,7 ± 0,9	-2,5 ± 0,9 ^{ab}	
2,5	0,2	-4,4 ± 0,1	-4,4 ± 0,1	-4,1 ± 0,7 ^{ab}	-3,3 ± 0,2 ^b	-2,6 ± 0,1	-3,0 ± 0,1	-1,8 ± 0,1 ^b	-2,7 ± 0,2	-1,5 ± 0,4 ^b	
Sin recubrimiento		-4,8 ± 0,6	-4,0 ± 0,2	-3,2 ± 0,1 ^b	-2,4 ± 0,1 ^c	-2,6 ± 0,1	-2,7 ± 0,6	-2,4 ± 0,5 ^{ab}	-3,4 ± 0,3	-1,9 ± 0,3 ^{ab}	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.16. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la variable b* de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	b*									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	36,9 ± 0,9	27,7 ± 1,7	26,3 ± 1,1	28,2 ± 0,2 ^{ab}	23,7 ± 0,5	25,8 ± 0,5	24,9 ± 0,9	25,3 ± 1,9	24,3 ± 2,9	
2,5	0,2	33,3 ± 3,9	29,8 ± 0,6	26,7 ± 1,4	27,8 ± 2,3 ^{ab}	25,9 ± 3,0	25,7 ± 1,6	23,1 ± 2,0	23,9 ± 1,1	24,7 ± 2,2	
1,5	0,1	32,4 ± 1,4	29,2 ± 3,9	32,6 ± 0,0	29,0 ± 0,9 ^{ab}	26,2 ± 0,7	24,7 ± 2,0	24,2 ± 1,8	25,8 ± 0,8	23,9 ± 0,1	
2,5	0,2	32,3 ± 0,9	29,0 ± 1,6	27,6 ± 1,3	29,1 ± 1,1 ^b	26,8 ± 5,4	26,0 ± 1,3	24,2 ± 1,3	25,0 ± 0,6	22,4 ± 1,7	
Sin recubrimiento		37,0 ± 1,7	31,5 ± 0,9	27,9 ± 7,4	23,9 ± 3,3 ^a	25,7 ± 3,0	25,6 ± 5,9	27,5 ± 4,0	24,8 ± 0,5	26,1 ± 6,5	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.17. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la firmeza de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Firmeza ¹ (N)									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	16,2 ± 2,4	15,7 ± 1,4 ^a	18,0 ± 1,0	18,2 ± 1,7 ^{bc}	17,7 ± 1,5	19,3 ± 1,1	17,9 ± 1,6 ^{ab}	17,9 ± 2,1 ^b	19,8 ± 1,9 ^c	
2,5	0,2	16,9 ± 2,4	19,3 ± 1,1 ^b	17,3 ± 1,9	17,5 ± 1,7 ^{ab}	17,0 ± 1,6	18,1 ± 1,1	19,7 ± 1,8 ^b	14,7 ± 2,2 ^a	16,1 ± 1,7 ^a	
1,5	0,1	16,9 ± 2,4	19,6 ± 1,4 ^b	17,0 ± 3,0	15,7 ± 1,3 ^a	18,9 ± 2,6	18,4 ± 1,6	17,4 ± 2,2 ^{ab}	18,0 ± 2,0 ^b	17,3 ± 2,6 ^{ab}	
2,5	0,2	16,1 ± 1,9	19,3 ± 1,5 ^b	17,4 ± 1,6	19,6 ± 2,1 ^{cd}	17,9 ± 2,1	18,1 ± 1,4	17,1 ± 2,2 ^a	18,3 ± 1,9 ^b	17,2 ± 2,2 ^{ab}	
Sin recubrimiento		16,6 ± 1,2	16,8 ± 1,4 ^a	19,0 ± 3,2	21,3 ± 0,8 ^d	16,6 ± 3,3	17,9 ± 2,3	18,1 ± 1,7 ^{ab}	18,3 ± 1,5 ^b	19,6 ± 1,3 ^{bc}	

¹: Firmeza medida con punta cónica de 11 mm, y velocidad de avance de 5 mm/s

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas (p≤0,05)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.18. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre los SS de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	SS								
		Día								
		0	3	6	9	12	15	18	17	20
1,5	0,1	12,3 ± 2,1 ^{ab}	11,6 ± 1,7 ^a	10,7 ± 0,6	10,9 ± 0,1 ^a	11,8 ± 0,4 ^a	12,5 ± 0,1 ^b	12,1 ± 0,1 ^b	13,1 ± 0,0 ^b	12,5 ± 1,0 ^{ab}
2,5	0,2	11,3 ± 0,9 ^a	11,5 ± 0,2 ^a	11,4 ± 1,2	10,7 ± 0,1 ^a	13,4 ± 0,7 ^c	12,8 ± 0,4 ^{bc}	13,6 ± 0,5 ^c	12,3 ± 1,0 ^{ab}	12,0 ± 0,2 ^a
1,5	0,1	11,3 ± 0,1 ^a	10,8 ± 1,3 ^a	11,7 ± 0,2	13,5 ± 0,7 ^c	12,2 ± 0,2 ^{ab}	11,7 ± 0,1 ^a	11,6 ± 0,1 ^b	12,3 ± 0,9 ^{ab}	12,9 ± 0,9 ^{ab}
2,5	0,2	11,9 ± 0,5 ^{ab}	10,1 ± 0,3 ^a	10,9 ± 0,1	11,8 ± 0,2 ^b	12,4 ± 0,5 ^{ab}	12,6 ± 0,3 ^b	10,2 ± 0,9 ^a	11,8 ± 0,3 ^a	12,4 ± 0,5 ^a
Sin recubrimiento		13,3 ± 0,3 ^b	13,8 ± 0,2 ^b	12,6 ± 2,7	11,1 ± 0,6 ^a	12,8 ± 0,1 ^{bc}	13,4 ± 0,8 ^c	13,3 ± 0,5 ^c	12,1 ± 0,8 ^{ab}	13,6 ± 0,8 ^b

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.19. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre el contenido de AT de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

		AT (mg ácido cítrico/100g fruta)								
Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Día								
		0	3	6	9	12	15	18	17	20
1,5	0,1	0,5 ± 0,0 ^a	0,5 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,2	0,6 ± 0,1 ^a	0,7 ± 0,0 ^b	0,6 ± 0,1 ^{ab}	0,6 ± 0,0 ^{ab}	0,6 ± 0,1 ^a	0,5 ± 0,0 ^a
2,5	0,2	0,6 ± 0,1 ^b	0,7 ± 0,1 ^b	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,0 ^{ab}	0,7 ± 0,0 ^b	0,6 ± 0,0 ^a	0,6 ± 0,0 ^{bc}	0,6 ± 0,0 ^a	0,7 ± 0,0 ^b
1,5	0,1	0,6 ± 0,1 ^b	0,6 ± 0,0 ^{ab}	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,0 ^{ab}	0,6 ± 0,0 ^b	0,6 ± 0,1 ^{ab}	0,5 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,0 ^b
2,5	0,2	0,6 ± 0,1 ^b	0,6 ± 0,0 ^{ab}	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,0 ^a	0,6 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,1 ^{ab}	0,5 ± 0,0 ^{ab}	0,7 ± 0,0 ^a	0,6 ± 0,0 ^b
Sin recubrimiento		0,6 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,0 ^{ab}	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1 ^b	0,7 ± 0,0 ^b	0,7 ± 0,1 ^b	0,6 ± 0,1 ^c	0,8 ± 0,0 ^b	0,7 ± 0,1 ^b

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.20. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre el pH de los trozos de piña, almacenados 20 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	pH									
		Día									
		0	3	6	9	12	15	18	17	20	
1,5	0,1	3,4 ± 0,0 ^{cd}	3,6 ± 0,1 ^c	3,4 ± 0,1 ^c	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1 ^b	3,4 ± 0,0 ^{ab}	3,3 ± 0,3 ^{ab}	3,4 ± 0,1 ^b	3,4 ± 0,2 ^b	
2,5	0,2	3,3 ± 0,0 ^{bc}	3,4 ± 0,0 ^a	3,2 ± 0,2 ^{ab}	3,0 ± 0,3	3,2 ± 0,0 ^b	3,4 ± 0,2 ^{ab}	3,5 ± 0,0 ^b	3,3 ± 0,0 ^b	3,5 ± 0,1 ^b	
1,5	0,1	3,2 ± 0,0 ^a	3,4 ± 0,0 ^{ab}	3,3 ± 0,1 ^{bc}	3,1 ± 0,2	3,2 ± 0,0 ^b	3,3 ± 0,1 ^a	3,4 ± 0,3 ^{ab}	3,4 ± 0,2 ^b	3,4 ± 0,0 ^b	
2,5	0,2	3,3 ± 0,0 ^c	3,5 ± 0,0 ^{ab}	3,0 ± 0,0 ^a	3,2 ± 0,3	3,4 ± 0,1 ^c	3,5 ± 0,0 ^b	3,1 ± 0,0 ^a	2,9 ± 0,1 ^a	3,5 ± 0,1 ^b	
Sin recubrimiento		3,4 ± 0,1 ^d	3,5 ± 0,1 ^{bc}	3,4 ± 0,1 ^c	3,0 ± 0,2	2,8 ± 0,0 ^a	3,4 ± 0,1 ^{ab}	3,4 ± 0,3 ^{ab}	3,0 ± 0,2 ^a	3,2 ± 0,0 ^a	

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.21. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la apariencia de los trozos de piña, almacenados 14 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Apariencia (1-5)				
		Día				
		1	4	7	11	14
1,5	0,05	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	5,0 ± 0,0 ^b	4,0 ± 0,0 ^b	1,0 ± 0,0 ^a
2,5	0,05	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	4,0 ± 0,0 ^{ab}	3,5 ± 0,7 ^{ab}	1,0 ± 0,0 ^a
5,0	0,05	5,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0 ^a	4,0 ± 0,0 ^{ab}	3,0 ± 0,0 ^a	1,5 ± 0,7 ^{ab}
1,5	0,2	5,0 ± 0,0	4,5 ± 0,7 ^{ab}	3,5 ± 0,7 ^a	3,0 ± 0,0 ^a	1,0 ± 0,0 ^a
2,5	0,2	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	4,5 ± 0,7 ^{ab}	4,0 ± 0,0 ^b	2,5 ± 0,7 ^{bc}
5,0	0,2	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	4,5 ± 0,7 ^{ab}	3,5 ± 0,7 ^{ab}	3,0 ± 0,0 ^c
1,5	0,4	5,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0 ^a	4,0 ± 0,0 ^{ab}	4,0 ± 0,0 ^b	3,0 ± 0,0 ^c
2,5	0,4	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	4,5 ± 0,7 ^{ab}	4,0 ± 0,0 ^b	2,5 ± 0,7 ^{bc}
5,0	0,4	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	4,5 ± 0,7 ^{ab}	3,5 ± 0,7 ^{ab}	3,5 ± 0,7 ^c
Sin recubrimiento		5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 ^b	4,0 ± 0,0 ^{ab}	3,0 ± 0,0 ^a	1,0 ± 0,0 ^a

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.22. Efecto de las concentraciones de glicerol y aceite de girasol[†] sobre la adherencia al tacto del recubrimiento de los trozos de piña, almacenados 14 días a 5°C y a 80% de HR.

Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	Adherencia (1-5)				
		Día				
		1	4	7	11	14
1,5	0,05	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	1,7 ± 0,5
2,5	0,05	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,3 ± 0,5	2,0 ± 0,0	1,7 ± 0,5
5,0	0,05	1,8 ± 0,4	2,0 ± 0,0	2,2 ± 0,4	2,0 ± 0,0	1,8 ± 0,4
1,5	0,2	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,6	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0
2,5	0,2	2,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	2,2 ± 0,4	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0
5,0	0,2	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0
1,5	0,4	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,6	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0
2,5	0,4	2,0 ± 0,0	1,8 ± 0,4	2,0 ± 0,0	2,1 ± 0,4	2,0 ± 0,0
5,0	0,4	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

[†] 1,5% Alginato-1,0% CaCl₂

Cuadro 9.23. Efecto de las concentraciones de CaCl_2 , glicerol y aceite de girasol, sobre la RVA del recubrimiento de 1,5% de alginato sobre los trozos de piña.

Concentración de CaCl_2 (%)	Concentración de Glicerol (%)	Concentración de Aceite de girasol (%)	RVA (s/cm)
1,0	1,5	0,05	$3,34 \pm 0,35$ ^b
1,0	2,5	0,05	$3,41 \pm 0,24$ ^b
1,0	1,5	0,2	$3,50 \pm 0,25$ ^b
1,0	2,5	0,2	$3,39 \pm 0,24$ ^b
2,0	1,5	0,05	$3,31 \pm 0,31$ ^b
2,0	2,5	0,05	$3,34 \pm 0,18$ ^b
2,0	1,5	0,2	$3,40 \pm 0,26$ ^b
2,0	2,5	0,2	$3,35 \pm 0,30$ ^b
Sin recubrimiento			$3,79 \pm 0,25$ ^a

Letras distintas en la misma columna y tratamiento indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

